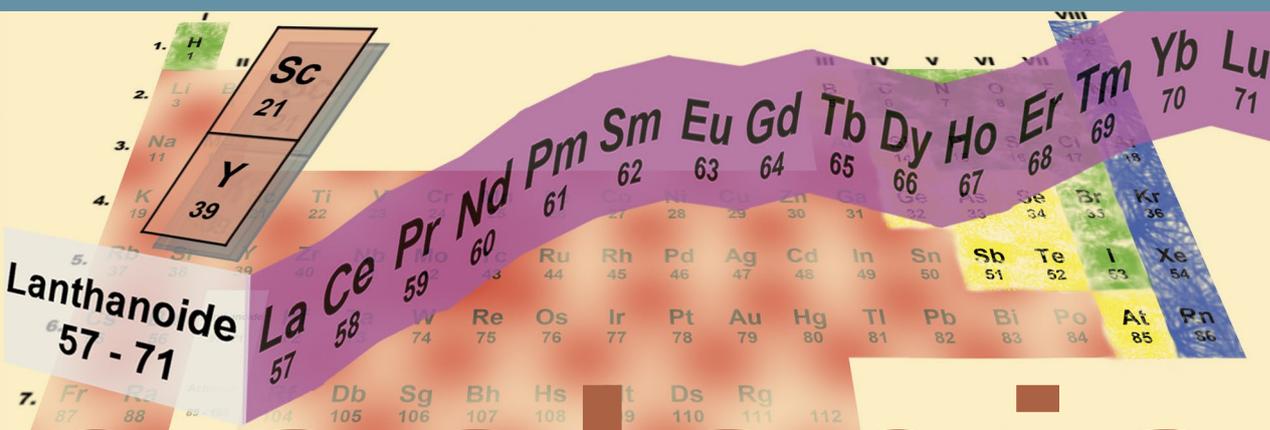




SEE-Potenzial in Kristallingesteinen des Fichtelgebirges



Lanthanoide
57 - 71

geologie



SEE-Potenzial in Kristallingesteinen des Fichtelgebirges

Teilprojekt IV

Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente

Bearbeiter:

E. Linhardt, J. Hartrumpf, M. Ordner, G. Mandelsperger, S. Hennig

60 Seiten, 32 Abbildungen, 5 Tabellen, Augsburg 2018

Impressum

SEE-Potenzial in Kristallingesteinen des Fichtelgebirges
Teilprojekt IV, Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: 0821 9071-0
Fax.: 0821 9071-5556
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Konzept/Text:

LfU, Referat 105, Elmar Linhardt, Sebastian Hennig

Bearbeitung:

LfU, Referat 105, Elmar Linhardt, Johanna Hartrumpf, Manuel Ordner, Gerhard Mandelsperger, Sebastian Hennig

Bildnachweis:

LfU

Druck:

LOUIS HOFMANN Druck- und Verlagshaus GmbH & Co. KG, Domänenweg 9, 96242 Sonnefeld

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Oktober 2018: 1. Auflage: 500 Stück

Stand:

Januar 2018

Diese Druckschrift wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich sind während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden. Bei publizistischer Verwendung – auch von Teilen – wird um Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars gebeten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt.

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.



BAYERN|DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	5
2	Sachstand	6
2.1	Projektanlass und Projektkinhalt	6
2.2	Bedeutung und Verwendung der Selten Erd Elemente	6
2.3	Übersicht zur Geologie des Erkundungsraumes	7
2.4	Geologie und Genese der Quarzite	11
2.5	Verbandsverhältnisse und Petrographie der Quarzit-Horizonte	13
3	Durchgeführte Arbeiten	18
3.1	Befahrungen, Schürfe und Probennahme	18
3.2	Auf- und Vorbereitung der Proben, Dichtentrennung	19
3.3	Mineralogie und Geochemie, Laboruntersuchungen	23
3.4	Auswertung der Analytik und Bilanzierung	25
4	Ergebnisse	27
4.1	Detailbetrachtung hinsichtlich der Mineralogie und Geochemie	27
4.1.1	Allgemeines	27
4.1.2	Geochemie	28
4.1.3	Mineralogie	29
4.1.4	SEE-Verteilungsmuster	30
4.1.5	Durchschnittliche SEE-Verteilung im Schwermineralkonzentrat	31
4.1.6	Potenzielle Ausbeuten an Wertstoffen	32
4.1.7	Lagerstättensituation auf Grundlage der Schürfergebnisse	32
4.2	Beurteilung der Lagerstätten-Situation	35
4.3	Beurteilung der mineralogisch-rohstofflichen Situation	35
5	Vorräte und Wirtschaftlichkeit	36
6	Prognose	36
7	Schlussfolgerung	36
	Literatur	37
	Verzeichnis der Abbildungen	40
	Verzeichnis der Tabellen	42
	Erklärung von Fachbegriffen	43
	Anhang	45

1 Zielsetzung

Aufgrund immer neuer verfahrenstechnischer Einsatzmöglichkeiten der Selten Erd Elemente (SEE) im Bereich der Hochtechnologien bei gleichzeitig rapide steigendem Bedarf sowohl in den Industriestaaten, als auch in den Schwellenländern, stehen diese Metalle zunehmend im Fokus der Wirtschaft, Politik und Forschung. Demgegenüber wird diese Metallgruppe seit Jahren nach strategischen Gesichtspunkten und damit zum wirtschaftlichen Nachteil der sie benötigenden Branchen gehandelt.

Die vornehmlich durch chinesische Exportbeschränkungen im Zeitraum 2010/2011 herbeigeführte künstliche Rohstoffverknappung und der damit verbundene Preisanstieg führten in den anschließenden Jahren gezwungenermaßen zu einem Umdenken über die nun als kritisch eingestuftes Selten Erd Elemente (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2010, 2014). In den Vordergrund rückten dabei insbesondere die Suche nach geeigneteren Lagerstätten in langfristig stabilen alternativen Förderländern (PAULICK & MACHACEK 2017) bzw. auch nach weiterführenden Anpassungsstrategien auf der Sekundärseite (durch Materialeffizienz, Substitution und Recycling).

Im Sinne einer mittel- bis langfristig gesicherten Versorgung mit diesen Rohstoffen könnten zudem künftig auch kleinere, bislang nicht berücksichtigte Lagerstätten zur Primärversorgung an Bedeutung gewinnen und ins wirtschaftliche Interesse rücken.

Dazu bildet diese Untersuchung die Grundlage und zeigt, ob und in welchem Ausmaß durch den Abbau von kleinen, primären SEE-Lagerstätten in Bayern künftig die Abhängigkeit von Rohstoffimporten gesenkt werden kann.

Ziel der Untersuchungskampagne war es, grundlegende Informationen über höffige Quarzit-Vorkommen des Fichtelgebirges, ihre Mineralisation, ihre Größe sowie über die Gehalte an verwertbaren SEE und anderen strategischen Metall-Oxiden zu erhalten und mittels mineralogisch-rohstoffkundlicher bzw. geochemischer Untersuchungen deren potenzielle Nutzbarkeit zu beurteilen.

Insgesamt wird mit diesem Teil-Projekt „SEE IV“ die Größenordnung des rohstofflichen SEE-Potenzials von Quarziten in der sog. Alexandersbad - Formation des Fichtelgebirges (unteres Ordovizium in „Konturit-Fazies“) erarbeitet und dargestellt.

2 Sachstand

2.1 Projektanlass und Projektinhalt

Durch Vorarbeiten im Rahmen der geologischen Landesaufnahme existieren seit den 1980ern Hinweise auf Schwermineral-Assoziationen in sog. Konturit-Quarziten des Fichtelgebirges (Abb. 1).

Da dieses vermeintlich rohstoffliche Potenzial außer zu geologischen Zwecken nie näher betrachtet wurde, fehlen spezifische mineralogisch-geochemische Grundlagen, die eine Potenzialermittlung hinsichtlich verwertbarer Rohstoffe ermöglichen würden.

Mit Sondermitteln und im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie wurden Archivbestände recherchiert, Unterlagen ausgewertet, Prospektionsziele konkretisiert, vorhandene Daten mittels neuer geochemischer und mineralogischer Analytik überprüft und Befahrungen durchgeführt. Durch das Referat „Wirtschaftsgeologie, Bodenschätze“ wurden die geologischen Verhältnisse umfassend neu aufgenommen und dokumentiert, aus einem engräumigen Probenetz mit 63 gewonnenen Proben sowie mittels 16 Schürfen umfangreiche Untersuchungen zum Auftreten, dem Verband sowie zur Gesamtgesteinszusammensetzung dieser Quarzite durchgeführt. Anhand mittels Dichtentrennung gewonnener Schwerminerale wurden die SEE-Minerale chemisch und mineralogisch bestimmt und ihre Anteile quantifiziert, hiervon die verwertbaren Gehalte unter besonderer Berücksichtigung der Selten Erd Elemente bestimmt und schließlich mit mineralogisch-geochemischen und geologischen Daten zusammengefasst und ausgewertet.

Sämtliche raumbezogenen, stratigraphisch-petrographischen sowie mineralogisch-geochemischen Daten der Untersuchungen wurden nach erfolgter Bemusterung, Beprobung und Analytik in das Bodeninformationssystem (BIS) des LfU eingepflegt.

2.2 Bedeutung und Verwendung der Selten Erd Elemente

Die Selten Erd Elemente (SEE, engl. REE) Cer (Ce), Lanthan (La), Praseodym (Pr), Neodym (Nd), Promethium (Pm), Samarium (Sm), Europium (Eu), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Dysprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Thulium (Tm), Ytterbium (Yb), Lutetium (Lu) sowie Yttrium (Y) und Scandium (Sc) treten überwiegend in eigenständigen Mineralen auf, wie Bastnäsit $CeFCO_3$, Cerianit $(Ce, Th)O_2$, Thorianit ThO_2 , Xenotim $(Y, Yb)PO_4$ oder Monazit $CePO_4$, wobei Cer durch andere SEE (La, Pr, Nd, (Pm), Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) sowie durch Uran (U) und Thorium (Th) substituiert werden kann. Der primäre Bildungsraum dieser Minerale liegt überwiegend im plutonisch-magmatischen Bereich. Als Selten Erd Element-Fänger in diesem geologischen Bildungsmilieu gelten daneben auch die Minerale Apatit, Allanit (Epidot), Granat und Zirkon (DEER, HOWIE & ZUSSMAN 1980).

In ihren chemischen Eigenschaften sind sich die verschiedenen Selten Erd Elemente grundsätzlich sehr ähnlich, weshalb sie in der Natur auch meist gemeinsam vorkommen und in der Regel auch nur gemeinsam abgebaut werden können. Analog zu ihrem breiten Vorkommen in der Natur – kleine Mengen an Seltenen Erden sind in fast allen Gesteinen und einer Vielzahl von Mineralen enthalten – gibt es auch im technischen Bereich ein breites Spektrum von Anwendungen.

Verwendet werden die Selten Erd Elemente u.a. für High-Tech-Katalysatoren, Akkus, Supermagnete, Metall-Legierungen, Keramik- und Glaszusätze, Glasfasern, Laser, PC-Speicher (Festplatten),

zur Wasserstofflagerung sowie in der Reaktortechnik. Unter anderen enthalten folgende für den Endverbraucher wichtige Produkte Selten Erd Elemente: Fernsehgeräte, Handys, Personal Computer, DVD's, Digitalkameras und Kernspintomographen. Wegen ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten im Bereich der sog. Grünen Technologien sind diese „High-Tech-Grundstoffe“ zudem Voraussetzung für moderne Automobile (Hybrid- und Elektrofahrzeuge: Magnete für Elektromotoren, Abgasreinigung, Brennstoffzellen), für Anwendungen der Energie-Effizienz (Kühltechnologien, Leuchtstoffe) sowie für Windenergieanlagen (Generatoren: leistungsstarke Permanent-Magnete). Nicht zuletzt aufgrund des schnell voranschreitenden technologischen Wandels in vielen der hier genannten Bereiche werden sich Bedeutung und Nachfrage an Selten Erd Elementen in Zukunft noch steigern.

In der nahen Zukunft dürften vor allem die Produktion von Permanentmagneten (speziell für Elektrofahrzeuge und Windturbinen) sowie optische Anwendungen (u.a. Glasfaserkabel) für den stärksten Nachfrageanstieg nach bestimmten Selten Erd Elementen verantwortlich sein (GOODENOUGH et al. 2017). So könnte aktuellen Schätzungen zufolge der Bedarf an den Leichten Selten Erd Elementen Neodym und Praseodym bis ins Jahr 2035 allein in der Produktion von Hochleistungs-Permanentmagneten auf 174 % der Produktion von 2013 ansteigen. Bei den Schweren Selten Erd Elementen Dysprosium und Terbium könnte dieser Wert sogar bei 313 % liegen (MARKSCHEIDER-WEIDEMANN et al. 2016).

Diese Angaben verdeutlichen, dass der industrielle Bedarf an Schweren Selten Erd Elementen im Vergleich zum Bedarf an Leichten Selten Erd Elementen stärker wachsen wird. Konsequenterweise rückten während des SEE - Explorationsbooms der letzten Jahre solche Mineralisationen in den Vordergrund, welche ein höheres Potential an Schweren Selten Erd Elementen aufweisen (PAULICK & MACHACEK 2017).

2.3 Übersicht zur Geologie des Erkundungsraumes

Das Fichtelgebirge als Teil des bayerischen Saxothuringikums wird hauptsächlich aus metamorphen Gesteinen wie Glimmerschiefern, Quarziten und Marmor sowie magmatischen Gesteinen (unter anderem Granite und Redwitzite) gebildet. Die Gesteine des Fichtelgebirges wurden während der variskischen Gebirgsbildung vor mehr als 320 Millionen Jahren geprägt, bei der (Peri-) Gondwana mit dem Kontinentalrand von Laurussia kollidierte. Ursprünglich marine Sedimente (Tone, Sande und Karbonate), abgelagert in einem seichten und relativ landnahen, teilweise auch anoxischen Milieu, wurden dabei versenkt und in Tiefen von mehr als 10 km verfaltet und metamorph überprägt. Gegen Ende der variskischen Gebirgsbildung drangen in diese metamorphen Gesteine plutonische Schmelzen ein und kristallisierten als Granite oder Redwitzite aus. Durch spätere Hebung und Abtragung gelangten diese Gesteinsserien schließlich an die Erdoberfläche (MIELKE 2005).

Nach derzeitigem Kenntnisstand besteht das Fichtelgebirge in seiner Kernzone aus Metasedimenteinheiten des Kambro-Ordoviziums, die eine großräumige Sattelstruktur (Antiklinorium) bilden. Dementsprechend treten die ältesten metasedimentären Schichtglieder des unteren Kambriums und oberen Neoproterozoikums (?) bestehend aus Metapeliten und Quarziten („Alexandersbad-Formation“) sowie aus einer Graphitführenden Folge und Marmoren (ehemalige Kalke und Dolomite, „Wunsiedel-Formation“) im zentralen Fichtelgebirge auf; jüngere, vermutlich dem oberen Kambrium und dem Ordovizium zuzurechnende Schichtglieder folgen in den peripheren Bereichen. Diese Einheiten werden in weiten Bereichen des Fichtelgebirges von jungvariskischen, meist postdeformativen Graniten durchsetzt (ROHRMÜLLER & MIELKE 1998).

Im Fichtelgebirgs-Antiklinorium dominiert eine jungvariskische Metamorphose, die vor ca. 320 Ma die vorhandenen Sedimente unter niedrigen bis mittleren Druckbedingungen (3,5 - 5,5 kb) und Temperaturen zwischen 580 und 640°C entsprechend einer Grünschiefer- bis unteren Amphibolit-Fazies umwandelte (MIELKE et al. 1979). Diese Niederdruck-Metamorphose ist nach radiometrischen Altersdatierungen älter als die Kontaktwirkung der nahezu zeitgleich intrudierten (nicht deformierten) Granite und jünger als eine im Zentralteil reliktsch erhaltene Metamorphose unter Nieder- bis Mitteldruckbedingungen (event. frühvariskisch oder kaledonisch). Die Gesteine des Antiklinoriums sind zwar polyphas deformiert, enthalten jedoch noch vielfach und gut erkennbar ursprüngliche Sedimentstrukturen (MIELKE 2005, ROHRMÜLLER & MIELKE 1998).

STEIN (1988) erkennt für die strukturelle Entwicklung des Fichtelgebirges eine Abfolge von sechs verschiedenen Deformationsphasen. Die ersten beiden Deformationen (D_1 und D_2) brachten bereits verschiedene Schieferungen (s_1 und s_2) und synchron dazu angelegte Falten. Die s_1 -Schieferung ist relativ selten und nur in metapsammitischen Gesteinen erhalten, da sie in den Metapeliten durch die s_2 -Schieferung überprägt wurde. Der im Arbeitsgebiet dominierende SW-NE gerichtete Faltenbau („Fichtelgebirgsantikline“) ist auf eine dritte duktile Deformationsphase (D_3) zurückzuführen. Strukturelle Elemente der ersten bis dritten Deformationsphase können wiederum durch NW-SE bzw. N-S gerichtete Knickzonen bzw. Knickfalten einer vierten, semiduktilen Deformation (D_4) überprägt sein. In größeren dieser Knickzonen können „ganze Aufschlüsse im rotierten, steilstehenden (=geknickten) Bereich liegen“ (Stein 1988: 53). Die rotierten, geknickten Bereiche zeigen wiederum durch subhorizontale Bruchschieferung und liegende Falten repräsentierte Elemente einer fünften Deformation (D_5), welche durch ein gravitatives Zurücksacken während und nach der Steilstellung erklärt werden. Letztendlich werden in der sechsten Deformationsphase (D_6) alle Elemente der postmetamorphen, spröddeformativen Bruchtektonik zusammengefasst.

MIELKE (1982, 2005) und STETTNER (1999, unveröff.) beschreiben die Ergebnisse ihrer geologischen Kartierungskampagnen im Fichtelgebirge zwischen 1980 und 1999 auf den Karten-Blättern Ebnath, Markredwitz und Waldsassen / Hatzenreuth in den zugehörigen Erläuterungen (GK 6037, 5938 und 5939/5940) und weisen auf die Schwermineralführung besonderer Quarzite hin, die demnach im Zentralteil des Fichtelgebirges auftreten (Abb. 2, 3 und 4). Genauere, quantitative Angaben zur Lagerstättensituation und zum Potenzial an SEE fehlen jedoch, da nur eine lithologisch-stratigraphisch orientierte Kartierung durchgeführt wurde bzw. die damalige geologische Aufnahme einem anderen Zweck diene.

Weitere, detailliertere Daten zum SEE-Potenzial dieser Quarzite liegen darüber hinaus bis heute nicht vor.

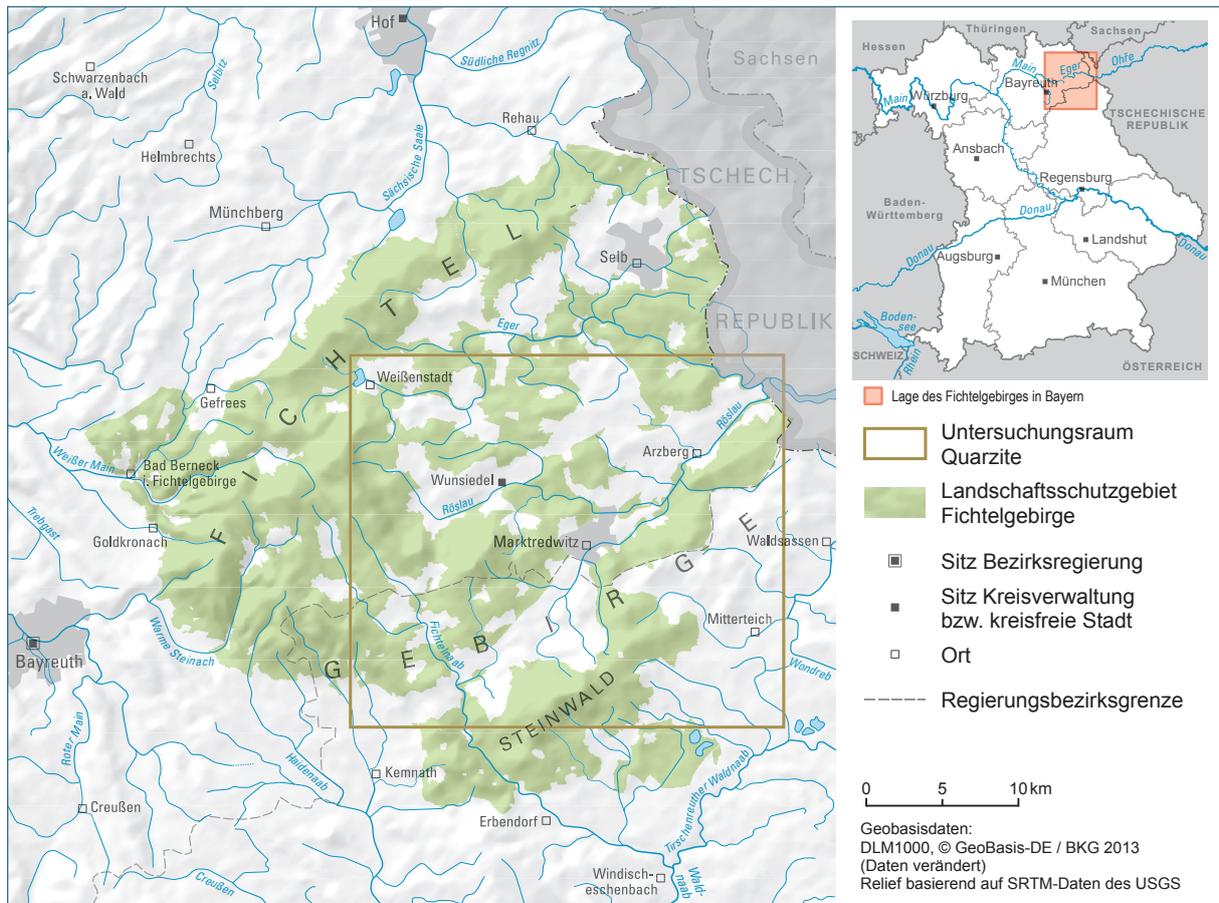


Abb. 1: Geographische Lage des Fichtelgebirges.

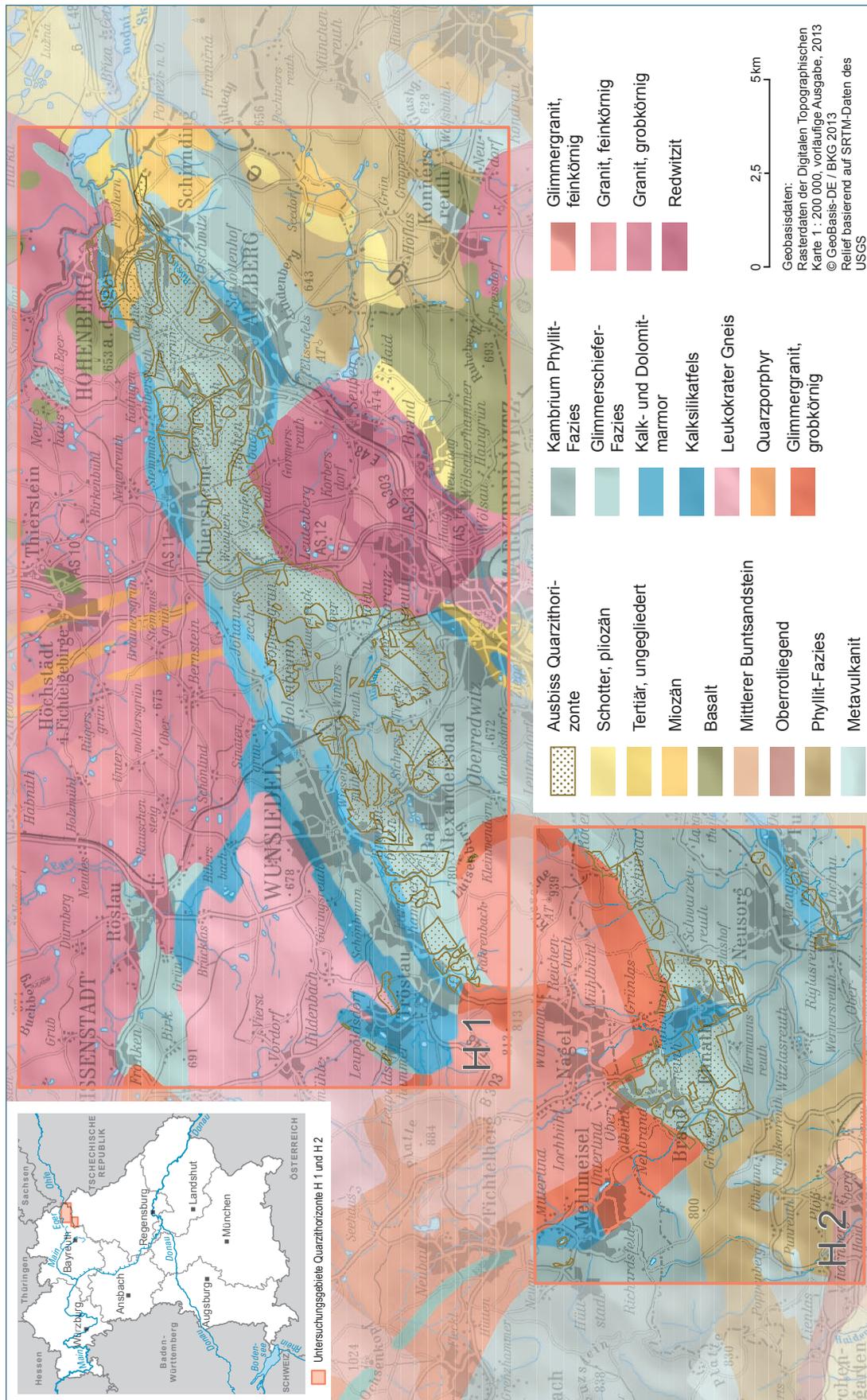


Abb. 2: Geologische Übersicht des Fichtelgebirges mit Lage der Untersuchungsgebiete.

Litoral gebildete Seifenquarzite stellen jedoch nach modernen Definitionen z.B. von STOW (2002) oder REBESCO et al. (2014) keine Konturite dar. Auch sind Mineralseifen in Zusammenhang mit Konturiten bisher nicht bekannt. In litoralen Bildungsbereichen treten Schwermineral-Anreicherungen jedoch als ein häufiges Phänomen auf. Zu Entstehung, Bildungsmilieus und Eigenschaften von Seifenlagerstätten, speziell von Selten Erd Element - führenden Seifen, liefern DEBASHISH & VAN GOSEN (2016) sowie MUDD & JOWITT (2016) weiterführende Informationen.

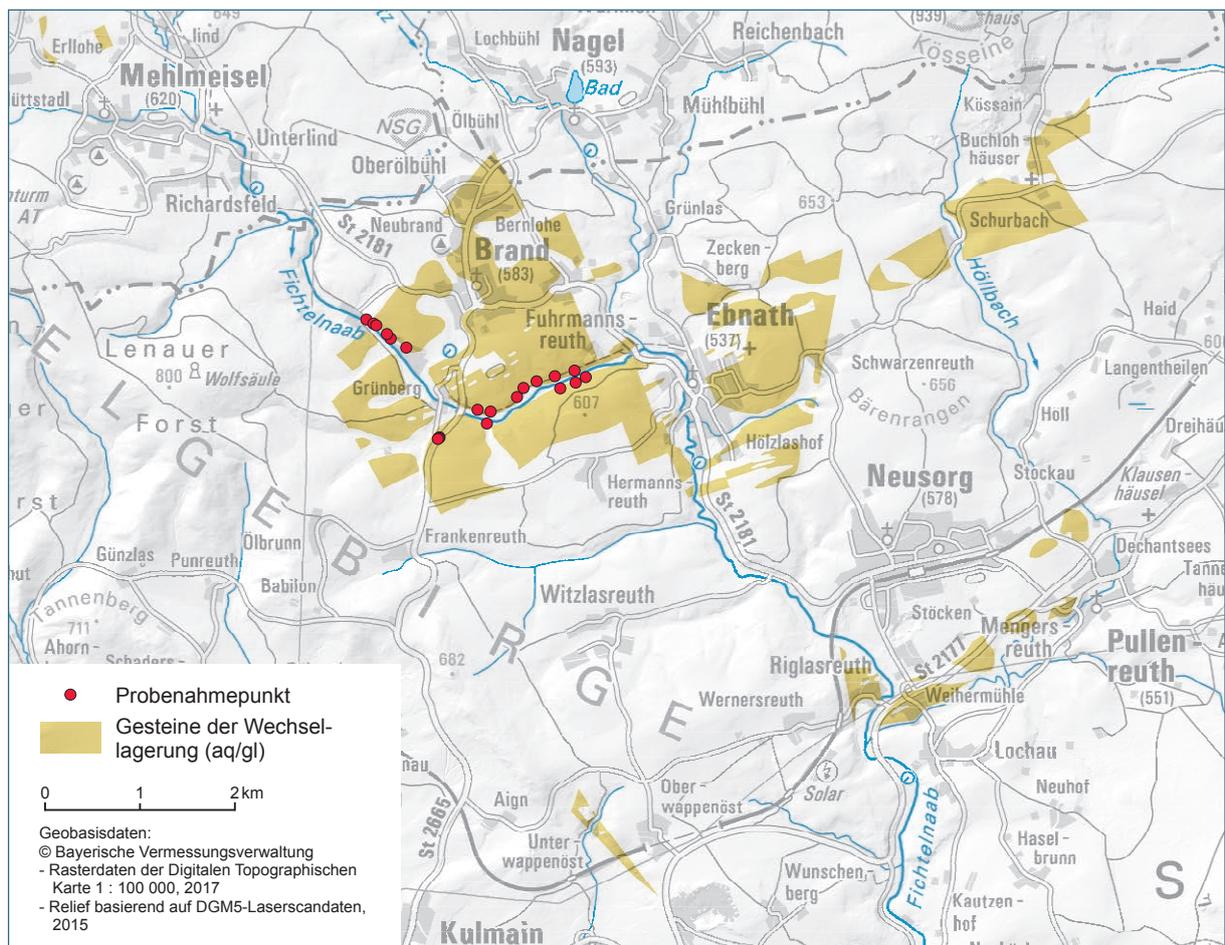


Abb. 4: Geologisch/topographische Übersicht sowie Lage und Verlauf des Untersuchungsgebietes H 2 in der Quarzit-Einheit „aq/gl“ (angepasster Ausschnitt aus GK25, 6037, Blatt Ebnath, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT, 1982).



Abb. 5: Quarzit-Lesestein mit streifiger, subparalleler Schwermineralführung; Lokalität „Krähenschwanz“ bei Wintersreuth (Probe bqw-4).



Abb. 6: Quarzit-Lesestein mit welliger Schwermineralführung; Lokalität „Brombühl“ bei Breitenbrunn (Probe cbgl-2).



Abb. 7: Quarzit-Lesestein, gesägte Platte mit Schrägschichtungsstruktur; NE Putzenmühle; geol. Einheit „ofqw“.



Abb. 8: Quarzit mit Erosionsrinne aus dem Anstehenden, gesägte Platte; Lokalität „Krähenschwanz“ bei Wintersreuth.

2.5 Verbandsverhältnisse und Petrographie der Quarzit-Horizonte

Entsprechend den zugrundeliegenden geologischen Kartierbefunden wurde im zentralen Fichtelgebirge von der Existenz zweier, jeweils mehr oder weniger zusammenhängender Verbreitungsgebiete mit mächtigeren Quarzithorizonten (dm- bis m-Bereich), die jeweils durch eine „deutlich erkennbare“ Schwermineralführung gekennzeichnet sind, ausgegangen.

Nach umfangreichen Begehungen im Rahmen des Projektes ist das nördliche Untersuchungsgebiet (H 1) zwischen Arzberg und Wunsiedel (Abb. 3) in seiner gesamten Längserstreckung (ca. 21 km) jedoch überwiegend nur durch Quarzit-Lesesteine in unterschiedlicher Häufungsdichte an Waldrändern und Feldrainen belegt (Kartiereinheiten „bqw“ und „ofqw“, Wechsellagerung aus Glimmerschiefer und Quarziten bzw. Quarzit).

Bewert- und beprobte Bohrungen im gesamten Raum aus älteren geologischen Bearbeitungen liegen nach Recherche im Bestand des Bohrkernarchives nicht vor. Jedoch haben aktuelle, nicht zugängliche bzw. nicht mehr verfügbare Baugrund-Bohrungen (B-A2 und B-D1) ca. 600 m nördlich und nordöstlich Schirnding an der B 303 in Teufen zwischen 20 und 30 m bis mehrere Meter mächtige Quarzite am nordöstlichen Ausstrich der geologischen Einheit „bqw“ (Quarzit-Siltquarzit-Glimmerschiefer-Wechsellagerung) erbohrt (Baugrunduntersuchungen Ortsumgebung Schirnding, Dokumentation Bauamt Bayreuth, 5/2017; Abb. 17 und Abb. 18, Lage der Bohrungen siehe Abb. 3). Die generelle Streichrichtung (Schieferung) im Gebiet H 1 verläuft nach GK 25 NE – SW (ca. 60 °), bei überwiegend mittelsteilem Einfallen von ca. 60° nach NW bzw. SE. Die Ausbildung der erbohrten Quarzite entspricht der beschriebenen Lesesteine dieses Horizontes, ihre große, relative Mächtigkeit dagegen ist überraschend.

Auffallend ist die geringe Aufschlussdichte (natürlich und künstlich) in diesem Teil der Alexandersbad-Formation. Im agrarisch und forstwirtschaftlich intensiv genutzten Gebiet konnten, neben wenigen Glimmerschiefer-Felsfreistellungen, aktuell nur wenige Kleinst-Steinbrüche bzw. künstliche Einschnitte (unterhalb der Kirche am Katharinenberg, Röslautal bei Tiefenbach, Bahneinschnitt N' Wintersreuth: Kartiereinheit „bqw“, Probe 4) lokalisiert werden. Morphologisch als langgezogener Kamm tritt nach vorliegenden Kartierbefunden nur der einzelne, mächtigere Quarzit-Horizont (Kartiereinheit „ofqw“) am Wartberg und Umgebung (streichende Fortsetzung nach SW und NE) hervor. Er lässt sich dort zumindest oberflächennah durch das gehäufte Auftreten von großdimensionierten Lesesteinen (Lesestein-Haufen entlang der Waldränder) vermuten. Die darüber hinaus noch lokalisierbaren, in diesem Horizont angelegten alten, sehr kleinräumigen und flachen Aufschlüsse sind zwar noch sichtbar, aber weitgehend überwachsen und verfüllt; anstehende Quarzite sind darin (mit einer Ausnahme) nicht aufgeschlossen. Die Lage der alten Gewinnungsstellen belegt insgesamt, dass historisch offensichtlich nur punktuell unverwitterte, als Härtlinge hervortretende Gesteinspartien der Kammpartien gesucht und auch nur sehr kleinräumig als Naturwerksteine abgebaut wurden (u.a. Katharinenberg, Putzenmühle, Wartberg). Nach aktueller Auskunft und Beschreibung von Zeitzeugen, Grundeignern und Pächtern vor Ort waren dies aber ausschließlich Glimmerschiefer-Gesteinspartien ohne (mächtigere) Quarzite.

Ein weiteres, relativ zusammenhängendes Verbreitungsgebiet einer Quarzit-Glimmerschiefer-Wechsellagerung mit Einschaltungen von sauren und basischen Tuffen sowie Metabasalten, bezeichnet als Untersuchungsgebiet H 2, NE-SW-streichend, befindet sich ca. 6 km südlich davon zwischen den Orten Schurbach, Ebnath, Grünberg, Mehlmeisel, Brand und Oberwappenöst (Kartiereinheit „aq/gl“ auf GK 6037). Laut Kartierung beträgt die Längserstreckung im Streichen mit Unterbrechungen ca. 8 km bei einer Mächtigkeit (im Ausstrich) von ca. 2 km (Abb. 4). Anders als bei H 1 zeichnet sich dieses Vorkommen jedoch morphologisch nicht bis nur sehr undeutlich ab, (größere) Lesesteine von Quarziten sind weitflächig nicht aufzufinden bzw. es fehlen auch Felsfreistellungen oder markante, morphologisch hervortretende Strukturen im relativ flachwellig-ebenen Terrain. Der intensive und langanhaltende Eingriff des Menschen in das Landschaftsbild des Fichtelgebirges sowohl durch die prägenden Wald-Rodungsphasen zwischen dem 11. und 14. Jahrhundert als auch durch die nachfolgenden Siedlungsmaßnahmen, Ackerbau, Viehzucht sowie Bergbau und insbesondere durch die Flurbereinigungsaktivitäten des 20. Jahrhunderts scheint oberflächennahe „geologische Spuren“ in Form von Hang- und Blockschutt bzw. Acker-Lesesteinen auch in diesem Gebiet weitgehend verwischt, beseitigt bzw. überdeckt zu haben (MAYER 1998, SCHÖLLMANN 1998). Nur im stellenweise tief eingekerbten

Fichtelnaabtal W' und E' Grünberg (ehemalige Eisenbahntrasse sowie Felsfreistellungen S' der Fichtelnaab am sog. Naabrangen) ist im Anstehenden ein Horizont mit ein bis knapp zwei dm-mächtigen Quarziten aufgeschlossen, mit Unterbrechungen über mehrere Zehnermeter im Gelände auch verfolgbar und an den Böschungen (neben der ehemaligen Bahnstrecke) relativ gut beprobbar. Nach Geländebefund treten hierbei die Quarzite als linsig-diskontinuierliche Bereiche von wenigen Dezimetern Länge im Verband mit den dominierenden Metapeliten (Glimmerschiefer) auf. Am Aufschluss „Schenkelhöhe“ am Naabrangen fällt die Schichtung flach in westliche Richtung ein (ss: 262/16). Diese Schichtung bildet im Gestein gleichzeitig die Hauptablösungsfläche. Die s_2 Schieferung liegt z.T. subparallel dazu (STEIN 1988:70). Eine weitere Schieferung verläuft ENE – WSW bei ebenfalls flachem Einfallen in südliche Richtung (MIELKE 1982).

Typische Quarzite (überwiegend als plattige Lesesteine bis 50 cm Länge und 30 cm Breite) mit deutlicher Schwermineral-Führung („Streifung“ bis massivere, wellige Seifenvererzung, teilweise auch als größere „pockets“) stammen nur aus dem nördlichen Verbreitungsgebiet H 1, vor allem vom Flurstück „Brombühl“ / Breitenbrunn, vom Flurstück „Krähenschwanz“ / Wintersreuth (Anstehendes im Bahneinschnitt unter Baumscheibe bzw. Windwurf), vom Wartberg und aus dem Röslau-Tal bei Oschwitz nahe der Brücke zur Forellmühle, die nach Recherche als Feld-Lesesteine oder herausgeackerte Blöcke von den Äckern nordwestlich Oschwitz (Flurstück „Weingarten“; geol. Einheit „bqw“) abgelesen und dann in relativ großem Umfang zur „Uferbefestigung“ der Röslau eingesetzt wurden.

Die Quarzite aus H 1 sind kantig-blockig-rau und scharfkantig, hellgrau auf frischen Bruchflächen und haben Serizit-glänzende Oberflächen (silbrig hellbraun-ocker angewittert). Sie fühlen sich eher wie ein nichtmetamorpher, meist feinsandiger, gut sortierter und mittelstark verfestigter siltiger Sandstein an. Im Probensatz dominieren Proben mit Korngrößen im Feinsandbereich, jedoch können einzelne Stücke, z.B. Probe Putzenmühle (Abb. 7), auch Korngrößenmaxima bis 4 mm aufweisen. Viele Proben zeigen im Querbruch überwiegend parallel-laminare, scharfe Anreicherungen (i.d.R. maximal 1 mm mächtig) bis wellig-undulöse Anreicherungen (wie Rippelmarken) mit einzelnen, wenigen mm - mächtigen Schwermineral-Lagen (= sedimentäre Schichtung, ss). Vereinzelt treten hier auch typische Schrägschichtungsstrukturen (Abb. 7) bzw. Erosionsrinnen als primär sedimentäre Gefüge (Abb. 8) auf. Die Farbe der Schwermineral-Laminae ist hierbei mittelgrau; einzelne Laminae sind lateral über mehrere Dezimeter aushaltend. In einigen Handstücken sind nur auf wenigen cm Mächtigkeit diese Seifen erkennbar, gefolgt von einem sterilen, homogenen Quarzit. Übergänge zu Glimmerschiefer sind Muskovit-durchstäubt oder führen schichtig angeordneten Muskovit, was die SM-Laminae teilweise nur schwer erkennbar macht oder ganz überdeckt (vor allem an angewitterten Stücken).

Quarzit-Glimmerschiefer-Übergänge, bzw. Quarzit-Glimmerschiefer oder Wechsellagerungen im H 1 lassen durch ehemalige Tonminerale (jetzt Muskovit bzw. auch gesprossene Querschieferite) die Schwermineral-Lagen nur schwer bis nicht erkennen bzw. können deswegen makroskopisch zu Über- oder Unter-Interpretationen hinsichtlich des Schwermineral-Gehaltes führen. Deswegen sind die in der St. Katharinenkirche bei Wunsiedel verbauten Quarzit-Glimmerschiefer makroskopisch überwiegend nicht durch eine Schwermineral-Führung ausgezeichnet bzw. ist eine solche nicht direkt, makroskopisch erkennbar.

Die Quarzite aus dem Horizont bzw. Untersuchungsgebiet H 2 sind sowohl als Lesesteine als auch als frische Proben aus dem Anstehenden überwiegend blockig-rau und scharfkantig. Quarz als Hauptbestandteil bildet darin ein granoblastisches, rekristallisiertes Gefüge. Typische Stücke sind massig - dicht und splittig - hart, bei überwiegend beige-grauer Farbe. Mit Annäherung an den nördlich folgenden Granit-Komplex (Kerngranit G 3) werden diese Gefüge- und Materialeigenschaften durch die Kontaktwirkung offensichtlich noch verstärkt und die Quarzite dadurch insgesamt noch

„zäher“. Die Gesteinsmatrix erscheint im Querbruch oft glasig, wobei die Abschlüge sehr scharfkantig mit muscheligen Bruch ausgebildet sind. Die mittelgrauen Schwermineral-Laminae heben sich darauf farblich gut ab. Analog zu den Quarziten aus H 1 treten die Schwerminerale darin überwiegend in mehreren parallelen, dünnen Lagen konzentriert auf, wobei teilweise auch Schrägschichtungs-Strukturen beobachtet wurden. Insgesamt sind jedoch hier nach makroskopischen Befunden die Schwerminerale gegenüber den Quarziten in H 1 deutlich geringer konzentriert. Typische Lesesteine sind auch hier plattig-tafelig, scharfkantig und erreichen Größen bis 40 cm Länge und 30 cm Breite bei einer Dicke von max. 20 cm. Untersuchtes Probenmaterial stammt überwiegend aus dem Bereich des Fichtelnaab-Tales zwischen der sog. Schmelzleite im Norden bis zum Naabrangen im Süden. Vereinzelt fanden sich größere Quarzit-Lesesteine auch N' Ebnath am Zeckenberg sowie S' Schwarzenreuth.

Wegen dieser Indizien zur Schwermineralführung (die sich im Rahmen der nachfolgenden Analytik bestätigten) und der für eine Lagerstättenbilanzierung als eher unvorteilhaft einzustufenden geologischen Gesamtsituation, wurde nur das nördliche, nach Vorbefunden als aussichtsreicher bewertete Gebiet schließlich durch Bagger-Schürfe jeweils Ende 2016 sowie Ende 2017 intensiver erkundet (siehe Abb. 9 bis Abb. 16).



Abb. 9: Schurf Lok. Weingarten (Nr. 1), NW' Oschwitz.



Abb. 10: Schurf Lok. Weingarten (Nr. 1), vergruster Glimmerschiefer.



Abb. 11: Schurf NE' Wartberg (Nr. 9), mittlerer Bodenhorizont: Quarzite.



Abb. 12: Schurf NE' Wartberg (Nr. 9), Basis der Schurfgrube: anstehender Glimmerschiefer, steilstehend.



Abb. 13: Schurf Nr. 14, NE' Wintersreuth.



Abb. 14: Schurf Nr. 14; verwitterter Glimmerschiefer, anstehend.



Abb. 15: Schurf Nr. 16, NNE' Wintersreuth.



Abb. 16: Schurf Nr.16, Quarzit, anstehend.



Abb. 17: Quarzit (unterster Bohrmeter, 19-20 m) und Nebengestein (Quarzglimmerschiefer mit hohem Quarzanteil, 16- ca. 19 m); Baugrundbohrung B-D1, Ortsumgehung Schirnding; Foto: Ingenieurbüro Dr. Ruppert und Felder GmbH.



Abb. 18: Mehrere m mächtige Quarzitlage (25-30 m), Baugrundbohrung B-A2, Ortsumgehung Schirnding; Foto: Ingenieurbüro Dr. Ruppert und Felder GmbH.

3 Durchgeführte Arbeiten

3.1 Befahrungen, Schürfe und Probennahme

Auf Grundlage der in den geologischen Karten und den Erläuterungen zur GK25 publizierten Verbreitungsgebiete der genannten Quarzite wurden die in Frage kommenden, „höffigen“ Gebiete mehrtägig befahren, Häufungen von Lesesteinen lokalisiert, daraus erste Proben (Screening-Proben) gezogen, mineralogisch-geochemische Erstuntersuchungen durchgeführt und das Gelände nach Indizien für bzw. nach anstehenden, mächtigeren Quarziten untersucht (u.a. auch mittels Bohrstock-Sondierungen). Bis auf einen mächtigen anstehenden Quarzit (wegen Lage im Bahneinschnitt „Krähenschwanz“ der Hauptstrecke Marktredwitz-Hof an dieser Stelle nicht näher untersuchbar) und wenigen, geringmächtigen Quarzit-Linsen im südlichen Verbreitungsgebiet konnten oberflächennah jedoch keine weiteren anstehenden Vorkommen lokalisiert werden.

Daher konzentrierte sich die Suche auf Häufungsgebiete mit „großen“, potenziell nur kurzräumig verfrachteten Quarzit-Lesesteinen mit makroskopisch erkennbaren Schwermineral-Anreicherungen im nördlichen Gebiet, die mittels nachfolgender Screening-Analytik validiert werden konnten. Dies in Verbindung mit dem ursprünglich schon auskartierten Quarzithorizont (geol. Einheit „ofqw“; Lage auf Kammpartie) und Bereichen der Wechsellagerung mit hoher Quarzit-Lesestein-Dichte (geol. Einheit „bqw“) bzw. dem bekannten Quarzit im Einschnitt der Bahntrasse führte schließlich zur Festlegung von insgesamt 16 Schurflokationen mit einzelnen Schurfgruben unterschiedlicher Länge.

Davon wurden 11 Schürfe sowohl im morphologisch sich deutlich abzeichnenden (vermeintlichen Quarzit-) Horizont (ofqw) als auch in der auskartierten Einheit „Quarzit-Glimmerschiefer Wechsellagerung“ (bqw) mit hoher Quarzit-Lesestein-Dichte, jeweils quer zum Generalstreichen angelegt. Die auf insgesamt ca. 66 m Länge und bis zum anstehenden Gestein angelegten Schürfe (maximale Teufe 4 m, maximale Länge 10 m) trafen jedoch in **keinem Fall** den bzw. die auskartierten Quarzit/e im Anstehenden an. Vielmehr fanden sich überwiegend nur zwischen dem anstehenden verwitterten, mechanisch aufgelockerten bzw. vergrusteten Glimmerschiefer (lokal auch Metabasalt) und den obersten Bodenhorizonten (Ackerboden Ap - Bv) Bereiche bzw. Boden-Horizonte (im Allgemeinen zwischen ca. 0,3 m und ca. 1,2 m unter GOK), die Quarzite als eingestreute kantige Steine bis Blöcke („Lesesteine“ bis 1,5 m Länge) gehäuft enthielten. Das unterlagernde, anstehende Gestein ließ dabei in keinem Fall eine Quarzit-Einschaltung oder eine Verbindung bzw. Entwicklung zu einem Quarzit (bzw. Wechsellagerung) hin erkennen; es handelte sich in allen Fällen nur um reine Glimmerschiefer-Einheiten mit teilweise eingeschalteten Metabasalten **ohne die auskartierten Quarzite**.

Fünf weitere Schurf-Lokationen wurden westlich und östlich (beiderseits) des Bahneinschnittes nördlich Wintersreuth gesetzt und sollten den anstehenden Quarzit in seiner streichenden Fortsetzung erschließen. Von den hier auf insgesamt ca. 57 m Länge und bis zum anstehenden Gestein angelegten Schürfen (maximale Teufe 4,0 m, maximale Länge 25 m) konnten in 2 Fällen Quarzite im Anstehenden angetroffen werden. Diese waren jedoch petrographisch eher siltig ausgebildet und enthielten keine sichtbare Schwermineralführung. Eine direkte Verbindung zum anstehenden Quarzit lässt sich in beiden nicht konstruieren.

Insgesamt wurden aus den Geländebegehungen, aus Material von Lesesteinhaufen, aus den Schürfen und aus dem Anstehenden insgesamt 63 repräsentative Proben für die weiteren mineralogisch-geochemischen-lagerstättenkundlichen Untersuchungen gezogen (Abb. 3, Abb. 4, Tab. 1 und Tab. 2).

Tab. 1: Schurf-Lokationen sowie angetroffenes Gestein.

Schurf-Lokation (lfde. Nr.)	Lage RW / HW	Flurstück	Höhenlage (m über NN)	Rahmengestein (anstehend)	Quarzit (anstehend)
1	NW Oschwitz 4514236 / 5548638	Weingarten	520	Glimmerschiefer	nein
2	NW Oschwitz 4514323 / 5548940	Weingarten	540	Glimmerschiefer	nein
3	S Bergnersreuth 4511199 / 5547599	Zelg	550	Glimmerschiefer	nein
4	S Bergnersreuth 4511199 / 5547560	Zelg	550	Glimmerschiefer	nein
5	S Bergnersreuth 4511170 / 5547515	Zelg	550	Glimmerschiefer	nein
6	S Thiersheim 4509475 / 5547686	Pertschenloh	590	Glimmerschiefer	nein, nur gehäuft als kantige Großblöcke im Bodenskelett
7	N Grafenreuth 4508667 / 5547268	Wartberg SW	620	Glimmerschiefer	nein, nur gehäuft als kantige Großblöcke im Bodenskelett
8	N Grafenreuth 4508703 / 5547284	Wartberg E	620	Glimmerschiefer, Metabasalt	nein
9	N Grafenreuth 4508656 / 5547301	Wartberg NE	620	Glimmerschiefer	nein, nur gehäuft als kantige Großblöcke im Bodenskelett
10	NW Grafenreuth 4508129 / 5546680	Zelgacker	610	Glimmerschiefer	nein, nur vereinzelt als kantige Steine im Bodenskelett
11	NE Oberthölau 4506895 / 5545157	Öde	585	Glimmerschiefer	nein, nur vereinzelt als kantige Steine im Bodenskelett
12	NW Wintersreuth 4503295 / 5544779	Krähenschwanz	578	Glimmerschiefer	ja, siltiger Quarzit
13	NNW Wintersreuth 4503261 / 5544817	Krähenschwanz	580	Glimmerschiefer-Quarzit- Wechselagerung	nein
14	NE Wintersreuth 4503422 / 5544715	Krähenschwanz	570	Glimmerschiefer	nein
15	N Wintersreuth 4503364 / 5544820	Krähenschwanz	578	Glimmerschiefer-Quarzit- Wechselagerung	nein
16	NNE Wintersreuth 4503412 / 5544842	Krähenschwanz	582	Glimmerschiefer	ja, siltiger Quarzit

3.2 Auf- und Vorbereitung der Proben, Dichtentrennung

In einem ersten Schritt wurden die Rohproben von Anhaftungen (Verwitterungskrusten und dergleichen) befreit, gewaschen, bis zur Temperaturkonstanz getrocknet und darauf das jeweilige Trocken(-Roh-)gewicht bestimmt.

Für eine lückenlose Dokumentation wurden diese Proben anschließend fotografiert, bevor sie im nächsten Schritt mittels Backenbrecher grob zerkleinert wurden.

Zur Grob-Aufbereitung wurden die Proben zunächst auf etwa 5 x 5 x 5 cm große Würfel gesägt und eine Menge von jeweils ca. 1 kg pro Probe mit dem Backenbrecher auf Korngrößen < ca. 5 mm zerkleinert (Abb. 19). Anschließend wurde das zerkleinerte Material aliquotisiert, wovon eine Hälfte zur Dichtentrennung, die andere Hälfte zum weiteren Pulverisieren (Analysenfeinheit) verwendet wurde.

Anschließend wurde sowohl zur schonenden und effektiven Zerkleinerung der Rohproben als auch zur kompletten und weitgehend zerstörungsfreien Freisetzung der Schwerminerale aus dem Kornverband eine mehrstufige interne Aufbereitung eingesetzt. Die zunächst mittels Backenbrecher auf Korn-

größen < 5 mm vorgebrochenen Proben wurden mittels Planetenkugelmühle bei einer Mahldauer von ein mal 3 min. auf eine Korngröße von ca. $< 250 \mu\text{m}$ heruntergemahlen (Abb. 20). Das Korngemisch wurde anschließend durch Trocken-Siebung in drei Korngrößenbereiche ($> 125 \mu\text{m}$, $> 63 \mu\text{m}$ und $< 63 \mu\text{m}$) zerlegt. Im Porzellanmörser mit einem Porzellan-Pistill wurde zusätzlich die grösste Fraktion schonend auf eine Korngröße von ca. $125 \mu\text{m}$ und kleiner manuell zerrieben (Abb. 21).



Abb. 19: Aufbereitung mittels Backenbrecher.



Abb. 20: Planetenkugelmühle mit Achat-Mahlbechern.



Abb. 21: Manuelles Zerreiben der Grob-Fraktion im Porzellanmörser.

Von den so erhaltenen drei Fraktionen wurden anschließend im Sink-Schwimm-Verfahren mittels Natriumpolywolframat (Dichte $3,00 \text{ g/cm}^3$) die Schwerminerale (Dichte $> 3,00 \text{ g/cm}^3$; BOENIGK 1983) in einem Scheidetrichter (500 ml Inhalt) von Leichtmineralen weitgehend abgetrennt (Abb. 22). Diese Prozedur erfolgte nach eigenen, für die SEE-Projekte entwickelten Arbeitsvorschriften intern (LINHARDT et al. 2014, 2015; DECKER et al. 2016). In den vorliegenden drei Korngrößenbereichen wurden hierzu mindestens ein Ansatz (bei Bedarf auch mehrere Ansätze) mit jeweils ca. 30 bis 50 g Material pro Scheidetrichter getrennt, um eine gesamte Schwermineralausbeute $\geq 0,5 \text{ g}$ zu erzielen. Zeitbedarf hierbei waren 2 Tage pro Ansatz (1 Tag Sedimentation sowie 1 Tag Filtration, Spül- und Trocknungsprozedur inkl. Wägung).

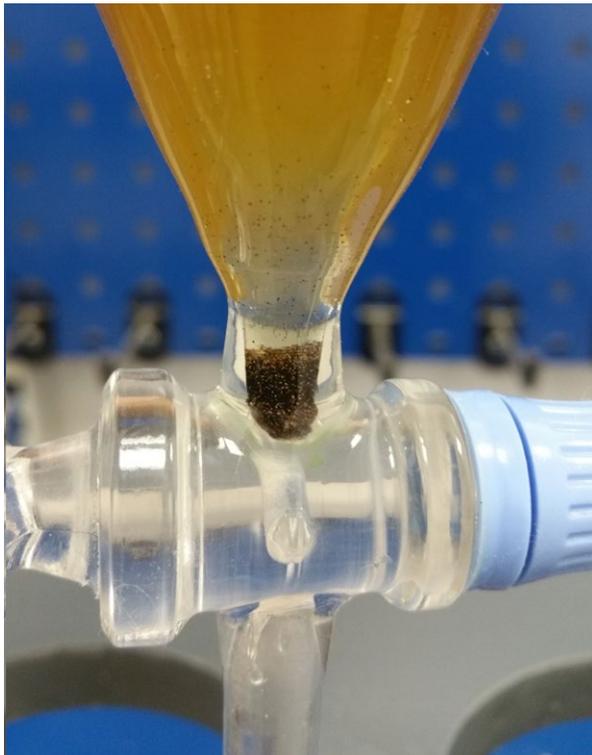


Abb. 22: Abtrennung von Schwermineralen mittels Sink-Schwimm-Verfahren im Scheidetrichter.

Aus den Ein- und Auswaagen der einzelnen Abtrennschritte wurde darauf der jeweilige Schwermineral-Gehalt der Gesamtproben absolut und prozentual bestimmt (Tab. 3). Anschließend wurden die aus den drei Fraktionen gewonnenen Schwermineral-Mengen wieder zu einer Gesamtprobe vereinigt, ggf. makroskopisch und mikroskopisch untersucht und für die nachfolgende mineralogische Analytik vorbereitet (Abb. 23 und Abb. 24).



Abb. 23: Schwermineral-Konzentrat mit Turmalin (Dra-
vit), Bildbreite ca. 2,5 mm, Probe Wart 1-2.

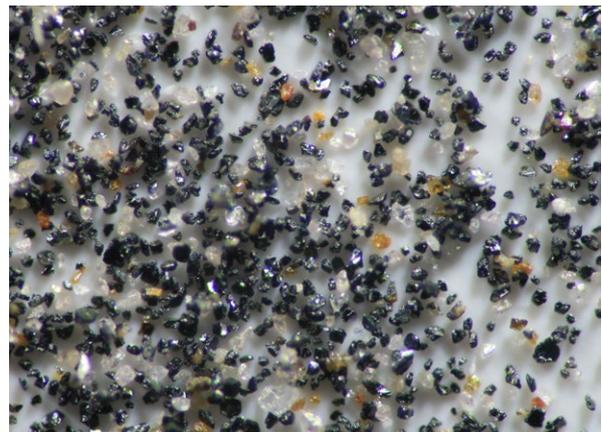


Abb. 24: Schwermineral-Konzentrat mit Zirkon, Bild-
breite ca. 1,25 mm, Probe Unt 1-1.

Zudem wurden jeweils Brechgut-Aliquote (< 5 mm) von jeweils 100 g pro Probe abgetrennt und für die Gesamtgesteins-Analytik weiter mittels Planetenkugelmühle (Achateinsätze) auf Analysenfeinheit ($\leq 30 \mu\text{m}$ Korngröße) aufgemahlen. Je nach Probenhärte und Probenmenge, musste das Material zwei mal 7 min. bzw. drei mal 7 min. bei 320 U/min aufgemahlen werden, um das erwünschte Ergebnis ei-

ner analysenfeinen Probe zu erzielen. Die so erhaltenen Proben wurden daraufhin ebenfalls für die chemische Analytik vorbereitet (Abfüllen in Probengläschen, Etikettieren).

Je nach Probenmenge lag der Zeitbedarf pro Probe für die Präparationsschritte Waschen und Trocknen der Originalprobe, Grobzerkleinerung, Zerreiben und Feinmahlung, Aliquotisieren sowie Abfüllen bei ca. 4 Tagen.

Alle Aufbereitungs-Schritte sowie die Trennvorgänge mit ihren gravimetrischen und makroskopischen Zwischenergebnissen sind probenbezogen in einer Projekt-Datenbank erfasst.

Tab. 2: Aufstellung der Untersuchungsproben.

Probe	Untersuchungs- gebiet	Anstehend / Lesestein	TK 25	Rechtswert	Hochwert	Quarzit aus Einheit
Brom 1-1	H 1	Feldlesesteine	5937	4499128	5542299	cbgl
Brom 1-2	H 1	Feldlesesteine	5937	4499097	5542334	cbgl
cbgl-1	H 1	Feldlesesteine	5937	4499086	5542319	cbgl
cbgl-2	H 1	Feldlesesteine	5937	4499086	5542319	cbgl
Hamm 1-1	H 1	Feldlesesteine	5937	4498905	5542874	cbgl
bqw-8	H 1	Feldlesesteine	5938	4507092	5545383	bqw
Othö 7	H 1	Feldlesesteine	5938	4506765	5544485	bqw
bqw-6	H 1	Feldlesesteine	5938	4505963	5543164	bqw
bqw-5	H 1	Feldlesesteine	5938	4503489	5543269	bqw
bqw-3	H 1	alte Entnahmestelle	5938	4500985	5544209	bqw
Kath 1-1	H 1	alte Entnahmestelle	5938	4500977	5544201	bqw
Kath 3	H 1	alte Entnahmestelle	5938	4500977	5544201	bqw
bqw-4	H 1	Anstehendes in Böschung	5938	4503266	5544819	bqw
Hol 4	H 1	Anstehendes in Böschung	5938	4503266	5544819	bqw
Wart 1-1	H 1	Feldlesesteine	5938	4508586	5547210	bqw; ofqw
Wart 1-2	H 1	Feldlesesteine	5938	4508591	5547241	bqw; ofqw
Wart 1-3	H 1	Feldlesesteine	5938	4508765	5547268	bqw; ofqw
Wart 1-4	H 1	Feldlesesteine	5938	4508808	5547292	bqw
Wart 1-5	H 1	Feldlesesteine	5938	4508653	5547278	bqw; ofqw
Putz 1-1	H 1	Feldlesesteine	5938	4507912	5546583	bqw
Putz 1-3	H 1	Feldlesesteine	5938	4507907	5546236	bqw
Putz 1-4	H 1	Feldlesesteine	5938	4507980	5546566	bqw
Putz 1-5	H 1	Feldlesesteine	5938	4508067	5546700	bqw
Unt 1-1	H 1	Feldlesesteine	5938	4506098	5543066	bqw
Unt 1-2	H 1	Feldlesesteine	5938	4505970	5543106	bqw
Unt 1-3	H 1	Feldlesesteine	5938	4506005	5543077	bqw
Unt 1-4	H 1	Feldlesesteine	5938	4506103	5543474	bqw
Kräh 1-1	H 1	Anstehendes in Böschung	5938	4503344	5544797	bqw
Weid 1-1	H 1	Feldlesesteine	5938	4509098	5547300	bqw
Weid 1-2	H 1	Feldlesesteine	5938	4509295	5547478	bqw
Weid 1-3	H 1	Feldlesesteine	5938	4509216	5547512	bqw; ofqw
Weid 1-4	H 1	Feldlesesteine	5938	4509449	5547579	bqw
Weid 1-5	H 1	Feldlesesteine	5938	4509704	5547667	bqw
Flitt 1-1	H 1	Aufschluss	5938	4512280	5547515	bqw
Flitt 1-2	H 1	Aufschluss	5938	4512399	5547480	bqw

Probe	Untersuchungs- gebiet	Anstehend / Lesestein	TK 25	Rechtswert	Hochwert	Quarzit aus Einheit
Flitt 1-3	H 1	Aufschluss	5938	4512542	5547337	bqw
Flitt 1-4	H 1	Aufschluss	5938	4512549	5547188	bqw
bqw-10, bqw-11	H 1	Feldlesesteine	5939	4515319	5548146	bqw
bqw-12	H 1	Feldlesesteine	5939	4515613	5548259	bqw
bqw-9	H 1	Feldlesesteine	5939	4508638	5547293	bqw
Osch 10	H 1	Feldlesesteine	5939	4514125	5548563	bqw
Osch 12	H 1	Feldlesesteine	5939	4514042	5548517	bqw
Br 1-1	H 2	Aufschluss Waldweg	6037	4492383	5535726	aq/gl
Br 1-2	H 2	Aufschluss Waldweg	6037	4492457	5535682	aq/gl
Br 1-3	H 2	Aufschluss Waldweg	6037	4492488	5535664	aq/gl
Br 1-4	H 2	Bagger-Aushub	6037	4492639	5535523	aq/gl
Br 1-5	H 2	Anstehendes Straße	6037	4492803	5535428	aq/gl
Br 1-6	H 2	Bagger-Aushub	6037	4492599	5535572	aq/gl
Br 2-1	H 2	Straßenaufschluss	6037	4493154	5534475	aq/gl
Br 2-2	H 2	Straßenaufschluss	6037	4493148	5534468	aq/gl
Br 2-3	H 2	Straßenaufschluss	6037	4493136	5534459	aq/gl
Br 3-1	H 2	Anstehendes Wald	6037	4493653	5534622	aq/gl
Br 3-2	H 2	Anstehendes Wald	6037	4494426	5534995	aq/gl
Br 3-3	H 2	Anstehendes Wald	6037	4494588	5535056	aq/gl
Br 3-4	H 2	Anstehendes Wald	6037	4494695	5535114	aq/gl
Br 3-5	H 2	Lesestein Wald	6037	4494577	5535184	aq/gl
Br 3-6	H 2	Lesestein Wald	6037	4494367	5535125	aq/gl
Br 3-7	H 2	Anstehendes Wald	6037	4494178	5535071	aq/gl
Br 3-8	H 2	Anstehendes Wald	6037	4494037	5535000	aq/gl
Br 3-9	H 2	Lesestein Wald	6037	4493971	5534904	aq/gl
Br 3-10	H 2	Lesestein Wald	6037	4493692	5534749	aq/gl
Br 3-11	H 2	Lesestein Wald	6037	4493566	5534764	aq/gl

3.3 Mineralogie und Geochemie, Laboruntersuchungen

Die Analytik der gezogenen Proben (siehe nachfolgende Tab. 3) hinsichtlich Geochemie (Haupt-, Neben- und Spurenelemente) mittels emissions- und massenspektrometrischer Analysenverfahren (ICP-OES bzw. ICP-MS) aus einem Schmelzaufschluß (Totalverfahren) sowie hinsichtlich quantitativer Mineralogie mittels Röntgendiffraktometrie (XRD) und Rietveld-Verfeinerung erfolgte LfU-extern.

Die Nachweisgrenzen der verwendeten Multielementanalytik liegen dabei in der Regel bei 0,01 Gew.-% für die Hauptelemente, für die Neben- und Spurenelemente werden in der Regel 1 ppm erzielt und bei den SEE im Mittel 0,1 ppm erreicht.

Die Fehler der quantitativen XRD-Analytik betragen durchschnittlich 3 % relativ, als Bestimmungsgrenzen werden Spezies-abhängig zwischen 0,5 und 3 M.-% angegeben. Analytisch berücksichtigt wurden neben den silikatischen Leichtmineralen Muskovit, Biotit, Chlorit, Quarz, Alkalifeldspat und Plagioklas die Schwerminerale Rutil, Anatas, Ilmenit, Goethit, Hämatit, Granat, Turmalin, Andalusit, Zirkon und Fluor-Apatit.

Die (röntgenographische) Quantifizierung der potenziellen SEE-Mineralen sowie der Begleitminerale in den Gesamtproben (Angabe in Massen-Prozent, M.-%) wurde mittels Hauptelementgehalten aus der

Geochemie (Angabe in Gewichts-Prozent, Gew.-%) LfU-intern plausibilisiert und ggf. korrigiert. Dies diente auch zur Plausibilisierung bzw. Validierung mineralogisch-geochemischer Daten der Schwermineral-Konzentrate (Kontrolle der Schwermineralausbeute beider Fraktionen bzw. Verhältnis Leicht- zu Schwermineralen in Gesamtprobe). Dazu wurde jeweils ein aufgemahlenes Probenaliquot ($\leq 30 \mu\text{m}$ Korngröße) zusätzlich, ohne entsprechende Dichtentrennung hinsichtlich Gesamtgesteins-Chemie und – Mineralogie mittels oben aufgeführter chemisch-mineralogischer Analysenverfahren parallel untersucht.

Die Gehaltsangaben (aus Wägung) der einzelnen Schwermineral-Konzentrate (unspezifiziertes Mineral-spektrum) wurden als gegeben übernommen und für die Auswertung verwendet. Dabei konnten auch die Güte der Aufbereitung (Abtrenngrad) bzw. Verluste im Zuge der Aufbereitung bilanziert werden.

Tab. 3: Schwermineralgehalte untersuchter Proben.

Probe	Lage / Horizont	TK	Probenaliquot Gesamtgestein (g)	Gesamtausbeute Schwerminerale (g)	Gehalt Schwerminerale (M.-%)
bqw 12-2	H 1	5939	116,75	0,78	0,67
bqw-11	H 1	5939	71,95	0,59	0,82
bqw-12-1	H 1	5939	31,95	0,687	2,15
bqw-3	H 1	5938	32,01	1,828	5,71
bqw-4	H 1	5938	61,88	0,526	0,85
bqw-5	H 1	5938	31,99	1,625	5,08
bqw-6	H 1	5938	32,03	1,118	3,49
bqw-8	H 1	5938	81,63	0,702	0,86
bqw-9	H 1	5939	31,63	0,136	0,43
Brom 1-1	H 1	5937	137,22	3,571	2,60
Brom 1-2	H 1	5937	152,69	0,672	0,44
cbgl-1	H 1	5937	32,07	0,603	1,88
cbgl-2	H 1	5937	31,92	0,68	2,13
Flitt 1-1	H 1	5939	140,74	0,523	0,37
Flitt 1-2	H 1	5939	267,64	0,521	0,19
Flitt 1-3	H 1	5939	112,68	0,496	0,44
Flitt 1-4	H 1	5939	281,7	0,875	0,31
Hamm 1-1	H 1	5937	126,27	1,353	1,07
Hol 4	H 1	5938	267,7	0,587	0,22
Kath 1-1	H 1	5938	228,58	0,988	0,43
Kath 3	H 1	5938	244,77	1,655	0,68
Kräh 1-1	H 1	5938	148,19	1,211	0,82
Othö 7	H 1	5938	274,57	2,537	0,92
Osch 10	H 1	5939	138,02	0,756	0,55
Osch 12	H 1	5939	237,79	1,222	0,51
Putz 1-1	H 1	5938	130,49	0,508	0,39
Putz 1-3	H 1	5938	277,57	0,793	0,29
Putz 1-4	H 1	5938	87,57	2,684	3,07
Putz 1-5	H 1	5938	297,41	0,895	0,30
Unt 1-1	H 1	5938	284,42	0,596	0,21
Unt 1-2	H 1	5938	142,47	0,668	0,47
Unt 1-3	H 1	5938	118,06	1,896	1,61
Unt 1-4	H 1	5938	125,15	1,304	1,04
Wart 1-1	H 1	5938	115,02	1,196	1,04
Wart 1-2	H 1	5938	302,68	1,692	0,56

Probe	Lage / Horizont	TK	Probenaliquot Gesamtgestein (g)	Gesamtausbeute Schwerminerale (g)	Gehalt Schwerminerale (M.-%)
Wart 1-3	H 1	5938	123,82	0,704	0,57
Wart 1-4	H 1	5938	271,95	0,922	0,34
Wart 1-5	H 1	5938	161,87	0,603	0,37
Weid 1-1	H 1	5938	425,53	0,721	0,17
Weid 1-2	H 1	5938	256,45	0,300	0,12
Weid 1-3	H 1	5938	115,76	1,115	0,96
Weid 1-4	H 1	5938	295,35	1,272	0,43
Weid 1-5	H 1	5938	263,71	0,669	0,25
Br 1-1	H 2	6037	113,05	3,712	3,28
Br 1-2	H 2	6037	268,75	1,220	0,45
Br 1-3	H 2	6037	135,1	0,943	0,70
Br 1-4	H 2	6037	126,79	1,151	0,91
Br 1-5	H 2	6037	144,81	2,455	1,70
Br 1-6	H 2	6037	125,82	2,224	1,77
Br 2-1	H 2	6037	220,85	0,599	0,27
Br 2-2	H 2	6037	150,92	1,000	0,66
Br 2-3	H 2	6037	146,02	0,855	0,59
Br 3-1	H 2	6037	150,36	0,661	0,44
Br 3-10	H 2	6037	259,35	0,589	0,23
Br 3-11	H 2	6037	151,68	1,758	1,16
Br 3-2	H 2	6037	294,92	1,454	0,49
Br 3-3	H 2	6037	111,71	1,399	1,25
Br 3-4	H 2	6037	138,66	0,881	0,64
Br 3-5	H 2	6037	145,32	1,368	0,94
Br 3-6	H 2	6037	120,15	2,855	2,38
Br 3-7	H 2	6037	122,52	3,815	3,11
Br 3-8	H 2	6037	80,12	2,612	3,26
Br 3-9	H 2	6037	136,97	2,605	1,90
Anzahl					63
Mittelwert					1,14

3.4 Auswertung der Analytik und Bilanzierung

Im Vorfeld wurden zunächst die geologischen Karten (1 : 25.000) des/der Untersuchungsgebiete/s nach höffigen Einheiten ausgewertet, gemeinsam mit verfügbaren Einzeldarstellungen und Detailkarten (u.a. Einzelaufnahmen aus Profilen) georeferenziert und in ein GIS-Projekt übernommen. Auf dieser Kartengrundlage konnten anschließend die Lagepunkte der Schürfe und Probenahme-punkte übernommen und digitalisiert werden. Darauf aufsetzend sollten laut Projektplanung die gewonnenen mineralogisch-geochemischen Daten der Einzel-Proben zunächst punktbezogen dargestellt (ARCMAP) und für eine spätere, GIS-technische Korrelation und (2-dimensionale) Auswertung bzw. Modellierung vorbereitet werden.

Auf dieser Grundlage schließlich sollten in einem weiteren Schritt, entsprechend den Resultaten aus den so gruppierten Ergebnissen (u.a. der Schürfe), in einem 3-D-Modell die Kubaturen der verwertbaren Gesteinsinhalte (Größe der Lagerstätte/n) und letztlich ihr verwertbarer Gesamt-Inhalt an SEE ermittelt werden.

Da es sich nach aktuellen Befunden nicht, wie kartographisch ausgewiesen, um einen oder mehrere einheitliche/n und großdimensionierte/n Horizont/e, sondern offensichtlich nur um kleine diskontinuierliche, m-große, aus dem ehemaligen Gesteinsverband herausgelöste Bereiche von Quarziten (und hierbei ausschließlich um Lesesteine) handelt, war eine Bilanzierung zum gesamten höffigen Gesteinsvolumen unmöglich bzw. nicht sinnvoll und wurde ausgesetzt. Alle Angaben beschränken sich daher überwiegend auf die sporadisch auftretenden individuellen Lesesteine, die zwar lokal mehr oder weniger konzentriert auftreten, aber dennoch keine definier- und eingrenzbar Lagerstätte bilden.

Ausgewertet wurden dann jeweils, wie nachfolgend dargestellt, alle quantitativen chemischen und mineralogischen Daten aus Gesamtgestein (GG) und Schwermineralkonzentraten (SMK) der Einzelproben der Untersuchungsgebiete H 1 und H 2 nach den statistischen Parametern Minimal- und Maximalwert sowie dem arithmetischen Mittelwert.

4 Ergebnisse

4.1 Detailbetrachtung hinsichtlich der Mineralogie und Geochemie

4.1.1 Allgemeines

In den nachfolgenden Teilkapiteln werden die Untersuchungsergebnisse (unter anderem **Geochemie des Gesamtgesteins und des Schwermineralkonzentrats, Schwermineral-Zusammensetzung und SEE-Gehalte des Konzentrates, SEE-Verteilungsmuster**) einzeln vorgestellt und diskutiert.

Lithochemische Eigenschaften und Besonderheiten dieser Quarzite bzw. der daraus gewinnbaren Schwermineralkonzentrate werden am Anfang dieses Kapitels mittels Mittelwerten herausgestellt, zusammengefasst und bewertet.

Zur mineralogischen Beschreibung und zum Vergleich von Gesamtgestein und daraus gewonnenem Schwermineralkonzentrat wurden nachfolgende Summenparameter gebildet und als Mittelwerte gegenüber gestellt und bewertet.

Die Gruppe „Leichtminerale“ enthält die Silikate Quarz, Feldspäte (Kalifeldspat, Plagioklas), Muskovit, Biotit und Chlorit. Diese Minerale lagen vermutlich teilweise noch als Verwachsungen bzw. als Umwachsungen der Schwerminerale vor und konnten methodisch bedingt offensichtlich teilweise nur unvollständig abgetrennt werden. Die Gruppe der „Schwerminerale“ besteht aus den SEE-führenden Mineralen, den Titan-Mineralen, den Eisen-Mineralen sowie aus Granat, Andalusit und Turmalin. In der Gruppe der „SEE-Mineralen“ sind Zirkon und Apatit beinhaltet. Anatas, Rutil und Ilmenit beschreiben die Gruppe der „Titan-Mineralen“. Die Gruppe „Eisen-Mineralen“ besteht aus Goethit und Hämatit. Die Gruppe „sonstige Schwerminerale“ besteht aus Granat, Andalusit und Turmalin (Dravit). Die mineralogischen Einzel- und Mittelwerte sind in den Tab. A-1 und Tab. A-2 (Anhang) aufgelistet.

Neben der Angabe der absoluten Konzentration von SEE-Gehalten dient das **Verteilungsmuster der Seltenerd-Elemente** in geologischen Matrices als wichtige und charakteristische Kenngröße für die Herkunft dieser Proben und erlaubt Rückschlüsse auf die Gesteinsgenese sowie das Umfeld der Proben (LINHARDT & DITTRICH 1999). Es wird im Folgenden als zusätzliches Kriterium zur genetisch-geochemischen Einstufung verwendet.

Aufgrund ihrer Ionenradien und ihrer bevorzugten Wertigkeiten können die SEE andere Elemente in weitverbreiteten, gesteinsbildenden Mineralen substituieren oder in eigenständigen, hier behandelten SEE-Mineralen, auftreten. So ersetzen u.a. die trivalenten SEE Ca^{2+} , Y^{3+} , Th^{4+} , U^{4+} , Mn^{2+} und Zr^{4+} , die bivalenten SEE (u.a. Eu^{2+}) dagegen Pb^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} und Na^{+} in vielen gesteinsbildenden Mineralen. Das wichtigste Werkzeug zur Interpretation von SEE-Daten stellt dabei das sog. Chondrit-normalisierte SEE-Verteilungsmuster dar. Als X-Y-Grafik werden die mit aufsteigender Masse angeordneten SEE gegen ihre jeweiligen Konzentrationen in den untersuchten Gesteinen bzw. Mineralen dargestellt. Zur besseren Interpretierbarkeit werden dazu die zuerst unregelmäßigen, gezackt erscheinenden SEE-Häufigkeitsverteilungen (infolge elementspezifischer Fraktionierung der SEE in irdischen und kosmischen Systemen) „geglättet“. Dazu werden die ermittelten SEE-Konzentrationen auf externe Bezugssysteme normalisiert, wofür überwiegend kohlige, C-Chondrite dienen, die häufigste Klasse von primitiven, relativ unfraktionierten Meteoriten (LINHARDT & DITTRICH 1999; Tab. 4).

Es gilt: $\text{SEE}_{\text{normalisiert}} = \text{Konzentration SEE}_{\text{Probe}} / \text{Konzentration SEE}_{\text{Chondrit}}$ (Gl.1)

Nach diesem „mathematischen“ Bearbeitungsschritt entstehen SEE-Verteilungsmuster (normalisierte Häufigkeiten der SEE) mit „typischen“ und „glatten“ Kurvenverläufen, die zur Untersuchung von Modellen über die Bildungsgeschichte von Gesteinen oder Gesteinsserien verwendet werden (z.B. Herkunft von Gesteinen aus einer oder mehreren Quellen, Zusammensetzung der Quelle(n); HENDERSON 1984).

Als eine wichtige, praktische Anwendung können auf dieser Grundlage ungewollte Fraktionierungen (infolge diverser Aufbereitungsschritte) von Gesamtgestein zu Teilfraktionen (Schwermineral-Konzentration) bzw. durch Lösungsanalytik erkannt und in der Auswertung entsprechend berücksichtigt werden.

SEE	Konzentration in [ppm]
La	0,2446
Ce	0,6379
Pr	0,09637
Nd	0,4738
Sm	0,1540
Eu	0,05802
Gd	0,2043
Tb	0,03745
Dy	0,2541
Ho	0,05670
Er	0,1660
Tm	0,02561
Yb	0,1651
Lu	0,02539

Tab. 4: Häufigkeiten (Konzentrationen, in ppm) der SEE in kohligen, chondritischen Meteoriten (C 1). Quelle: EVENSEN et al. (1978), in: HENDERSON (1984); sie entsprechen den Normalisierungsfaktoren für unten folgende Grafiken (siehe Abb. 27 und Abb. 28 sowie Gl. 1).

Die prozentuale SEE-Zusammensetzung an einem „mittleren Schwermineralkonzentrat“ (mg/kg) sowie die potenziellen Ausbeuten (SEE sowie Zirkonium und Titan) werden abschließend am Ende dieses Kapitels nacheinander beschrieben und aufgeführt. Dazu werden aus den Mittelwerten (SEE elementar, mg/kg) sowohl die Summenparameter aus den Leichten SEE (LREE: Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, als Oxide [kg]) und aus den Schweren SEE (HREE: Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, als Oxide [kg]) gebildet und dargestellt als auch die gewinnbaren Mengen Zirkonium und Titan jeweils als Menge gewinnbares Oxid [kg] aufgeführt. Die tabellarisch aufgeführten geochemischen Einzelergebnisse finden sich in den Tab. A-7 und Tab. A-8 (Anhang).

4.1.2 Geochemie

Die nach petrographischen Gesichtspunkten gezogenen Proben (überwiegend Lesesteine; Rohgewicht jeweils zwischen ca. 1 kg und ca. 5 kg) sollten typische Repräsentanten der beschriebenen Quarzite darstellen. Da sie augenscheinlich nur über kurze Distanzen transportiert worden sind stammen sie mit hoher Sicherheit unmittelbar aus den lokalen beschriebenen geologischen Einheiten. Zusätzliche Proben wurden aus dem Anstehenden sowie von den Schürfen am „Krähenschwanz“ gezogen und zur Datenverdichtung verwendet. Je nach Gebiet, Häufigsdichte und Ausbildung bzw. Variabilität der Quarzite wurden dazu jeweils unterschiedlich viele Proben, wie oben schon dargestellt, ausgewählt, fotografiert, makroskopisch beschrieben und nachfolgend im Labor nach Aufbereitung, Homogenisierung und Präparation geochemisch und mineralogisch analysiert.

Bei den Hauptelementen fallen erwartungsgemäß die mittleren, sehr hohen Siliziumdioxid-Gehalte (SiO_2 86,52 Gew.-%) auf, die damit auch die hohen Quarz-Gehalte der Proben widerspiegeln. Die auffallend niedrigen Gehalte aller übrigen Hauptelement-Oxidanteile (außer TiO_2) zeigen die geringe Beteiligung sonstiger in diesem Umfeld üblichen Minerale (Feldspäte, Glimmer, Eisen-Mineralen) in diesen Quarziten und damit den hohen „Reifegrad“ dieser Metasedimente an. Nur der relativ hohe mittlere TiO_2 -Gehalt von 0,51 Gew.-% verweist auf die anomal hohe Komponente von Titanmineralen. Von den mittleren Spurenelement-Gehalten liegt nur der von Zirkonium (874 mg/kg) über den geogenen Grundgehalten für Sande bzw. Quarzite und deutet auf anomale bzw. hohe Zirkon-Gehalte. Alle übrigen Spurenelement-Gehalte sind im Vergleich zu geogenen Grundgehalten für diesen Gesteinstypus unauffällig (LINHARDT & ZARBOK †, 2005). Die tabellarisch aufgeführten geochemischen Einzelergebnisse finden sich in den Tab. A-3 bis Tab. A-6 (Anhang).

Die mittleren Wertstoff-Gehalte der untersuchten Konturit-Quarzite (Gesamtgestein, N = 59) liegen bei ca. 147 mg/kg für die SEE inkl. Sc und Y, bei ca. 34 mg/kg für Cr, bei 874 mg/kg für Zr und bei ca. 0,51 Gew.-% für TiO_2 .

Die mittleren Wertstoff-Gehalte der daraus gewonnenen Schwermineralkonzentrate (N = 60) liegen bei ca. 70.472 mg/kg Zr, bei ca. 172 mg/kg Cr und bei 18,80 Gew.-% TiO_2 .

Alle in den Quarziten enthaltenen SEE (inkl. Sc und Y) sind nach den mineralogisch-geochemischen Befunden ausschließlich an die Schwerminerale Zirkon und Fluor-Apatit gebunden.

Die mittleren, gesamten SEE-Gehalte inkl. Sc und Y der Schwermineralkonzentrate betragen durchschnittlich ca. 2.709 mg/kg, was einem Anreicherungsfaktor von etwa 18,4 gegenüber Gesamtgestein entspricht.

4.1.3 Mineralogie

Als Hauptminerale der Quarzite treten Quarz mit ca. 82,4 M.-%, gefolgt von Glimmer-Mineralen (überwiegend Muskovit und Biotit) mit ca. 13,2 M.-% und Feldspäten (Kalifeldspat und Plagioklas) mit ca. 4,4 M.-% auf (arithm. Mittelwerte).

Das Schwermineralspektrum der untersuchten Quarzite ist relativ einheitlich zusammengesetzt; es besteht überwiegend aus Zirkon, Titanmineralen (Rutil, Anatas und Ilmenit), gefolgt von Turmalin und Andalusit (in wechselnden Mengen) sowie untergeordnet Apatit. Darin spiegelt sich eine hohe kompositionelle Reife dieser Quarzite wider (PETTIJOHN et al. 1987).

Mit einer positiven Ausnahme bei Turmalin liegen alle Schwermineral-Gehalte im Gesamtgestein unterhalb der jeweiligen analytisch-mineralogischen Bestimmungsgrenzen, eine quantitative Einzel- und Gesamt-Angabe (basierend auf XRD) ist daher im Gesamtgestein nicht möglich. Stattdessen wurden die jeweiligen, gravimetrisch ermittelten Werte der Schwermineral-Gehalte (mineralogisch un spezifiziertes Schwermineral-Spektrum) zur Mittelwertbildung verwendet.

Die gravimetrisch ermittelten Gehalte von Schwermineralen (Dichte $> 3,00 \text{ g/cm}^3$) im Gesamtgestein (Quarzit, Mittel aus 64 Proben; in M.-%) nach Aufbereitung, Präparation und Dichtentrennung liegen zwischen 0,11 M.-% (minimal) und 5,71 M.-% (maximal), der arithmetische Mittelwert beträgt 1,14 M.-% (Abb. 25).

Die im Schwermineralkonzentrat dominierende Gruppe ist die der SEE-Mineralen mit durchschnittlich 18,9 M.-%, wobei Zirkon bei durchschnittlich 16,9 M.-% und Fluor-Apatit bei einem Anteil von

durchschnittlich 2,0 M.-% liegt. Gefolgt wird diese von der Gruppe der Titanminerale (Ilmenit, Rutil und Anatas), die in Summe mit durchschnittlich 16,7 M.-% vertreten ist. Die Eisenminerale Goethit und Hämatit sind mit ca. 1,7 M.-% beteiligt. Der Rest verteilt sich überwiegend auf Turmalin und Andalusit in wechselnden Mengen (16,5 M.-%) sowie nicht abgetrennte bzw. abtrennbare Verwachsungen von Schwer- mit Leichtmineralen (Abb. 26).

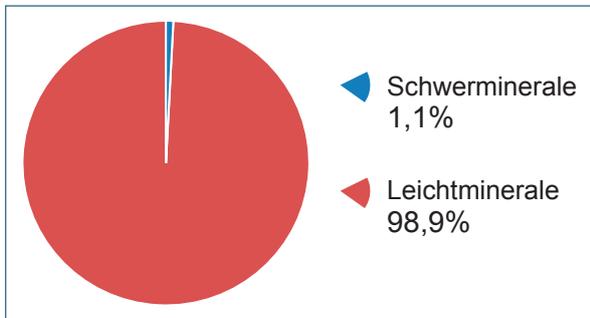


Abb. 25: Mittlere Verteilung der Leicht- und Schwerminerale (unspezif.) in Quarzit-Gesamtgesteins-Proben (%-Angaben).

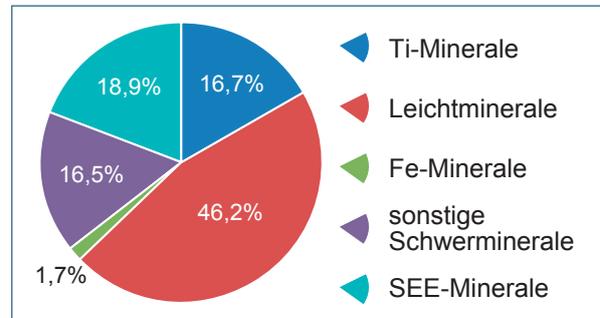


Abb. 26: Mittlere Mineralzusammensetzung im angereicherten Konzentrat dieser Proben (%-Angaben).

Dabei bedeuten:

Titanminerale: Rutil, Anatas, Ilmenit; Leichtminerale: Quarz, Feldspäte, Muskovit, Biotit, Chlorit; sonstige Schwerminerale: hauptsächlich Granat, Andalusit und Turmalin (Dravit); Eisen-Minerale: Goethit, Hämatit; SEE-Minerale: Zirkon, Apatit.

Die im Konzentrat verbleibenden, unerwünschten Leichtminerale machen trotz aller Anreicherungs-schritte noch durchschnittlich 46,2 M.-% aus (Abb. 26).

4.1.4 SEE-Verteilungsmuster

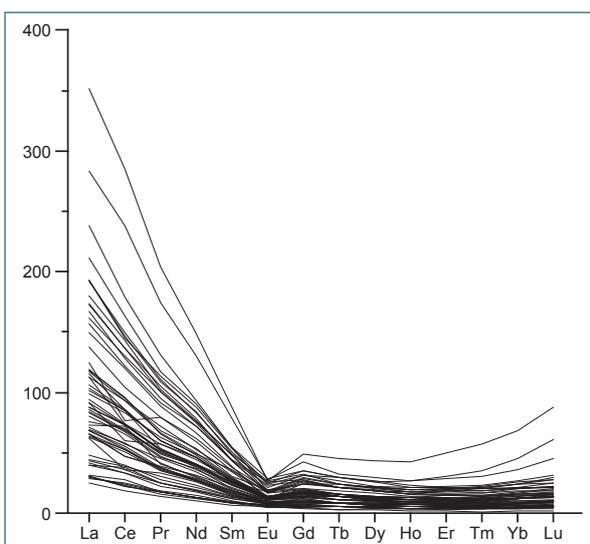


Abb. 27: SEE-Verteilungsmuster, Chondritnormalisiert, Gesamtgestein Quarzite (N = 59).

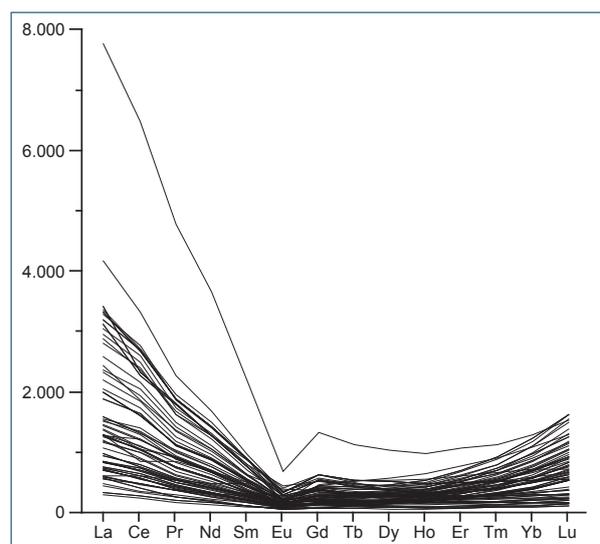


Abb. 28: SEE-Verteilungsmuster, Chondritnormalisiert, Schwermineral-Konzentrate aus Quarziten (N = 60).

Der Kurvenverlauf der SEE im Gesamtgestein (Abb. 27) und in den Schwermineral-Konzentraten daraus (Abb. 28) entspricht sich weitgehend. Eine negative, charakteristische Europium-Anomalie ist nur undeutlich ausgebildet. Es herrscht eine sehr starke Anreicherung der Leichten SEE gegenüber den Schweren SEE vor.

Die normalisierten Verhältnisse der SEE im Gesamtgestein und in der Schwermineralfraktion sind fast gleich; sie unterscheiden sich lediglich im Skalierungsfaktor der Ordinate (Ausdruck der gewollten Anreicherung der SEE-Minerale durch Dichtentrennung). Abgeleitet (im positiven Sinne) bedeutet dies, dass die Analytik in beiden Fällen zu reproduzierbaren Ergebnissen geführt hat. Der mittlere Anreicherungsfaktor der SEE im Schwermineralkonzentrat gegenüber dem Gesamtgestein beträgt 24,30. Die individuellen, in Abb. 29 dargestellten Anreicherungsfaktoren für die SEE verdeutlichen, dass in den Schwermineralkonzentraten die Schweren Selten Erd Elemente gegenüber den Leichten Selten Erd Elementen bevorzugt angereichert sind. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass unter den vorhandenen SEE-Trägern Zirkon die dominierende Spezies im Schwermineralspektrum ist. Da Zirkon bevorzugt Träger von Schweren Selten Erd Elementen ist (HOSKIN & SCHALTEGGER 2003), werden diese mit dem Zirkon auch stärker im Schwermineralkonzentrat angereichert und zeigen höhere Anreicherungsfaktoren. Jedoch beinhaltet Zirkon generell weniger als ein Gewichtsprozent SEE + Y (HOSKIN & SCHALTEGGER 2003). Daraus resultiert auch, dass das SEE-Verteilungsmuster der hier gewonnenen Schwermineralkonzentrate (also von Mineralgemischen mit einem mittleren Zirkongehalt von durchschnittlich lediglich 16,9 M.-%) sich im generellen Verlauf nur unwesentlich vom SEE Verteilungsmuster der Gesamtgesteinsproben unterscheidet (siehe auch Abb. 27 und Abb. 28). Eine weitere Aufkonzentration unter Eliminierung verschleppter Leichtminerale dürfte daher zu einer zusätzlichen, wenn auch geringen Verschiebung des SEE-Verteilungsmusters hin zu den Schweren Selten Erd Elementen führen.

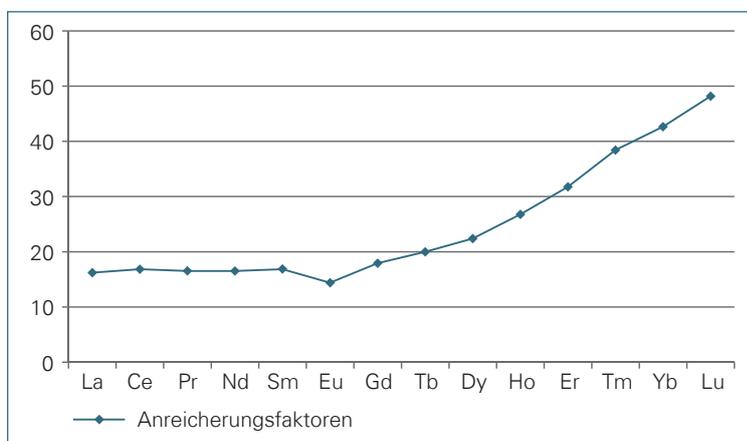


Abb. 29: Individuelle Anreicherungsfaktoren der Selten Erd Elemente im Schwermineralkonzentrat gegenüber dem Gesamtgestein.

Die tabellarisch aufgeführten geochemischen Einzelergebnisse (SEE) finden sich in den Tab. A-7 und Tab. A-8 (Anhang).

4.1.5 Durchschnittliche SEE-Verteilung im Schwermineralkonzentrat

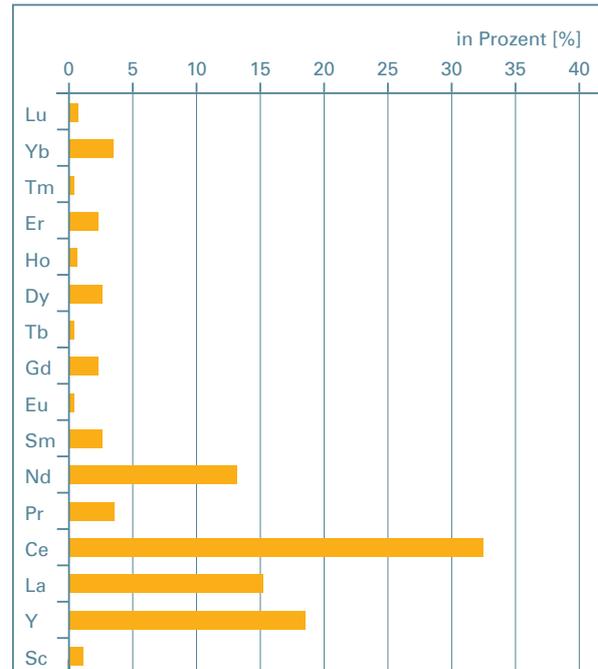
Die mittleren SEE-Gehalte der gewonnenen Schwermineral-Konzentrate betragen ca. 2.709 mg/kg (SEE inkl. Sc + Y) sowie ca. 236 mg/kg Th und ca. 125 mg/kg U. Prozentual und absolut sind darin die SEE (elementar) nach unten folgender Tabelle (Tab. 5) beteiligt.

Die Leichten SEE Lanthan, Cer und Neodym machen an der Summe der gewinnbaren SEE (elementar) insgesamt ca. 61 % aus; Scandium, Yttrium, Praseodym und Samarium ebenfalls aus der Gruppe der Leichten SEE sind mit knapp 26 % vertreten. Die Schweren SEE sind nur mit rund 13 % beteiligt (Abb. 30).

Tab. 5: Mittlere prozentuale SEE-Zusammensetzung und mittlere absolute SEE-Gehalte im Schwermineralkonzentrat.

SEE	mittlere prozentuale SEE-Zusammensetzung [%]	mittlere absolute SEE-Gehalte [mg/kg] bzw. [ppm]
Lu	0,70	19
Yb	3,52	95
Tm	0,43	12
Er	2,28	62
Ho	0,63	17
Dy	2,64	72
Tb	0,40	11
Gd	2,31	63
Eu	0,41	11
Sm	2,65	72
Nd	13,16	356
Pr	3,54	96
Ce	32,51	881
La	15,19	412
Y	18,54	502
Sc	1,10	30

Abb. 30: Mittlere prozentuale SEE-Zusammensetzung im Schwermineralkonzentrat in Prozent.



Es handelt sich demnach um eine Yttrium-, Lanthan-, Cer- und Neodym- betonte Zusammensetzung, bei der die anderen Leichten SEE nur untergeordnet vertreten sind. Die Elemente Gadolinium, Dysprosium, Erbium und Ytterbium sind zwar gegenüber den übrigen Schweren SEE erhöht, spielen aber dennoch keine wesentliche Rolle.

4.1.6 Potenzielle Ausbeuten an Wertstoffen

Nach vorgenannten geochemischen Ergebnissen und auf Grundlage der mittleren Schwermineralgehalte von ca. 1,14 M.-% lassen sich im Mittel aus einer Tonne Quarzit ca. 0,033 kg LREE-Oxide und ca. 0,005 kg HREE-Oxide gewinnen. Zusätzlich fallen ca. 1,087 kg Zirkonium-Oxid und ca. 2,148 kg Titan-Oxid als gewinnbare Mengen mit an.

Aus einer Tonne Schwermineralkonzentrat sind demnach ca. 2,87 kg LREE-Oxide, ca. 0,41 kg HREE-Oxide, ca. 95,34 kg Zirkonium-Oxid und ca. 188,39 kg Titan-Oxid gewinnbar.

4.1.7 Lagerstättensituation auf Grundlage der Schürfergebnisse

Nach den vorliegenden Befunden muss von ehemals wenig aushaltenden Sandlinsen bzw. Quarziten im Untersuchungsgebiet (H 1) ausgegangen werden, die ursprünglich im tonig geprägten, dann metamorphisierten und tektonisch aufgestellten Nebengestein als isolierte, unzusammenhängende Einschaltungen vorkamen, eventuell auch gehäuft in einer mehrere Zehner bis Hundert Meter

breiten Zone als Wechsellagerungen. Lithofaziell unterschiedliche Ausprägungen der Quarzite (unterschiedliche Korngrößen; sowohl planare Gefüge als auch Schrägschichtungen; ± Schwermineraleisen) als auch Lithofazies-Assoziationen mit ehemals feinkörnigeren Sedimenten, sprechen für einen aus paläogeographischer Sicht unterschiedlich dynamischen, fein strukturierten und variablen marinen Ablagerungsraum. Innerhalb dieses Ablagerungsraumes sind die Mineraleisenquarzite am ehesten einem Strand- bzw. Brandungsbereich zuzuordnen.

Die Gefügeelemente zeigen neben den erhaltenen Sedimentstrukturen im Kleinbereich die intensive und mehrphasige Überprägung dieser Einheiten, was auch auf eine weitere, tektonisch bedingte Segmentierung eines ehemals geschlossenen Horizontes schließen lässt. Erst durch nachfolgende Verwitterungs- und Abtragungsprozesse des umgebenden, weicheren Gesteins wurden diese Quarzite in die heutige Position als oberflächennahe Bestreuung gebracht und suggerieren bzw. täuschen so einen anstehenden, zusammenhängenden mächtigeren Horizont bzw. einzelne größere Quarzit-Partien in der Wechsellagerung vor (siehe auch Kap. 3.1).

Nur an einer Stelle, der Lokalität „Krähenschwanz“, konnten anstehende Quarzite mittels Schürfen freigelegt und im Gesteinsverband mit Glimmerschiefern untersucht werden.

Angetroffen wurden mehrere quarzitische Horizonte unterschiedlicher Mächtigkeit (0,5 m – 1 m in Schurf 16 und > 3 m im Aufschluss am Bahneinschnitt).

Die sedimentäre Schichtung (ss) der Gesteinsabfolgen, kenntlich an Materialwechsellagen liegt bei durchschnittlich $319^\circ / 63^\circ$ NE und ist damit nur leicht (d.h. um ca. 20°) aus dem Generalstreichen axial herausrotiert.

Hier zeigte sich jedoch, dass Mächtigkeit und makroskopisch erkennbare Schwermineralführung der angetroffenen Quarzite starken Schwankungen unterliegen sind. Hinzu kommt eine lokal unterschiedlich ausgeprägte Silifizierung welche das Erscheinungsbild der Quarzite neben den bisher beschriebenen faziellen Unterschieden noch zusätzlich uneinheitlich modifiziert.

Die lokal gehäuft auftretenden Lesesteine in Kombination mit der morphologischen Geländeausbildung als langgezogener Kamm (Untersuchungsgebiet H 1) wurden offensichtlich schon primär kartiertechnisch deutlich überinterpretiert und als ein einheitlicher, mächtiger Quarzit-Horizont sowie in der weiteren Umgebung als Wechsellagerung mit mächtigeren Quarzit-Partien angesprochen bzw. konstruiert und kartographisch dargestellt. Dies ist zwar besonders aufgrund der lithofaziellen Interpretation der Mineraleisen-Quarzite als Strandablagerungen durchaus plausibel, konnte jedoch durch die neuerlichen Arbeiten nicht bestätigt werden (siehe Abb. 31 und Blockbild der Abb. 32).

Die gefundenen Quarzite sowie die aufgeschlossenen Glimmerschiefer scheinen nach diesem Befund in ihrer ursprünglichen Lage ehemals voneinander entkoppelt gewesen zu sein. Das gehäufte Auftreten der Quarzite lässt sich dabei nur durch ein primäres Herauslösen aus dem Gesteinsverband, eine nachträgliche, nur kurzräumige Verfrachtung im Zuge von Verwitterungsprozessen sowie eine dadurch bedingte lokale Anreicherung erklären. Da das Auftreten dieser Quarzit-Lesesteine zudem auf morphologische Höhenlagen konzentriert ist, können auch periglaziale Verfrachtungen als Fließerde von einem entfernten, höheren Ort (andere Geologie!) ausgeschlossen werden. Wegen der Ausbildung der Lesesteine, ihrer Größe und ihrer Lage kann zudem auch nicht von einem „Ferntransport“ ausgegangen werden, die Quarzite stammen ganz offensichtlich aus der unmittelbaren Umgebung und scheinen erst durch o.g. Prozesse in diese Position gekommen zu sein. Möglicherweise haben auch langdauernde und intensive anthropogene Tätigkeiten (vermehrtes Ausklauben von Lesesteinen auf bewirtschafteten Ackerflächen, Liegenlassen jener auf den be-

nachbarten bewaldeten Kuppenlagen bzw. Anhäufen von Lesesteinen an den Waldrändern) diesen geogenen Effekt noch nachträglich verstärkt.

Damit kann insgesamt nicht von einer zusammenhängenden Lagerstätte, sondern nur von einem Häufungsgebiet ausgegangen werden, in dem sporadisch Quarzite in o.g. Ausbildung und Schwermineralführung auftreten. Eine näher eingrenzbar Lagerstätte bzw. ein engeres Vorkommen kann auf Grundlage dieser Befunde demnach nicht ausgewiesen werden.

Deswegen erübrigt sich eine weitere Lagerstättenbilanzierung, die Angaben zu Mineralführung und SEE-Gehalten können nur auf die jeweiligen einzelnen Probenstücke bezogen werden, nicht jedoch auf einen Horizont bzw. eine zusammenhängende Lagerstätte.



Abb. 31: Blick vom Flurstück Zelgacker nach NE über den Höhenrücken zum Wartberg mit Wäldchen und Umsetzer (Standort oberhalb Putzenmühle).

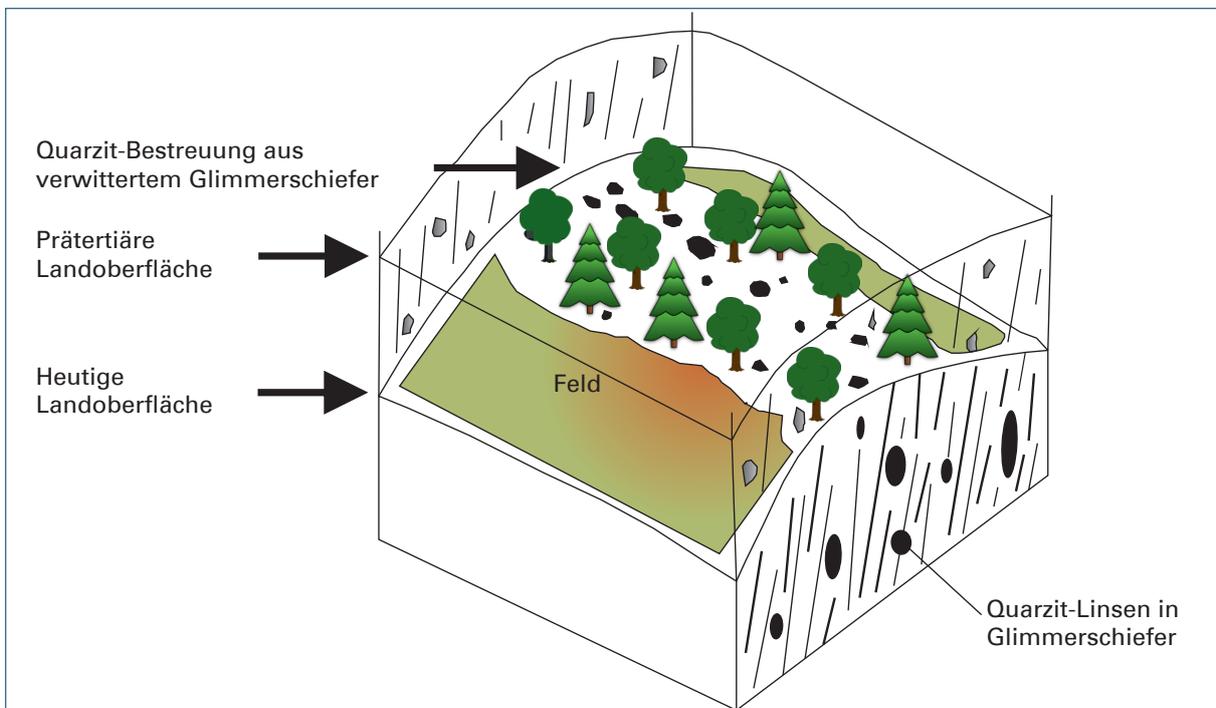


Abb. 32: Schematisches Blockbild des „Quarzithorizonts“ Wartberg im Untersuchungsgebiet H 1.

4.2 Beurteilung der Lagerstätten-Situation

Wie im vorangegangenen Kapitel aufgeführt, kann nach aktuellen rohstoffgeologischen Arbeiten nur ein relativ großräumiges Häufungsgebiet beschrieben werden, in dem sporadisch Quarzite in o.g. Ausbildung und Schwermineralführung auftreten. Da offensichtlich eine näher eingrenzbar Lagerstätte nicht vorliegt, kann außer kleinräumigen und punktuellen Vorkommen nicht von einem geometrisch eingrenzbar Potenzial für wirtschaftlich gewinnbare, großvolumige Quarzite ausgegangen werden. Vom rohstofflichen Standpunkt muss daher von einer weitgehenden Nichtfündigkeit ausgegangen werden.

4.3 Beurteilung der mineralogisch-rohstofflichen Situation

Die mineralogischen Befunde zeigen, dass die SEE der untersuchten Quarzite räumlich und mineralogisch ausschließlich in den Schwermineralen Zirkon und Apatit lokalisiert sind. Für eine Gewinnung und „Nutzbarmachung“ der SEE aus einem angereicherten Schwermineral-Konzentrat daraus müsste dieses Gestein erst in ausreichender Menge aufgefunden, gewonnen, aufbereitet und die darin enthaltenen Ziel-Mineralen nachfolgend mechanisch abgetrennt und angereichert, anschließend chemisch aufgeschlossen sowie mittels Raffinations- und diverser metallurgischer Prozesse in die verwertbaren SEE-Oxide aufgetrennt werden. Es handelt sich dabei um bekannte und beherrschbare Techniken, die schon zur Gewinnung der Metalle Zirkonium und Hafnium aus Zirkon teilweise genutzt werden (ELSNER 2006). Hier aber wäre eine Gewinnung wegen der geringen primären Gehalte von SEE in Zirkon (und Apatit), den geringen Absolut-Gehalten von Schwermineralen in den Quarziten und letztlich der beschriebenen geologischen Gesamtsituation aus wirtschaftlicher Sicht völlig aussichtslos und indiskutabel.

Die besondere Elementverteilung im Schwermineralkonzentrat, im Besonderen das starke Überwiegen der Leichten SEE und hiervon besonders von Lanthan, Cer und Neodym widerspricht zudem weiterhin einer künftigen Nutzung.

Die vorhandenen, theoretisch mit nutzbaren Wertstoffe (Titan-Oxid und Zirkonium-Oxid) können nicht zur Verbesserung der wirtschaftlichen Gesamtsituation beitragen.

5 Vorräte und Wirtschaftlichkeit

Entgegen bisherigen geologischen Kartierergebnissen enthalten die Metasediment-Einheiten der Alexandersbad-Formation im Fichtelgebirge keine wirtschaftlich nutzbaren Volumina von schwermetallführenden Quarziten.

Selbst bei Vorliegen ausreichender Gesteins-Kubaturen müsste jedoch beachtet werden, dass zur rentablen Nutzung des nachgewiesenen SEE-, Titan- und Zirkon-Potenzials die Zielminerale erst aus sehr harten Festgesteinen mechanisch mittels umfangreicher Aufbereitungstechniken (energieintensiv) herausgelöst werden müssten. In Anbetracht der geringen potenziellen Gehalte von durchschnittlich ca. 1,1 M.-% ist dies völlig ausgeschlossen.

6 Prognose

Ausgehend von den beschriebenen Explorationsergebnissen treten SEE-Mineralisationen zwar in den beschriebenen Quarziten auf, diese sind aber überwiegend nur in Form kleinräumiger, delokalierter Lesesteinvorkommen belegt.

Daher können diese Kleinst-Vorkommen nicht als klassische Metall-bzw. Mineral-Lagerstätten eingestuft werden, ein wirtschaftlich nutzbares SEE-Potenzial liegt demzufolge nicht vor und weitere Explorationsmaßnahmen sind aus dieser Sicht auch nicht sinnvoll.

7 Schlussfolgerung

Die Untersuchung zeigt, dass die Fichtelgebirgs-Quarzite der Alexandersbad-Formation keine wirtschaftlich nutzbaren Potenziale von Selten Erd Elementen und anderen high-tech – Metalloxiden beinhalten; sie ist damit als nicht fündig einzustufen.

Literatur

- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse. – Enke, 152 S., Stuttgart.
- DEBASHISH, S. & VAN GOSEN, B.S. (2016): Placer-Type Rare Earth Element Deposits. - Reviews in Economic Geology, 18, S.81-100, Knoxville.
- DECKER, M., BECKER, S., LINHARDT, E., GEBHARDT, A. & POSCHLOD, K. (2016): Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente (SEE), Teilprojekt III, SEE als Beifang sedimentärer Lagerstätten Südbayerns. - LfU im Auftrag des StMWi, 87 S., Hof.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. & ZUSSMAN, J. (1980): An introduction to the rock forming minerals. – Longman, 528 S., London.
- ELSNER, H. (2006): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 12: Schwerminerale. – Geol.Jb. Reihe H, Heft 13, 143 S., Hannover.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2010): Critical Raw Materials for the EU.- Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, 85 S. Brüssel.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION (2014): Critical Raw Materials for the EU.- Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials, 41 S. Brüssel.
- EVENSEN, N., M., HAMILTON, P., J., & O'NIONS, R., K. (1978): Rare earth abundances in chondritic meteorites. - Geochim. Cosmochim. Acta, 42, S. 1199 – 1212, New York.
- FÜCHTBAUER, H. (1988): Sedimente und Sedimentgesteine, Sediment-Petrologie, Teil II. – 4. Aufl., 1141 S., 113 Tabellen, Schweizerbart, Stuttgart.
- GOODENOUGH, K. M.; WALL, F. & MERRIMAN, D. (2017): The rare Earth Elements: Demand, Global Resources, and Challenges for Resourcing Future Generations.- Natural Resources Research, in Druck.
- HENDERSON, P. (ed.) (1984): Rare Earth Element Geochemistry. – Elsevier, 510 S., Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- HOSKIN, P.O.W. & SCHALTEGGER, U. (2003): The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis.- Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 53(1), S. 27-62, Washington D.C..
- KLING, M. (1999): Geologische Karte von Bayern, 1 : 25.000. – Blatt Nr. 5939/5940, Waldsassen/Hatzenreuth, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- LINHARDT, E. & DITTRICH, R. (1999): Analytische Multielement-Methoden am Bayerischen Geologischen Landesamt; Teil III: Bestimmungen der Seltenerd-Elemente in Gesteinen und Mineralen aus Gesamtaufschlußlösungen mittels ICP-MS. - Geologica Bavarica 104, S. 105 - 116, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

- LINHARDT, E. & ZARBOK, P. † (2005): Geochemischer Atlas natürlicher Haupt-, Neben- und Spurenelemente der Gesteine Bayerns. – GLA Fachberichte Nr. 24, 188 S., 35 Abb., 123 Tab., Bayerisches Landesamt für Umwelt, München.
- LINHARDT, E. & GEBHARDT, A. (2014): Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente (SEE), Teilprojekt I, SEE als Beifang sedimentärer Lagerstätten. - LfU im Auftrag des StMWIVT, 106 S., Hof.
- LINHARDT, E., BECKER, S. & MANDELSPERGER, G. (2015): Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente (SEE), Teilprojekt II, SEE-Potential der Sulfidierzlagerstätte Silberberg / Bodenmais. - LfU im Auftrag des StMWi, 58 S., Hof.
- MARKTSCHNEIDER-WEIDEMANN et al. (2016): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2016.- DERA Rohstoffinformationen 28: 353 S., Berlin.
- MAYER, K.H. (1998): Die Forstgeschichte des Fichtelgebirges. – Forstliche Forschungsberichte, 167/1998, 297 S., Schriftenreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, München.
- MIELKE, H. (1982): Geologische Karte von Bayern, 1 : 25.000. – Blatt Nr. 6037 Ebnath / Erläuterungen zum Blatt Nr. 6037 Ebnath.- 115 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- MIELKE, H. (2005): Geologische Karte von Bayern, 1 : 25.000. – Blatt Nr. 5938 Marktredwitz / Erläuterungen zum Blatt Nr. 5938 Marktredwitz.- 44 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- MIELKE, H., BLÜMEL, P. & LANGER, K. (1979): Regional low-pressure metamorphism of low and medium grade in metapelites and psammites of the Fichtelgebirge area, NE-Bavaria.- N. Jb. Miner. Abh. 137(1), S. 83-112, Stuttgart.
- MUDD, G.M. & JOWITT, S.M. (2016): Rare earth elements from heavy mineral sands: assessing the potential of a forgotten resource.- Applied Earth Science, Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section B 125(3): S. 107 - 113, London, Abington.
- PAULICK, H. & MACHACEK, E. (2017): The global rare earth element exploration boom: An analysis of resources outside of China and discussion of development perspectives.- Resources Policy 52:134-153, Amsterdam.
- PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. & SIEVER, R. (1987): Sand and Sandstone. - 2nd Edition, 553 S., Springer, New York.
- REBESCO, M. et al. (2014): Contourites and associated sediments controlled by deep-water circulation processes: State of the art and future considerations.- Marine Geology 352: S. 111-154, Amsterdam.
- ROHRMÜLLER, J. & MIELKE, H. (1998): Die Geologie des Fichtelgebirges und der nördlichen Oberpfalz – Nordostbayern. – Jber. Mitt. Oberrhein.geol.Ver., N.F. 80, S. 25-47, 2 Abb., Stuttgart.
- SCHÖLLMANN, H. (1998): Ausgewählte Waldnutzungformen im Fichtelgebirge und ihr Beitrag zur heutigen Ausstattung der Waldökosysteme. – Diss., Univ. Göttingen, 227 S., Göttingen.

STEIN, E. (1988): Die struktureologische Entwicklung im Übergangsbereich Saxothuringikum/Moldanubikum in NE-Bayern, *Geologica Bavarica* 92, S.5-131, München.

STETTNER, G. (1999): Geologische Karte von Bayern, 1 : 25.000. – Erläuterungen zum Blatt Nr. 5939/5940, Waldsassen/Hatzenreuth (unveröffentl. Vorversion), München (Bayer. Geol. L.-Amt).

STOW D.A.V. et al. (2002): Fossil Contourites: type example from an Oligocene paleoslope system. - In: STOW D.A.V. et al. [Hrsg]: *Deep-water Contourite Systems: Modern Drifts and Ancient Series, Seismic and Sedimentary Characteristics.*- Geological Society, London, *Memoirs* 22: S. 409-4019, London.

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Geographische Lage des Fichtelgebirges.	9
Abb. 2:	Geologische Übersicht des Fichtelgebirges mit Lage der Untersuchungsgebiete.	10
Abb. 3:	Geologisch/topographische Übersicht sowie Lage und Verlauf des Untersuchungsgebietes H 1 in den Quarzit-Einheiten „bqw“ und „ofqw“ (angepasster Ausschnitt aus GK25, 5938, 5939/5940, Marktredwitz, Waldsassen/Hatzenreuth, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT, 1999).	11
Abb. 4:	Geologisch/topographische Übersicht sowie Lage und Verlauf des Untersuchungsgebietes H 2 in der Quarzit-Einheit „aq/gl“ (angepasster Ausschnitt aus GK25, 6037, Blatt Ebnath, BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT, 1982).	12
Abb. 5:	Quarzit-Lesestein mit streifiger, subparalleler Schwermineralführung; Lokalität „Krähenschwanz“ bei Wintersreuth (Probe bqw-4).	13
Abb. 6:	Quarzit-Lesestein mit welliger Schwermineralführung; Lokalität „Brombühl“ bei Breitenbrunn (Probe cbgl-2).	13
Abb. 7:	Quarzit-Lesestein, gesägte Platte mit Schrägschichtungsstruktur; NE Putzenmühle; geol. Einheit „ofqw“.	13
Abb. 8:	Quarzit mit Erosionsrinne aus dem Anstehenden, gesägte Platte; Lokalität „Krähenschwanz“ bei Wintersreuth.	13
Abb. 9:	Schurf Lok. Weingarten (Nr. 1), NW' Oschwitz.	16
Abb. 10:	Schurf Lok. Weingarten (Nr. 1), vergruster Glimmerschiefer.	16
Abb. 11:	Schurf NE' Wartberg (Nr. 9), mittlerer Bodenhorizont: Quarzite.	16
Abb. 12:	Schurf NE' Wartberg (Nr. 9), Basis der Schurfgrube: anstehender Glimmerschiefer, steilstehend.	16
Abb. 13:	Schurf Nr. 14, NE' Wintersreuth.	17
Abb. 14:	Schurf Nr. 14; verwitterter Glimmerschiefer, anstehend.	17
Abb. 15:	Schurf Nr. 16, NNE' Wintersreuth.	17
Abb. 16:	Schurf Nr.16, Quarzit, anstehend.	17
Abb. 17:	Quarzit (unterster Bohrmeter, 19-20 m) und Nebengestein (Quarzglimmerschiefer mit hohem Quarzanteil, 16- ca. 19 m); Baugrundbohrung B-D1, Ortsumgebung Schirnding; Foto: Ingenieurbüro Dr. Ruppert und Felder GmbH.	17
Abb. 18:	Mehrere m mächtige Quarzitlage (25-30 m), Baugrundbohrung B-A2, Ortsumgebung Schirnding; Foto: Ingenieurbüro Dr. Ruppert und Felder GmbH.	17
Abb. 19:	Aufbereitung mittels Backenbrecher.	20
Abb. 20:	Planetenkugelmühle mit Achat-Mahlbechern.	20

Abb. 21:	Manuelles Zerreiben der Grob-Fraktion im Porzellanmörser.	20
Abb. 23:	Schwermineral-Konzentrat mit Turmalin (Dravit), Bildbreite ca. 2,5 mm, Probe Wart 1-2.	21
Abb. 24:	Schwermineral-Konzentrat mit Zirkon, Bildbreite ca. 1,25 mm, Probe Unt 1-1.	21
Abb. 22:	Abtrennung von Schwermineralen mittels Sink-Schwimm-Verfahren im Scheidetrichter.	21
Abb. 25:	Mittlere Verteilung der Leicht- und Schwerminerale (unspezif.) in Quarzit-Gesamtgesteins-Proben (%-Angaben).	30
Abb. 26:	Mittlere Mineralzusammensetzung im angereicherten Konzentrat dieser Proben (%-Angaben).	30
Abb. 27:	SEE-Verteilungsmuster, Chondritnormalisiert, Gesamtgestein Quarzite (N = 59).	30
Abb. 28:	SEE-Verteilungsmuster, Chondritnormalisiert, Schwermineral-Konzentrate aus Quarziten (N = 60).	30
Abb. 29:	Individuelle Anreicherungs-faktoren der Selten Erd Elemente im Schwermineralkonzentrat gegenüber dem Gesamtgestein.	31
Abb. 30:	Mittlere prozentuale SEE-Zusammensetzung im Schwermineralkonzentrat in Prozent.	32
Abb. 31:	Blick vom Flurstück Zelgacker nach NE über den Höhenrücken zum Wartberg mit Wäldchen und Umsetzer (Standort oberhalb Putzenmühle).	34
Abb. 32:	Schematisches Blockbild des „Quarzithorizonts“ Wartberg im Untersuchungsgebiet H 1.	34

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Schurf-Lokationen sowie angetroffenes Gestein.	19
Tab. 2:	Aufstellung der Untersuchungsproben.	22
Tab. 3:	Schwermineralgehalte untersuchter Proben.	24
Tab. 4:	Häufigkeiten (Konzentrationen, in ppm) der SEE in kohligen, chondritischen Meteoriten (C 1). Quelle: EVENSEN et al. (1978), in: HENDERSON (1984); sie entsprechen den Normalisierungsfaktoren für unten folgende Grafiken (siehe Abb. 27 und Abb. 28 sowie Gl. 1).	28
Tab. 5:	Mittlere prozentuale SEE-Zusammensetzung und mittlere absolute SEE-Gehalte im Schwermineralkonzentrat.	32
Tab. A-1:	Mineralogischen Ergebnisse (M.-%) für Gesamtgesteins-Proben (Quarzit).	45
Tab. A-2:	Mineralogischen Ergebnisse (M.-%) für Schwermineralkonzentrate aus Quarzit.	46
Tab. A-3:	Geochemischen Ergebnisse für Gesamtgesteins-Proben (Quarzit): Hauptelemente (Gew.-%).	48
Tab. A-4:	Geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Quarzit: Hauptelemente (Gew.-%).	50
Tab. A-5:	Geochemischen Ergebnisse für Gesamtgesteins-Proben (Quarzit): ausgewählte Neben- und Spurenelemente (ppm).	52
Tab. A-6:	Geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Quarzit: ausgewählte Neben- und Spurenelemente (ppm).	54
Tab. A-7:	Geochemischen Ergebnisse für Gesamtgesteins-Proben (Quarzit): Selten Erd Elemente (ppm).	56
Tab. A-8:	Geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Quarzit: Selten Erd Elemente (ppm).	58

Erklärung von Fachbegriffen

Aliquot: Bezeichnet in der analytischen Chemie eine repräsentative Teilportion einer Gesamtprobe.

Anoxisches Milieu: Beschreibt im geologischen Umfeld einen sauerstofffreien Bereich bei der Sedimentation.

Antiklinorium (syn. Antiklinale, Antikline): Großräumige geologische Struktur in Form einer Aufwölbung („Sattelstruktur“), erzeugt durch Faltung geschichteter Gesteine. Die beiden Flügel der Struktur fallen im Wortsinn „voneinander weg“.

Fazies (i.e.S. sedimentäre F.): Beschreibung der Gesteinseigenschaften von Sedimenten (sog. Lithofazies), die auf die Bedingungen während der Sedimentation ohne die nachfolgende Diagenese zurückzuführen sind und damit den ehemaligen Ablagerungsraum charakterisieren.

Granoblastisch (Adj.): Beschreibung der vorherrschend kristalloblastischen Struktur von gesprossenen Mineralkörnern, die hierbei eher isometrisch (gleich nach allen Wachstumsrichtungen) ausgebildet sind; häufig bei Quarz und Feldspäten anzutreffen.

Kaledonisch (Adj.): Gebirgsbildungsära, die vom Kambrium bis ins untere Devon reichte (zwischen 570 und ca. 390 Mio. Jahren).

Konturite: Marine Sedimente die durch die anhaltende Wirkung von Bodenströmungen abgelagert oder substantiell aufgearbeitet wurden (STOW et al. 2002; REBESCO et al. 2014).

Magma (Adj. magmatisch): Natürliche Gesteinsschmelze bzw. daraus oder darin gebildet.

Metamorphose (Adj. metamorph): Umwandlung eines Gesteins im überwiegend festen Zustand infolge Druck- und Temperaturzunahme sowie durch Änderung der chemischen Umgebung.

Metasediment: Metamorph umgewandeltes, ehemals sedimentäres Gestein.

Metapelit: Metamorph umgewandeltes, ehemals toniges Gestein.

Pluton (Adj. plutonisch): Magmatischer Tiefengesteinskörper von meist erheblicher Größe.

Polyphas (Adj.): beschreibt einen mehrstufigen bzw. mehrphasigen geologischen Prozess, der entweder im Zuge von zeitlich aufeinander folgenden Metamorphosen ein Gestein überformen oder infolge mehrfacher tektonischer Prozesse deformieren kann.

Quarzit: Metamorph umgewandeltes, ehemals Quarz-Sand führendes Gestein.

Redwitzit: Lokalname für eine Reihe von Intrusivgesteinen im Raum Marktredwitz (früher Redwitz; namensgebend). Petrographisch handelt es sich sowohl um Granodiorite, Quarzdiorite und Diorite als auch um Gabbros und Norite (MIELKE 2005).

Saxothuringikum: Eine der geologischen Großeinheiten der variskischen Gebirgsbildung (neben dem Moldanubikum und dem Rhenoherynikum).

SEE: Selten Erd Elemente oder Lanthaniden (engl. Rare Earth Elements, REE); Gruppe chemischer Elemente der III. Nebengruppe (Lanthan, Cer, Praseodym bis Lutetium). Natürliches Vorkommen überwiegend in Form von Oxiden, Silikaten und Phosphaten. Leichte SEE (engl. LREE): Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd und Sm; Schwere SEE (engl. HREE): Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb und Lu.

Variskisch oder variszisch (Adj.): Gebirgsbildungsära (mit Faltung, Metamorphose und Granitisation), die vom Devon bis ins Perm dauerte (zwischen ca. 400 und 220 Mio. Jahren) und ihr Maximum bei ca. 320 Mio. Jahren erreichte.

Anhang

Tab. A-1: Mineralogischen Ergebnisse (M.-%) für Gesamtgesteins-Proben (Quarzit).

Proben	Quarz	Muskovit	Biotit	Chlorit	Plagioklas	K Feldspat	Turmalin
Br 1-1	41,2	42,4	0	6,7	5,3	4,4	0
Br 1-2	79,9	6,7	0	1,6	5	6,7	0
Br 1-3	72,1	8,8	0	2,3	6,4	10,4	0
Br 1-4	50,1	29,1	0	4,6	9,2	7,1	0
Br 1-5	50,5	31,6	0	4,5	8,1	5,3	0
Br 1-6	47,3	28,6	0	7,3	7,4	9,4	0
Br 2-1	89,7	7,5	0	0	2,8	0	0
Br 2-2	84,1	3,9	0	0	12,1	0	0
Br 2-3	78,9	10,4	0	0	10,8	0	0
Br 3-1	78,5	14,8	0	0	6,8	0	0
Br 3-2	86,8	6,7	0	0	6,5	0	0
Br 3-3	84,4	7,9	0	0	6,8	0,8	0
Br 3-4	90,2	8,1	0	0	1,7	0	0
Br 3-5	60,7	28,8	0	4,7	3,5	2,4	0
Br 3-6	83,5	10,8	0	0	2,5	0	3,2
Br 3-7	58,3	41,7	0	0	0	0	0
Br 3-8	66,4	22,2	0	0	11,3	0	0
Br 3-9	86,2	10,0	3,8	0	0	0	0
Br 3-10	84,4	7,2	0	0	4,8	3,5	0
Br 3-11	82,6	3,8	0	0,7	12,9	0	0
Hamm 1-1	93,7	4,1	0	0,9	1,3	0	0
Brom 1-1	79,0	19,8	0	0	1,2	0	0
Hoh 4	92,1	7,3	0	0	0,6	0	0
Kath 1-1	73,9	13,7	0	3,6	8,7	0	0
Kath 3	75,7	17,7	0	1,9	4,7	0	0
Kräh 1-1	89,2	9,5	0	0	1,4	0	0
Unt 1-1	95,7	4,3	0	0	0	0	0
Unt 1-2	92,1	7,9	0	0	0	0	0
Unt 1-3	79,3	5,5	2,8	5,2	7,2	0	0
Unt 1-4	94,2	4,3	0	1,5	0	0	0
Putz 1-1	92,7	7,3	0	0	0	0	0
Putz 1-3	91,8	8,2	0	0	0	0	0
Putz 1-4	85,6	14,4	0	0	0	0	0
Putz 1-5	87,5	12,5	0	0	0	0	0
Wart 1-1	89,9	10,1	0	0	0	0	0
Wart 1-2	87,9	12,1	0	0	0	0	0
Wart 1-3	95,0	5,0	0	0	0	0	0
Wart 1-4	94,3	5,7	0	0	0	0	0
Wart 1-5	92,6	7,4	0	0	0	0	0
Bqw 12	81,4	16,5	0	0	0	2,1	0
Weid 1-1	92,6	7,4	0	0	0	0	0
Weid 1-2	94,8	5,2	0	0	0	0	0
Weid 1-3	94,4	5,6	0	0	0	0	0
Weid 1-4	91,2	8,8	0	0	0	0	0
Weid 1-5	90,9	9,1	0	0	0	0	0
Flitt 1-1	90,3	9,7	0	0	0	0	0
Flitt 1-2	51,2	21,7	0	0	27,1	0	0
Flitt 1-3	90,9	9,1	0	0	0	0	0
Osch 12	91,9	8,1	0	0	0	0	0
Flitt 1-4	87,2	12,8	0	0	0	0	0
Oberth 7	93,0	4,1	0	3	0	0	0
Osch 10	94,7	5,1	0	0	0,3	0	0
Mittelwert	82,4	12,1	0,1	0,9	3,4	1,0	0,1
Max.	95,7	42,4	3,8	7,3	27,1	10,4	3,2
Min.	41,2	3,8	0	0	0	0	0

Tab. A-2: Mineralogischen Ergebnisse (M.-%) für Schwermineralkonzentrate aus Quarzit.

Probe-Nr.	Quarz	Muskovit	Biotit	Chlorit	Plagioklas	Turmalin	Andalusit	Staurolith	Granat
cbgl-1	28,0	27,0	0	0	0	0	0	0	0
cbgl-2	26,0	31,0	0	0	0	6,0	0	0	0
bqw-3	10,0	48,0	0	37,0	0	0	0	0	0
bqw-4	60,0	7,0	0	0	0	0	0	0	0
bqw-5	50,0	10,0	0	0	0	0	0	0	0
bqw-6	35,0	14,0	0	0	0	9,0	0	0	0
bqw-8	19,0	20,0	0	0	0	0	0	57,0	0
bqw-11	34,0	12,0	0	0	0	0	0	0	0
bqw-12-1	32,0	11,0	0	0	0	0	0	0	0
Br 1-1	0	0	27,4	9,5	0	0	53,8	0	0
Br 1-4	3,1	0	2,8	3,2	2,2	19,0	40,0	0	0
Br 1-5	6,2	0	22,7	4,6	0	25,5	27,6	0	0
Br 2-3	14,8	0	6,4	0	0	55,4	0	0	0
Br 3-1	58,7	11,8	0	0	8,5	1,0	0	0	0
Br 3-6	6,2	0	7,4	0	0	78,2	0	0	0
Br 3-7	2,5	0	78,1	0	0	11,4	0	0	0
Br 3-8	37,2	0	49,6	0	10,9	0	0	0	0
Br 3-9	23,6	0	67,1	0	0	0	0	0	5,2
Wart 1-1	34,5	27,3	0	0	0	9,5	0	0	0
Osch 10	31,4	23,9	0	0	0	22,9	0	0	0
Osch 12	54,4	10,5	0	0	0	0	0	0	0
Unt 1-2	14,9	0	0	0	0	0	0	0	0
Unt 1-4	9,5	8,0	0	0	0	0	24,1	56,2	0
Putz 1-1	18,5	0	0	0	0	0	0	0	0
Putz 1-4	21,0	16,1	0	0	0	21,1	0	0	0
Brom 1-1	28,0	24,0	0	0	0	3,1	0	0	0
Bqw 12-2	27,9	9,9	0	0	0	0	0	0	0
Flitt 1-1	7,8	9,8	0	0	0	0	33,5	0	0
Flitt 1-3	13,8	7,7	0	0	0	22,8	0	0	0
Weid 1-3	34,8	8,0	0	1,0	0	7,5	0	0	0
Br 1-2	5,5	0	22,3	2,9	0	21,8	0	0	0
Br 1-3	3,2	0	16,2	6,2	0	6,4	48,3	0	0
Br 1-6	3,9	0	2,6	3,1	5,3	14,3	57,3	0	0
Br 2-1	24,9	0	2,4	0	3,9	9,6	0	0	0
Br 2-2	4,3	0	2,7	0	7,8	45,4	1,2	0	0
Br 3-10	30,5	13,4	0	0	4,9	3,8	0	0	0
Br 3-11	8,7	0	33,9	2,7	6,0	10,7	0	0	0
Br 3-2	10,8	0	65,5	0	0	0	0	0	0
Br 3-3	21,8	10,8	0	0	4,8	0	0	0	0
Br 3-4	14,1	0	4,8	0	0	0	0	0	0
Br 3-5	13,6	29,8	0	20,2	0	8,5	0	0	14,8
Brom 1-2	0	0	78,4	0	0	0	0	0	0
Flitt 1-2	11,0	0	20,6	0	20,6	0	0	0	0
Flitt 1-4	24,1	20,8	0	0	0	0	0	0	0
Hamm 1-1	11,9	17,1	0	5,9	0	8,3	0	0	0
Kath 1-1	7,0	0	9,9	37,9	0	4,4	0	0	0
Kath 3	17,4	32,9	24,8	6,6	7,7	0	0	0	0
Oberth 7	7,6	0	2,1	37,8	0	0	0	35,7	5,0
Putz 1-3	22,0	0	16,2	0	0	0	0	0	0
Putz 1-5	28,7	35,4	0	0	0	0	0	0	0
Unt 1-1	27,8	0	2,6	0	12,8	0	0	0	0
Unt 1-3	6,1	0	18,0	45,1	0	0	0	0	0
Wart 1-3	10,1	0	4,9	0	12,7	0	0	0	0
Wart 1-4	19,2	0	4,9	0	0	36,3	0	0	0
Wart 1-5	13,3	0	5,3	0	5,4	36,4	0	0	0
Weid 1-1	19,9	13,1	0	0	0	0	0	0	0
Wart 1-2	19,8	17,0	0	0	0	22,2	0	0	0
Weid 1-4	25,9	20,9	0	0	9,8	0	0	0	0
Weid 1-5	17,5	0	6,6	0	0	0	0	0	0
Mittelwert	19,9	9,3	10,3	3,8	2,1	8,8	4,8	2,5	0,42
Max.	60,0	48,0	78,4	45,1	20,6	78,2	57,3	57,0	14,8
Min.	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Probe-Nr.	Zirkon	Ilmenit	Rutil	Anatas	Fluorapatit	Goethit	Hämatit	Chloritoid
cbgl-1	20,0	19,0	0	0	7,0	0	0	0
cbgl-2	15,0	12,0	0	0	11,0	0	0	0
bqw-3	0	5,0	0	0	0	0	0	0
bqw-4	18,0	3,0	12,0	0	0	0	0	0
bqw-5	14,0	24,0	2,0	0	0	0	0	0
bqw-6	32,0	0	11,0	0	0	0	0	0
bqw-8	2,0	2,0	0	0	0	0	0	0
bqw-11	41,0	0	13,0	0	0	0	0	0
bqw-12-1	10,0	0	14,0	0	0	33,0	0	0
Br 1-1	0	9,3	0	0	0	0	0	0
Br 1-4	3,5	22,5	0,8	0	3,0	0	0	0
Br 1-5	0	8,1	0	0	5,3	0	0	0
Br 2-3	9,4	10,3	0	0	3,6	0	0	0
Br 3-1	7,5	8,0	4,6	0	0	0	0	0
Br 3-6	2,3	5,4	0,5	0	0	0	0	0
Br 3-7	4,7	3,3	0	0	0	0	0	0
Br 3-8	0	2,3	0	0	0	0	0	0
Br 3-9	4,0	0	0	0	0	0	0	0
Wart 1-1	23,0	5,7	0	0	0	0	0	0
Osch 10	10,3	0	10,2	1,3	0	0	0	0
Osch 12	20,3	0	9,5	2,1	0	3,1	0	0
Unt 1-2	58,3	2,6	24,2	0	0	0	0	0
Unt 1-4	2,2	0	0	0	0	0	0	0
Putz 1-1	45,3	3,7	24,6	7,8	0	0	0	0
Putz 1-4	14,0	7,4	12,5	8,0	0	0	0	0
Brom 1-1	20,3	15,6	1,5	3,6	3,7	0	0	0
Bqw 12-2	36,6	0	22,7	0	0	3,0	0	0
Flitt 1-1	31,5	0	11,6	5,8	0	0	0	0
Flitt 1-3	42,2	0	8,4	1,2	0	4,0	0	0
Weid 1-3	25,7	5,0	12,6	2,5	0	3,0	0	0
Br 1-2	12,4	24,9	2,0	1,0	7,2	0	0	0
Br 1-3	7,5	11,4	0,7	0	0	0	0	0
Br 1-6	0,7	9,1	0,7	0	3,0	0	0	0
Br 2-1	20,5	24,5	5,0	0	9,3	0	0	0
Br 2-2	10,1	22,2	3,8	0	2,6	0	0	0
Br 3-10	17,5	23,7	4,0	0	2,2	0	0	0
Br 3-11	13,6	21,3	1,1	0	1,9	0	0	0
Br 3-2	6,8	12,5	0	0	4,4	0	0	0
Br 3-3	36,4	9,6	16,6	0	0	0	0	0
Br 3-4	28,7	52,4	0	0	0	0	0	0
Br 3-5	2,7	9	1,4	0	0	0	0	0
Brom 1-2	0	0	0	0	21,6	0	0	0
Flitt 1-2	8,6	22,1	2,7	1	13,4	0	0	0
Flitt 1-4	29,4	0	9,4	5,9	0	10,4	0	0
Hamm 1-1	2,8	1,3	0	0	0	0	0	52,6
Kath 1-1	6,1	16,9	1,4	0	16,4	0	0	0
Kath 3	0	2,5	1,7	2,4	3,9	0	0	0
Oberth 7	5,8	4,8	1,3	0	0	0	0	0
Putz 1-3	32,5	8,9	13,5	0	0	0	7,0	0
Putz 1-5	11,4	9,8	11,2	0	0	0	3,5	0
Unt 1-1	39,6	0	17,2	0	0	0	0	0
Unt 1-3	10,6	20,2	0	0	0	0	0	0
Wart 1-3	23,3	25,3	4,6	16,4	0	0	2,6	0
Wart 1-4	19,4	6,8	3,0	7,2	0	3,3	0	0
Wart 1-5	18,8	9,3	3,9	5,2	0	2,5	0	0
Weid 1-1	36,9	5,4	21,0	0	0	0	3,7	0
Wart 1-2	25,3	5,7	6,0	0	0	0	4,0	0
Weid 1-4	24,5	2,7	12,4	0	0	0	3,8	0
Weid 1-5	29,4	11,5	22,4	3,2	0	0	9,5	0
Mittelwert	16,8	9,3	6,1	1,26	2,0	1,0	0,6	0,9
Max.	58,3	52,4	24,6	16,4	21,6	33,0	9,5	52,6
Min.	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. A-3: Geochemischen Ergebnisse für Gesamtgesteins-Proben (Quarzit): Hauptelemente (Gew.-%).

Probe-Nr.	SiO ₂ (Gew.-%)	Al ₂ O ₃ (Gew.-%)	Fe ₂ O ₃ (T) (Gew.-%)	MnO (Gew.-%)	MgO (Gew.-%)
bqw-9	92,06	4,11	0,81	0,019	0,08
bqw-8	92,12	2,63	2,01	0,014	0,09
bqw-6	89,73	3,75	0,88	0,036	0,10
bqw-5	88,74	2,36	2,98	0,073	0,14
bqw-3	68,96	16,13	4,74	0,049	1,11
bqw-4	93,21	2,95	0,57	0,009	0,08
cbgl-1	89,50	4,30	1,50	0,017	0,27
cbgl-2	83,16	7,92	1,76	0,017	0,36
bqw-11	90,56	4,32	0,90	0,008	0,13
bqw-12	90,20	4,02	1,76	0,013	0,10
Br 1-1	66,99	16,59	5,53	0,072	1,24
Br 1-2	87,94	5,61	1,63	0,014	0,32
Br 1-3	83,49	7,93	2,31	0,019	0,32
Br 1-4	72,65	14,20	3,97	0,044	0,94
Br 1-5	70,87	14,91	4,54	0,046	1,07
Br 1-6	64,81	18,81	5,01	0,059	1,29
Br 2-1	92,28	4,07	0,88	0,014	0,16
Br 2-2	90,86	4,44	0,62	0,009	0,14
Br 2-3	87,45	7,35	0,69	0,008	0,16
Br 3-1	88,19	6,83	0,71	0,010	0,16
Br 3-2	93,41	3,78	0,32	0,005	0,08
Br 3-3	90,60	5,04	0,50	0,008	0,10
Br 3-4	91,58	3,92	0,69	0,011	0,07
Br 3-5	75,01	12,75	4,47	0,045	0,94
Br 3-6	88,50	6,42	1,17	0,020	0,28
Br 3-7	74,92	13,21	3,75	0,037	0,67
Br 3-8	83,28	8,08	1,98	0,016	0,39
Br 3-9	92,09	3,52	1,83	0,028	0,29
Br 3-10	91,33	5,20	0,33	0,005	0,09
Br 3-11	89,43	4,64	1,19	0,025	0,24
Hamm 1-1	93,21	3,28	1,60	0,019	0,16
Brom 1-1	88,01	5,10	1,47	0,052	0,28
Hoh 4	95,25	2,77	0,19	0,003	0,07
Kath 1-1	83,20	7,70	2,76	0,024	0,63
Kath 3	83,15	8,42	2,53	0,027	0,45
Kräh 1-1	94,30	3,18	0,37	0,004	0,10
Unt 1-1	95,64	2,33	0,30	0,011	0,07
Unt 1-2	93,80	3,39	0,61	0,007	0,07
Unt 1-3	83,70	5,78	5,30	0,032	0,60
Unt 1-4	90,66	4,24	2,22	0,026	0,28
Putz 1-1	93,59	3,41	0,60	0,014	0,08
Putz 1-3	93,41	3,98	0,43	0,012	0,08
Putz 1-4	83,81	6,79	1,98	0,031	0,09
Putz 1-5	89,79	6,14	0,43	0,007	0,10
Wart 1-1	93,31	3,76	0,74	0,008	0,09
Wart 1-2	91,45	4,55	0,88	0,007	0,10
Wart 1-3	94,56	2,34	0,71	0,004	0,06
Wart 1-4	94,89	2,54	0,66	0,004	0,05
Wart 1-5	90,74	4,41	0,87	0,009	0,10
Bqw 12	90,63	4,32	0,54	0,007	0,11
Weid 1-1	93,46	3,44	0,35	0,007	0,08
Weid 1-2	95,48	2,42	0,23	0,002	0,05
Weid 1-3	91,98	3,43	1,42	0,006	0,07
Weid 1-4	92,83	4,29	0,66	0,006	0,08
Weid 1-5	91,42	4,57	0,64	0,013	0,07
Flitt 1-1	91,57	4,14	0,68	0,007	0,10
Flitt 1-2	76,78	13,84	1,27	0,015	0,27
Flitt 1-3	91,65	4,39	0,78	0,006	0,08
Osch 12	91,17	4,91	0,65	0,004	0,10
Mittelwert	87,92	5,99	1,56	0,020	0,27
Max	95,64	18,81	5,53	0,073	1,29
Min	64,81	2,33	0,19	0,002	0,05

Probe-Nr.	CaO (Gew.-%)	Na ₂ O (Gew.-%)	K ₂ O (Gew.-%)	TiO ₂ (Gew.-%)	P ₂ O ₅ (Gew.-%)
bqw-9	0,02	0,09	1,13	0,411	0,01
bqw-8	0,03	0,04	0,52	0,129	0,03
bqw-6	0,03	0,06	1,02	1,132	0,05
bqw-5	0,05	0,04	0,51	2,115	0,07
bqw-3	0,20	1,30	4,35	0,772	0,08
bqw-4	0,02	0,04	0,79	0,468	0,01
cbgl-1	0,19	0,51	1,01	0,697	0,09
cbgl-2	0,31	0,35	2,28	0,803	0,15
bqw-11	0,03	0,05	1,23	0,666	0,03
bqw-12	0,02	0,07	1,07	0,804	0,05
Br 1-1	0,13	0,49	5,11	0,825	0,07
Br 1-2	0,08	0,35	2,25	0,391	0,02
Br 1-3	0,08	0,47	2,98	0,436	0,04
Br 1-4	0,25	0,96	4,27	0,623	0,07
Br 1-5	0,25	0,82	3,71	0,638	0,09
Br 1-6	0,22	0,88	5,22	0,863	0,07
Br 2-1	0,15	0,19	1,12	0,256	0,06
Br 2-2	0,46	1,01	0,50	0,372	0,02
Br 2-3	0,41	1,07	1,38	0,246	0,01
Br 3-1	0,33	0,61	1,71	0,24	0,07
Br 3-2	0,16	0,56	0,73	0,226	0,02
Br 3-3	0,21	0,63	1,08	0,712	0,02
Br 3-4	0,02	0,06	1,09	0,458	< 0,01
Br 3-5	0,11	0,19	3,39	0,631	0,07
Br 3-6	0,11	0,12	1,66	0,379	0,05
Br 3-7	0,06	0,12	4,31	0,647	0,04
Br 3-8	0,13	1,14	2,20	0,361	0,04
Br 3-9	0,04	0,03	1,27	0,217	0,02
Br 3-10	0,05	0,42	1,58	0,219	0,02
Br 3-11	0,39	1,24	0,66	0,458	0,03
Hamm 1-1	0,02	0,08	0,61	0,173	0,04
Brom 1-1	0,14	0,15	1,64	0,787	0,09
Hoh 4	0,02	0,04	0,73	0,127	< 0,01
Kath 1-1	0,19	0,92	1,70	0,337	0,08
Kath 3	0,10	0,59	2,34	0,363	0,08
Kräh 1-1	0,04	0,04	0,92	0,166	< 0,01
Unt 1-1	0,03	0,04	0,64	0,305	< 0,01
Unt 1-2	0,03	0,05	0,93	0,375	0,02
Unt 1-3	0,24	0,78	0,77	0,603	0,05
Unt 1-4	0,06	0,03	0,62	0,147	0,03
Putz 1-1	0,01	0,06	0,96	0,581	< 0,01
Putz 1-3	0,03	0,06	1,06	0,234	< 0,01
Putz 1-4	0,03	0,16	1,80	2,724	0,04
Putz 1-5	0,01	0,10	1,73	0,333	< 0,01
Wart 1-1	0,01	0,07	1,02	0,376	< 0,01
Wart 1-2	0,01	0,07	1,31	0,324	< 0,01
Wart 1-3	0,01	0,05	0,58	0,271	< 0,01
Wart 1-4	0,02	0,06	0,64	0,216	< 0,01
Wart 1-5	0,01	0,09	1,09	0,475	0,02
Bqw 12	0,03	0,07	1,16	1,135	0,02
Weid 1-1	0,01	0,06	0,91	0,183	< 0,01
Weid 1-2	0,01	0,05	0,69	0,055	< 0,01
Weid 1-3	0,02	0,08	0,67	0,664	0,04
Weid 1-4	0,02	0,08	1,16	0,292	0,02
Weid 1-5	0,03	0,10	1,22	0,437	< 0,01
Flitt 1-1	0,02	0,06	1,05	0,261	0,02
Flitt 1-2	0,65	2,78	2,70	0,189	0,03
Flitt 1-3	0,02	0,05	1,29	0,313	< 0,01
Osch 12	0,01	0,08	1,28	0,410	0,01
Mittelwert	0,11	0,35	1,58	0,510	0,05
Max	0,65	2,78	5,22	2,724	0,15
Min	0,01	0,03	0,50	0,055	0,01

Tab. A-4: Geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Quarzit: Hauptelemente (Gew.-%).

Probe-Nr.	SiO ₂ (Gew.-%)	Al ₂ O ₃ (Gew.-%)	Fe ₂ O ₃ (T) (Gew.-%)	MnO (Gew.-%)	MgO (Gew.-%)
Br 1-1	31,63	33,96	16,24	0,610	1,95
Br 1-4	21,19	24,43	24,01	1,014	0,83
Br 1-5	30,97	26,47	18,30	0,510	2,37
Br 2-3	29,14	15,05	21,93	0,434	1,65
Br 3-1	40,08	5,92	9,73	0,204	0,22
Br 3-6	37,14	26,14	17,62	0,357	3,29
Br 3-7	32,29	18,91	26,90	0,365	3,78
Br 3-8	49,54	15,54	17,18	0,173	2,64
Br 3-9	38,37	17,30	25,22	0,742	3,20
Wart 1-1	33,72	7,80	18,02	0,340	0,41
Osch 10	41,83	13,94	10,16	0,079	0,96
Osch 12	43,42	3,22	11,46	0,073	0,10
Unt 1-2	16,73	1,81	24,47	0,508	0,07
Unt 1-4	33,40	42,29	14,35	0,380	0,51
Putz 1-1	15,32	1,31	25,06	0,898	< 0,01
Putz 1-4	19,20	5,53	25,97	0,527	0,76
Kräh 1-1	74,90	6,47	5,73	0,015	0,17
Brom 1-1	27,67	5,70	19,34	1,039	0,59
Bqw 12	29,27	2,25	9,69	0,135	0,10
Flitt 1-1	19,50	12,16	20,37	0,689	0,15
Flitt 1-3	20,11	4,91	24,11	0,199	0,35
Weid 1-3	24,02	3,89	20,00	0,173	0,21
cbgl- 1	28,89	7,65	22,34	0,399	1,99
cbgl- 2	24,63	8,69	22,43	0,338	2,23
bqw- 3	29,77	17,90	26,74	0,402	5,93
bqw- 4	46,44	2,08	8,36	0,370	0,07
bqw- 5	32,44	2,32	22,18	0,601	0,06
bqw- 6	33,04	4,06	8,63	0,549	0,31
bqw- 8	32,76	33,73	20,77	0,227	0,47
bqw- 11	21,85	3,22	20,09	0,302	0,27
bqw- 12	22,63	3,29	44,46	0,306	0,09
Br 1-2	22,41	10,26	25,54	0,786	1,34
Br 1-3	26,77	28,70	18,46	0,432	0,90
Br 1-6	30,31	36,31	13,78	0,628	1,02
Br 2-1	24,74	4,40	23,61	0,910	0,31
Br 2-2	25,39	14,40	20,76	0,422	1,76
Br 3-10	35,78	6,84	20,18	0,496	0,27
Br 3-11	24,44	9,68	24,97	0,978	2,16
Br 3-2	30,13	15,25	24,46	0,406	3,39
Br 3-3	34,93	3,74	9,40	0,215	0,21
Br 3-4	16,00	1,56	31,79	0,731	0,09
Br 3-5	37,20	18,69	19,88	1,213	1,85
Brom 1-2	28,11	13,32	19,47	0,253	4,27
Flitt 1-2	25,46	8,98	22,45	2,060	0,67
Flitt 1-4	27,08	7,82	26,65	0,213	0,38
Hamm 1-1	32,66	25,43	24,92	0,493	1,66
Kath 1-1	21,60	10,05	33,80	0,654	3,10
Kath 3	37,06	17,16	17,76	0,436	1,83
Oberth 7	26,98	26,97	29,43	0,897	1,21
Putz 1-3	18,62	3,89	24,72	1,451	0,22
Putz 1-5	24,27	7,70	26,34	0,669	0,13
Unt 1-1	27,29	3,69	15,58	1,314	0,08
Unt 1-3	22,73	11,56	34,98	0,494	2,06
Wart 1-3	17,60	4,46	26,66	0,701	0,20
Wart 1-4	29,10	10,22	21,49	0,215	1,01
Wart 1-5	24,34	10,80	24,77	0,261	1,13
Weid 1-1	21,28	3,62	24,73	0,726	0,09
Wart 1-2	23,14	6,36	23,66	0,463	0,51
Weid 1-4	25,57	6,42	20,13	0,325	0,14
Weid 1-5	9,90	1,93	31,60	1,092	0,05
Mittelwert	28,88	11,80	21,40	0,550	1,15
Max.	74,90	42,29	44,46	2,060	5,93
Min.	9,90	1,31	5,73	0,015	0,05

Probe-Nr.	CaO (Gew.-%)	Na ₂ O (Gew.-%)	K ₂ O (Gew.-%)	TiO ₂ (Gew.-%)	P ₂ O ₅ (Gew.-%)
Br 1-1	0,89	0,28	3,09	8,54	0,41
Br 1-4	2,62	0,46	0,71	19,83	1,03
Br 1-5	3,20	0,62	2,68	9,30	1,92
Br 2-3	1,98	0,95	0,62	15,50	1,16
Br 3-1	0,81	0,77	1,13	14,25	0,45
Br 3-6	1,09	1,16	1,11	6,72	0,26
Br 3-7	0,65	0,23	7,32	6,21	0,38
Br 3-8	0,52	0,68	6,05	4,14	0,33
Br 3-9	0,80	0,16	6,86	3,85	0,32
Wart 1-1	0,10	0,40	1,58	18,79	0,16
Osch 10	0,13	0,61	2,06	16,05	0,27
Osch 12	0,08	0,19	0,68	16,39	0,36
Unt 1-2	0,09	0,16	0,34	29,25	0,38
Unt 1-4	0,42	0,16	0,77	3,20	0,34
Putz 1-1	0,08	0,28	0,27	35,08	0,26
Putz 1-4	0,28	0,30	0,75	36,51	0,44
Kräh 1-1	0,05	0,21	1,74	5,26	0,18
Brom 1-1	1,02	0,21	1,52	23,66	1,04
Bqw 12	0,11	0,21	0,42	26,42	0,42
Flitt 1-1	0,12	0,29	0,44	26,48	0,48
Flitt 1-3	0,12	0,32	0,43	23,71	0,58
Weid 1-3	0,10	0,21	0,33	27,65	1,10
cbgl- 1	2,51	0,35	1,99	20,24	1,54
cbgl- 2	4,75	0,21	2,94	18,50	3,12
bqw- 3	0,90	0,31	5,47	6,33	0,55
bqw- 4	0,09	0,06	0,45	24,72	0,13
bqw- 5	0,04	0,04	0,53	25,03	0,19
bqw- 6	0,10	0,15	0,61	22,22	0,41
bqw- 8	0,04	0,11	1,51	5,01	0,18
bqw- 11	0,12	0,13	0,45	28,77	0,42
bqw- 12	0,04	0,08	0,46	12,82	1,15
Br 1-2	3,68	0,44	1,51	20,22	2,43
Br 1-3	0,99	0,28	1,79	13,52	0,64
Br 1-6	1,44	0,63	1,07	11,80	0,75
Br 2-1	3,56	0,41	0,38	24,03	2,56
Br 2-2	1,97	1,36	0,42	20,16	0,74
Br 3-10	0,65	0,71	1,58	18,96	0,66
Br 3-11	1,57	0,70	2,31	19,67	1,07
Br 3-2	5,19	0,31	5,23	10,10	0,80
Br 3-3	0,27	0,47	0,76	25,03	0,37
Br 3-4	0,10	0,24	0,35	31,75	0,32
Br 3-5	2,95	0,86	3,47	7,78	0,68
Brom 1-2	13,87	0,46	6,00	2,88	8,21
Flitt 1-2	7,38	1,99	2,20	18,85	1,49
Flitt 1-4	0,26	0,27	1,31	19,45	1,12
Hamm 1-1	0,13	0,57	0,89	6,54	0,19
Kath 1-1	9,31	0,35	0,99	13,56	1,48
Kath 3	2,95	0,76	5,02	9,60	1,05
Oberth 7	0,14	0,09	0,41	7,00	0,13
Putz 1-3	0,21	0,22	0,78	31,01	0,41
Putz 1-5	0,05	0,25	2,03	31,66	0,18
Unt 1-1	0,55	1,04	0,56	24,96	0,16
Unt 1-3	0,60	0,26	1,16	15,19	0,44
Wart 1-3	0,10	0,82	0,65	34,98	0,30
Wart 1-4	0,15	0,55	0,53	20,63	0,35
Wart 1-5	0,18	0,80	0,40	20,89	0,35
Weid 1-1	0,06	0,21	0,81	30,23	0,24
Wart 1-2	0,11	0,30	0,83	26,15	0,17
Weid 1-4	0,07	0,62	1,40	26,33	0,30
Weid 1-5	0,07	0,25	0,33	44,68	0,29
Mittelwert	1,37	0,44	1,67	18,80	0,80
Max.	13,87	1,99	7,32	44,68	8,21
Min.	0,04	0,04	0,27	2,88	0,13

Tab. A-5: Geochemischen Ergebnisse für Gesamtgesteins-Proben (Quarzit): ausgewählte Neben- und Spuren-

Probe-Nr.	V (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)
bqw-9	16	80	< 10	< 30	192
bqw-8	16	90	< 10	< 30	128
bqw-6	23	120	< 10	30	6606
bqw-5	44	90	< 10	< 30	6540
bqw-3	75	110	< 10	60	374
bqw-4	12	< 20	< 10	< 30	995
cbgl-1	21	70	< 10	< 30	1505
cbgl-2	32	30	< 10	< 30	2043
bqw-11	17	40	< 10	< 30	1586
bqw-12	20	70	< 10	< 30	1726
Br 1-1	91	80	20	80	355
Br 1-2	24	30	< 10	< 30	567
Br 1-3	34	30	< 10	< 30	359
Br 1-4	64	60	< 10	60	270
Br 1-5	68	60	20	70	263
Br 1-6	92	80	< 10	100	259
Br 2-1	11	< 20	< 10	< 30	398
Br 2-2	15	< 20	< 10	< 30	626
Br 2-3	21	< 20	< 10	< 30	380
Br 3-1	18	< 20	< 10	< 30	324
Br 3-2	8	< 20	< 10	< 30	308
Br 3-3	19	30	< 10	< 30	2310
Br 3-4	15	20	< 10	< 30	886
Br 3-5	57	50	30	50	350
Br 3-6	27	30	< 10	< 30	521
Br 3-7	56	50	< 10	40	450
Br 3-8	31	30	< 10	< 30	320
Br 3-9	18	< 20	< 10	< 30	261
Br 3-10	9	< 20	< 10	< 30	326
Br 3-11	21	20	< 10	30	805
Hamm 1-1	22	20	< 10	< 30	168
Brom 1-1	27	50	< 10	30	3272
Hoh 4	6	< 20	< 10	< 30	152
Kath 1-1	30	30	20	< 30	284
Kath 3	40	40	20	40	170
Kräh 1-1	10	< 20	< 10	< 30	227
Unt 1-1	10	< 20	< 10	< 30	737
Unt 1-2	13	30	< 10	< 30	972
Unt 1-3	43	50	40	30	1287
Unt 1-4	14	< 20	< 10	30	144
Putz 1-1	14	20	< 10	< 30	863
Putz 1-3	15	< 20	< 10	< 30	316
Putz 1-4	60	50	< 10	30	903
Putz 1-5	14	< 20	< 10	< 30	119
Wart 1-1	14	20	< 10	< 30	1168
Wart 1-2	14	< 20	< 10	< 30	281
Wart 1-3	11	< 20	< 10	< 30	370
Wart 1-4	11	< 20	< 10	< 30	234
Wart 1-5	16	20	< 10	< 30	690
Bqw 12	28	50	< 10	< 30	2472
Weid 1-1	10	< 20	< 10	< 30	245
Weid 1-2	5	< 20	< 10	< 30	44
Weid 1-3	18	60	< 10	< 30	1245
Weid 1-4	15	20	< 10	< 30	633
Weid 1-5	18	< 20	< 10	< 30	198
Flitt 1-1	15	< 20	< 10	< 30	502
Flitt 1-2	17	< 20	< 10	< 30	131
Flitt 1-3	15	< 20	< 10	< 30	816
Osch 12	16	20	< 10	< 30	882
Mittelwert	26	49	25	48	874
Max.	92	120	40	100	6606
Min.	5	20	20	30	44

elemente (ppm).

Probe-Nr.	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
bqw-9	228	8	2,6	0,7
bqw-8	124	< 5	2,5	0,9
bqw-6	258	25	84,9	13,5
bqw-5	92	10	64,3	9,4
bqw-3	629	22	18,0	3,8
bqw-4	174	< 5	14,5	2,3
cbgl-1	268	8	29,3	5,0
cbgl-2	588	10	32,8	6,7
bqw-11	214	11	33,2	3,6
bqw-12	210	7	16,8	3,6
Br 1-1	720	20	18,2	5,4
Br 1-2	510	18	15,9	2,7
Br 1-3	720	22	11,9	2,8
Br 1-4	778	22	13,5	2,9
Br 1-5	655	22	13,9	3,4
Br 1-6	782	21	16,0	3,7
Br 2-1	238	7	7,9	2,4
Br 2-2	123	10	13,9	2,4
Br 2-3	313	13	9,0	1,6
Br 3-1	406	9	6,3	1,4
Br 3-2	150	8	7,0	1,4
Br 3-3	324	10	26,6	6,0
Br 3-4	209	5	17,7	2,9
Br 3-5	577	27	15,0	3,0
Br 3-6	999	13	12,3	2,3
Br 3-7	1102	22	18,3	3,2
Br 3-8	515	22	8,8	2,1
Br 3-9	191	8	7,2	1,3
Br 3-10	304	14	9,3	1,8
Br 3-11	142	23	13,2	2,9
Hamm 1-1	212	9	4,9	1,6
Brom 1-1	375	18	78,0	12,6
Hoh 4	157	< 5	3,5	0,6
Kath 1-1	281	13	10,0	2,7
Kath 3	455	15	8,6	2,7
Kräh 1-1	184	< 5	3,6	0,7
Unt 1-1	102	7	10,0	1,8
Unt 1-2	235	15	18,4	3,4
Unt 1-3	164	25	31,3	6,1
Unt 1-4	155	15	3,3	1,4
Putz 1-1	229	12	12,1	2,4
Putz 1-3	223	< 5	6,7	1,5
Putz 1-4	316	5	9,6	3,8
Putz 1-5	403	10	2,0	0,8
Wart 1-1	212	10	17,6	3,1
Wart 1-2	277	12	5,2	1,3
Wart 1-3	90	8	4,0	1,1
Wart 1-4	95	5	3,0	0,8
Wart 1-5	228	8	14,3	2,7
Bqw 12	229	8	28,8	5,3
Weid 1-1	264	8	3,5	0,8
Weid 1-2	143	< 5	1,6	0,3
Weid 1-3	120	13	25,2	4,7
Weid 1-4	233	< 5	11,0	2,4
Weid 1-5	244	9	2,8	1,1
Flitt 1-1	300	8	10,2	2,1
Flitt 1-2	845	7	7,3	1,5
Flitt 1-3	239	22	13,1	2,5
Osch 12	229	6	12,0	2,4
Mittelwert	335	13	16,0	3,0
Max.	1102	27	84,9	13,5
Min.	90	5	1,6	0,3

Tab. A-6: Geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Quarzit: ausgewählte Neben- und Spu-

Probe-Nr.	V (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Zr (ppm)
Br 1-1	413	370	60	440	3289
Br 1-4	672	530	70	860	7820
Br 1-5	394	380	20	550	3637
Br 2-3	120	90	30	220	51480
Br 3-1	79	40	10	910	55000
Br 3-6	137	160	30	230	15110
Br 3-7	134	120	20	260	8911
Br 3-8	109	90	20	230	7638
Br 3-9	113	350	20	230	14100
Wart 1-1	99	100	< 10	220	105600
Osch 10	126	170	90	290	57620
Osch 12	108	160	50	60	104600
Unt 1-2	122	120	150	690	163100
Unt 1-4	90	90	20	1310	12220
Putz 1-1	170	110	170	1650	130100
Putz 1-4	227	180	10	480	53200
Kräh 1-1	52	60	20	50	21480
Brom 1-1	134	150	30	270	115100
Bqw 12	206	310	20	70	177600
Flitt 1-1	153	160	220	350	107400
Flitt 1-3	157	140	100	300	143000
Weid 1-3	163	390	110	600	113100
cbgl- 1	119	100	20	300	66460
cbgl- 2	105	70	< 10	250	81050
bqw- 3	142	110	20	470	2745
bqw- 4	142	80	40	230	104000
bqw- 5	199	370	< 10	80	121900
bqw- 6	159	420	50	560	207100
bqw- 8	134	130	20	470	9830
bqw- 11	141	160	150	870	144100
bqw- 12	123	200	60	150	61140
Br 1-2	274	240	10	310	67900
Br 1-3	435	370	40	140	32080
Br 1-6	622	590	20	790	1917
Br 2-1	108	60	40	300	95040
Br 2-2	242	130	50	190	65580
Br 3-10	89	60	20	180	91500
Br 3-11	180	190	< 10	270	73990
Br 3-2	121	90	20	290	13840
Br 3-3	225	450	10	50	176200
Br 3-4	123	110	30	140	117900
Br 3-5	117	150	100	130	6365
Brom 1-2	80	50	30	1140	2340
Flitt 1-2	87	40	10	1090	41240
Flitt 1-4	132	100	140	180	88710
Hamm 1-1	160	190	100	210	10380
Kath 1-1	125	80	600	290	16260
Kath 3	148	110	80	440	3108
Oberth 7	142	160	30	380	20070
Putz 1-3	144	110	200	670	111100
Putz 1-5	146	60	70	480	30060
Unt 1-1	125	90	30	680	165300
Unt 1-3	186	190	110	160	57750
Wart 1-3	144	80	20	540	81910
Wart 1-4	157	140	60	260	89970
Wart 1-5	164	130	90	420	82070
Weid 1-1	125	100	200	240	123500
Wart 1-2	117	80	20	260	117100
Weid 1-4	121	120	120	230	116600
Weid 1-5	163	120	30	1060	59100
Mittelwert	171	172	70	420	70472
Max.	672	590	600	1650	207100
Min.	52	40	10	50	1917

renelemente (ppm).

Probe-Nr.	Ba (ppm)	Pb (ppm)	Th (ppm)	U (ppm)
Br 1-1	294	17	114,0	24,0
Br 1-4	221	43	278,0	69,6
Br 1-5	419	27	152,0	36,4
Br 2-3	103	50	308,0	107,0
Br 3-1	224	45	158,0	101,0
Br 3-6	256	73	57,5	32,8
Br 3-7	943	26	85,0	30,9
Br 3-8	696	39	81,5	24,5
Br 3-9	594	21	35,6	31,1
Wart 1-1	294	80	315,0	153,0
Osch 10	281	112	166,0	103,0
Osch 12	138	95	258,0	171,0
Unt 1-2	107	230	484,0	266,0
Unt 1-4	182	33	35,1	24,9
Putz 1-1	62	111	265,0	198,0
Putz 1-4	155	62	201,0	98,0
Kräh 1-1	321	19	41,1	37,6
Brom 1-1	302	164	353,0	207,0
Bqw 12	196	119	376,0	243,0
Flitt 1-1	366	107	243,0	181,0
Flitt 1-3	576	538	571,0	254,0
Weid 1-3	544	341	969,0	243,0
cbgl- 1	265	47	156,0	102,0
cbgl- 2	380	58	245,0	125,0
bqw- 3	311	23	81,1	21,1
bqw- 4	119	58	169,0	139,0
bqw- 5	115	58	384,0	119,0
bqw- 6	212	164	910,0	272,0
bqw- 8	290	19	51,0	21,6
bqw- 11	263	178	473,0	208,0
bqw- 12	417	52	169,0	93,1
Br 1-2	167	77	241,0	148,0
Br 1-3	319	60	227,0	88,0
Br 1-6	148	23	177,0	36,1
Br 2-1	60	86	305,0	192,0
Br 2-2	26	60	182,0	121,0
Br 3-10	240	80	311,0	187,0
Br 3-11	222	69	207,0	130,0
Br 3-2	490	44	188,0	64,6
Br 3-3	182	118	616,0	305,0
Br 3-4	45	101	571,0	224,0
Br 3-5	573	62	54,8	36,1
Brom 1-2	162	51	64,7	51,9
Flitt 1-2	200	85	93,8	79,4
Flitt 1-4	413	82	246,0	169,0
Hamm 1-1	351	19	49,9	35,2
Kath 1-1	145	92	95,9	119,0
Kath 3	822	123	58,5	58,1
Oberth 7	57	21	40,0	37,0
Putz 1-3	207	120	337,0	203,0
Putz 1-5	477	119	88,3	65,6
Unt 1-1	49	139	232,0	242,0
Unt 1-3	193	63	157,0	119,0
Wart 1-3	245	89	284,0	191,0
Wart 1-4	148	88	125,0	126,0
Wart 1-5	104	79	139,0	117,0
Weid 1-1	234	128	158,0	162,0
Wart 1-2	153	94	288,0	170,0
Weid 1-4	377	137	358,0	217,0
Weid 1-5	141	142	86,1	90,8
Mittelwert	277	91	236,0	125,0
Max.	943	538	969,0	305,0
Min.	26	17	35,1	21,1

Tab. A-7: Geochemischen Ergebnisse für Gesamtgesteins-Proben (Quarzit): Selten Erd Elemente (ppm).

Proben	Sc (ppm)	Y (ppm)	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)
bqw-9	1,0	10,0	7,5	13,8	1,67	6,0	1,4	0,35
bqw-8	1,0	11,0	7,1	15,4	1,66	6,2	1,2	0,41
bqw-6	5,0	73,0	86,0	182,0	19,60	70,2	13,5	1,56
bqw-5	4,0	45,0	47,2	92,6	10,90	41,3	8,2	1,45
bqw-3	12,0	36,0	46,9	95,4	10,70	39,5	7,8	1,39
bqw-4	1,0	20,0	21,4	46,6	4,99	17,8	3,7	0,65
cbgl-1	3,0	30,0	42,1	87,1	10,10	37,1	6,6	0,94
cbgl-2	5,0	37,0	24,2	53,1	6,07	23,2	5,5	0,99
bqw-11	4,0	34,0	58,3	114,0	12,60	44,1	8,4	1,08
bqw-12-1	2,0	23,0	27,6	59,6	6,91	24,9	5,3	0,81
Br 1-1	13,0	36,0	51,6	104,0	11,30	42,6	8,4	1,66
Br 1-2	3,0	18,0	28,7	59,3	6,37	23,6	4,6	0,81
Br 1-3	4,0	18,0	29,1	60,3	6,56	25,3	4,7	1,11
Br 1-4	9,0	26,0	40,9	81,9	9,19	34,0	6,8	1,48
Br 1-5	10,0	24,0	38,4	77,8	8,79	34,2	6,6	1,33
Br 1-6	14,0	28,0	47,2	93,8	10,50	39,9	7,5	1,53
Br 2-1	1,0	8,0	16,0	33,7	3,50	12,9	2,2	0,43
Br 2-2	2,0	18,0	27,6	46,9	5,04	18,7	3,6	0,70
Br 2-3	2,0	13,0	20,2	43,0	4,50	17,0	3,5	0,76
Br 3-1	2,0	12,0	16,7	35,2	3,61	13,2	2,6	0,66
Br 3-2	< 1,0	10,0	15,6	33,7	3,45	12,6	2,5	0,43
Br 3-3	2,0	27,0	36,6	76,3	8,51	31,3	6,0	0,65
Br 3-4	2,0	17,0	28,1	54,6	5,80	22,0	3,9	0,61
Br 3-5	8,0	18,0	30,5	49,0	7,62	27,9	5,4	0,98
Br 3-6	4,0	18,0	26,0	54,5	5,81	22,0	4,1	0,77
Br 3-7	8,0	30,0	33,6	66,7	7,65	29,2	5,8	1,11
Br 3-8	4,0	16,0	22,4	46,6	5,03	19,0	3,8	0,81
Br 3-9	2,0	10,0	15,3	32,2	3,38	12,5	2,4	0,43
Br 3-10	1,0	14,0	19,6	41,9	4,44	17,3	3,1	0,63
Br 3-11	3,0	18,0	25,3	53,9	5,75	21,9	4,0	0,81
Hamm 1-1	2,0	13,0	16,1	30,0	3,69	14,6	3,2	0,62
Brom 1-1	4,0	39,0	69,2	152,0	16,80	61,7	12,0	1,61
Hoh 4	< 1,0	6,0	9,7	21,2	2,09	8,1	1,5	0,32
Kath 1-1	4,0	12,0	23,0	47,2	5,08	19,4	4,2	0,66
Kath 3	5,0	18,0	21,0	44,0	4,67	18,1	3,9	0,78
Kräh 1-1	1,0	10,0	10,1	21,1	2,36	8,9	1,9	0,40
Unt 1-1	< 1,0	10,0	16,6	34,0	3,59	13,4	2,7	0,47
Unt 1-2	2,0	20,0	28,9	61,2	6,32	22,7	4,4	0,67
Unt 1-3	5,0	31,0	44,0	91,1	9,82	36,4	7,4	1,21
Unt 1-4	2,0	9,0	15,1	22,8	3,21	12,4	2,3	0,58
Putz 1-1	2,0	13,0	24,8	54,0	5,14	19,2	3,5	0,72
Putz 1-3	2,0	13,0	17,9	45,7	3,91	14,4	2,8	0,48
Putz 1-4	5,0	23,0	20,6	43,7	4,84	18,9	4,0	1,01
Putz 1-5	1,0	8,0	7,4	14,4	1,53	5,7	1,2	0,36
Wart 1-1	1,0	10,0	17,4	36,2	4,36	16,1	2,9	0,53
Wart 1-2	2,0	8,0	11,8	25,1	2,63	10,1	2,1	0,49
Wart 1-3	1,0	5,0	7,7	17,5	1,65	6,1	1,2	0,28
Wart 1-4	1,0	4,0	6,9	16,1	1,73	6,8	1,4	0,34
Wart 1-5	3,0	18,0	22,4	38,0	5,53	21,8	4,4	0,79
Bqw 12-2	3,0	30,0	39,4	83,0	9,64	35,9	7,4	1,03
Weid 1-1	1,0	7,0	10,5	23,0	2,39	8,6	1,8	0,45
Weid 1-2	< 1,0	3,0	6,1	11,7	1,31	4,8	1,0	0,29
Weid 1-3	3,0	27,0	42,3	87,1	9,66	35,4	6,7	1,01
Weid 1-4	2,0	8,0	10,9	24,4	2,88	10,7	2,1	0,43
Weid 1-5	2,0	12,0	9,7	24,2	2,37	9,0	2,0	0,56
Flitt 1-1	3,0	12,0	18,5	44,4	4,81	18,6	3,8	0,71
Flitt 1-2	3,0	15,0	15,9	29,7	3,64	12,6	2,8	0,63
Flitt 1-3	2,0	13,0	16,9	36,8	3,95	14	2,8	0,53
Osch 12	2,0	15,0	21,5	46,8	5,52	20,8	4,2	0,73
Mittelwert	3,6	18,9	25,8	53,1	5,90	21,9	4,3	0,78
Max.	14,0	73,0	86,0	182,0	19,60	70,2	13,5	1,66
Min.	1,0	3,0	6,1	11,7	1,31	4,8	1,0	0,28

Proben	Gd (ppm)	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
bqw-9	1,2	0,2	1,1	0,2	0,6	0,10	0,7	0,13
bqw-8	1,2	0,2	1,4	0,2	0,7	0,10	0,6	0,09
bqw-6	10,0	1,7	10,9	2,4	8,3	1,46	11,2	2,23
bqw-5	7,1	1,1	6,5	1,5	5,0	0,89	7,4	1,54
bqw-3	6,4	1,1	6,5	1,2	3,5	0,51	3,4	0,54
bqw-4	2,8	0,5	2,8	0,6	1,7	0,30	2,3	0,42
cbgl-1	5,3	0,8	4,6	0,9	3,0	0,48	3,5	0,63
cbgl-2	4,9	0,8	5,6	1,2	3,6	0,59	4,4	0,79
bqw-11	6,0	0,9	5,2	1,0	3,2	0,55	3,9	0,70
bqw-12-1	3,8	0,5	3,4	0,7	2,4	0,38	2,9	0,51
Br 1-1	7,2	1,1	6,7	1,3	3,5	0,51	3,5	0,54
Br 1-2	3,9	0,6	3,2	0,6	1,9	0,28	2,0	0,34
Br 1-3	4,2	0,6	3,5	0,7	1,9	0,30	2,0	0,33
Br 1-4	5,6	0,8	5,0	0,9	2,6	0,34	2,4	0,38
Br 1-5	5,5	0,8	4,7	0,9	2,6	0,37	2,6	0,39
Br 1-6	6,5	0,9	5,4	1,0	3,0	0,42	3,0	0,47
Br 2-1	1,9	0,3	1,6	0,3	0,9	0,14	1,0	0,16
Br 2-2	3,4	0,5	3,1	0,7	2,0	0,30	2,0	0,39
Br 2-3	3,1	0,4	2,5	0,5	1,4	0,21	1,3	0,25
Br 3-1	2,4	0,3	2,1	0,4	1,1	0,16	1,3	0,23
Br 3-2	2,1	0,3	1,7	0,3	1,0	0,14	1,1	0,18
Br 3-3	5,0	0,8	4,6	0,9	3,1	0,52	3,9	0,75
Br 3-4	3,1	0,5	2,8	0,6	1,9	0,32	2,3	0,40
Br 3-5	3,9	0,6	3,4	0,6	1,8	0,26	2,1	0,34
Br 3-6	3,5	0,6	3,3	0,6	2,1	0,28	2,0	0,34
Br 3-7	4,9	0,9	5,3	1,1	3,2	0,46	3,4	0,56
Br 3-8	3,3	0,5	2,9	0,6	1,6	0,23	1,5	0,26
Br 3-9	1,9	0,3	1,8	0,4	1,1	0,17	1,2	0,20
Br 3-10	2,7	0,4	2,6	0,5	1,4	0,21	1,4	0,25
Br 3-11	3,4	0,5	3,0	0,6	1,8	0,26	2,0	0,33
Hamm 1-1	2,8	0,4	2,6	0,4	1,2	0,15	1,1	0,16
Brom 1-1	8,6	1,2	7,4	1,5	4,7	0,77	5,9	1,14
Hoh 4	1,3	0,2	1,1	0,2	0,6	0,08	0,6	0,11
Kath 1-1	3,5	0,5	2,7	0,4	1,4	0,19	1,4	0,26
Kath 3	3,4	0,6	3,4	0,7	1,8	0,25	1,7	0,26
Kräh 1-1	1,5	0,2	1,3	0,3	0,8	0,11	0,8	0,15
Unt 1-1	2,1	0,3	1,8	0,4	1,1	0,17	1,4	0,26
Unt 1-2	3,7	0,6	3,3	0,7	2,0	0,34	2,5	0,44
Unt 1-3	6,4	1,0	5,7	1,1	3,3	0,54	3,9	0,64
Unt 1-4	1,9	0,3	1,7	0,3	0,9	0,11	0,8	0,14
Putz 1-1	2,8	0,4	2,3	0,5	1,5	0,25	2,0	0,34
Putz 1-3	2,5	0,3	2,1	0,4	1,2	0,18	1,3	0,24
Putz 1-4	4,2	0,7	4,1	0,8	2,4	0,36	2,7	0,49
Putz 1-5	1,2	0,2	1,1	0,2	0,7	0,11	0,9	0,14
Wart 1-1	2,0	0,3	1,7	0,4	1,2	0,19	1,9	0,35
Wart 1-2	1,6	0,3	1,5	0,3	0,9	0,13	1,1	0,16
Wart 1-3	0,9	0,1	0,9	0,2	0,6	0,10	0,7	0,14
Wart 1-4	1,0	0,2	0,9	0,2	0,5	0,08	0,6	0,11
Wart 1-5	3,6	0,5	3,2	0,7	2,1	0,30	2,6	0,41
Bqw 12 -2	5,8	0,9	5,3	1,1	3,4	0,57	4,3	0,70
Weid 1-1	1,4	0,2	1,2	0,2	0,8	0,10	0,8	0,13
Weid 1-2	0,8	0,1	0,7	0,1	0,3	0,025	0,3	0,05
Weid 1-3	5,5	0,8	4,7	1,0	2,8	0,42	3,4	0,56
Weid 1-4	1,5	0,3	1,5	0,3	0,9	0,16	1,2	0,24
Weid 1-5	1,7	0,3	1,8	0,4	1,1	0,15	1,0	0,13
Flitt 1-1	3,0	0,5	2,5	0,5	1,5	0,22	1,6	0,27
Flitt 1-2	2,7	0,4	2,8	0,5	1,6	0,22	1,4	0,22
Flitt 1-3	2,3	0,3	2,2	0,4	1,4	0,24	1,9	0,35
Osch 12	3,3	0,5	2,8	0,5	1,7	0,26	1,9	0,34
Mittelwert	3,5	0,5	3,2	0,6	2,0	0,31	2,3	0,40
Max.	10,0	1,7	10,9	2,4	8,3	1,46	11,2	2,23
Min.	0,8	0,1	0,7	0,1	0,3	0,025	0,3	0,05

Tab. A-8: Geochemischen Ergebnisse für Schwermineralkonzentrate aus Quarzit: Selten Erd Elemente (ppm).

Proben	La (ppm)	Ce (ppm)	Pr (ppm)	Nd (ppm)	Sm (ppm)	Eu (ppm)	Gd (ppm)
Br 1-1	315	654	73,3	269	50,8	7,43	43,1
Br 1-4	814	1700	181,0	672	136,0	18,70	126,0
Br 1-5	487	1020	109,0	419	83,1	12,80	77,5
Br 2-3	780	1720	181,0	672	136,0	16,80	108,0
Br 3-1	459	1050	106,0	409	78,3	8,74	56,3
Br 3-6	140	255	24,8	83,8	15,4	3,14	15,5
Br 3-7	178	385	42,3	159	31,0	5,44	30,7
Br 3-8	230	501	54,9	209	41,5	7,17	33,8
Br 3-9	78,6	179	20,1	74,1	15,7	2,95	16,3
Wart 1-1	335	675	88,7	318	57,4	9,34	41,4
Osch 10	577	1300	136,0	501	96,7	22,60	73,6
Osch 12	352	766	88,3	329	67,3	10,80	59,9
Unt 1-2	633	1370	144,0	520	97,6	13,00	83,2
Unt 1-4	106	216	23,9	91,1	17,9	4,18	16,1
Putz 1-1	380	897	97,6	356	68,6	12,90	54,0
Putz 1-4	283	639	72,0	266	51,9	8,87	44,3
Kräh 1-1	169	367	39,5	149	29,6	7,49	29,4
Brom 1-1	317	710	79,8	294	56,9	8,27	48,3
Bqw 12 -2	387	833	99,2	372	76,4	11,10	67,1
Flitt 1-1	311	777	86,4	321	64,6	12,00	55,3
Flitt 1-3	306	666	70,4	257	53,0	10,00	50,1
Weid 1-3	1900	4130	461,0	1730	334,0	39,70	271
cbgl- 1	143	308	34,6	124	26,6	3,93	24,9
cbgl- 2	204	450	51,2	188	44,9	7,66	48,9
bqw- 3	240	477	53,2	191	38,8	6,77	34,0
bqw- 4	186	408	43,5	153	32,6	5,68	30,6
bqw- 5	175	357	40,4	144	32,0	5,74	29,6
bqw- 6	762	1450	172,0	598	116,0	11,40	90,9
bqw- 8	171	358	38,0	143	31,4	6,85	25,5
bqw- 11	835	1480	174,0	598	116,0	15,90	85,8
bqw- 12-1	313	667	73,4	267	54,5	7,99	41,2
Br 1-2	535	1170	120,0	450	85,6	12,10	73,8
Br 1-3	569	1240	129,0	477	93,9	12,70	75,3
Br 1-6	596	1190	132,0	494	95,4	12,70	77,7
Br 2-1	684	1530	156,0	579	109,0	15,40	83,6
Br 2-2	358	776	84,6	317	64,4	7,21	55,5
Br 3-10	802	1760	180,0	666	134,0	20,00	109,0
Br 3-11	388	846	89,9	334	67,6	8,09	60,0
Br 3-2	499	1110	114,0	428	85,2	14,40	70,2
Br 3-3	822	1730	188,0	706	137,0	9,24	112,0
Br 3-4	1020	2120	219,0	798	147,0	20,60	115,0
Br 3-5	147	288	36,0	133	27,3	4,88	27,2
Brom 1-2	150	387	51,5	226	74,0	5,25	93,6
Flitt 1-2	136	299	36,1	148	43,4	5,48	55,3
Flitt 1-4	720	1590	157,0	603	121,0	25,50	104,0
Hamm 1-1	118	223	27,6	108	24,8	4,72	29,0
Kath 1-1	702	1500	161,0	604	134,0	23,20	126,0
Kath 3	209	437	47,5	191	47,2	9,35	55,9
Oberth 7	71,1	150	16,1	60,6	14,2	3,79	18,9
Putz 1-3	742	1660	167,0	624	122,0	17,50	107,0
Putz 1-5	294	572	60,6	229	49,7	15,40	59,8
Unt 1-1	289	634	65,7	245	48,1	7,40	44,7
Unt 1-3	207	442	47,1	176	35,8	5,67	34,8
Wart 1-3	316	536	81,7	322	75,7	13,30	89,4
Wart 1-4	261	563	58,8	217	44,6	10,70	37,8
Wart 1-5	209	472	47,9	179	35,8	8,57	30,6
Weid 1-1	372	826	84,5	316	65,8	12,10	61,8
Wart 1-2	339	693	87,4	322	60,6	9,97	44,1
Weid 1-4	369	863	95,6	356	70,6	13,10	55,8
Weid 1-5	203	468	50,9	196	39,5	9,89	36,4
Mittelwert	411,6	881	95,9	356	71,8	11,06	62,6
Max.	1900	4130	461,0	1730	334,0	39,70	271,0
Min.	71,1	150	16,1	60,6	14,2	2,95	15,5

Proben	Tb (ppm)	Dy (ppm)	Ho (ppm)	Er (ppm)	Tm (ppm)	Yb (ppm)	Lu (ppm)
Br 1-1	6,7	41,9	8,0	22,8	3,40	22,9	3,7
Br 1-4	20,0	130,0	27,4	83,8	13,10	87,9	14,0
Br 1-5	12,0	76,1	15,4	46,1	7,12	47,3	7,57
Br 2-3	15,9	91,3	18,5	60,6	10,50	82,0	16,1
Br 3-1	7,6	46,9	10,8	40,1	7,69	63,1	13,4
Br 3-6	2,8	21,5	5,2	19,0	3,44	27,3	5,04
Br 3-7	5,7	41,1	9,1	29,0	4,81	34,8	5,93
Br 3-8	5,0	27,2	5,3	16,4	2,58	19,2	3,56
Br 3-9	3,9	36,8	10,1	35,7	6,32	46,0	8,01
Wart 1-1	7,2	52,9	14,3	57,7	11,70	104,0	22,7
Osch 10	11,3	71,5	16,1	54,8	10,10	83,0	16,2
Osch 12	10,7	77,1	19,5	75,0	14,70	126,0	26,0
Unt 1-2	14,5	104,0	26,6	103,0	20,40	182,0	39,1
Unt 1-4	2,4	15,4	3,5	12,2	2,21	18,3	3,75
Putz 1-1	9,2	68,8	18,8	76,8	15,80	139,0	29,7
Putz 1-4	7,6	51,3	12,1	42,3	7,86	65,1	13,3
Kräh 1-1	5,7	41,7	9,7	31,9	5,39	40,3	7,3
Brom 1-1	8,6	63,8	16,9	66,2	13,40	118,0	25,3
Bqw 12 -2	12,2	91,0	24,9	100,0	20,40	181,0	38,0
Flitt 1-1	10,8	78,5	20,2	76,0	15,10	130,0	26,7
Flitt 1-3	10,0	77,3	21,5	85,8	17,70	156,0	33,4
Weid 1-3	41,8	261,0	55,3	176,0	28,80	213,0	39,0
cbgl- 1	5,0	38,9	10,4	41,1	8,31	70,9	15,1
cbgl- 2	9,7	70,6	16,9	63,3	11,80	95,4	19,4
bqw- 3	6,2	43,4	9,0	26,3	4,02	26,4	4,26
bqw- 4	6,4	54,5	15,5	64,3	13,40	114,0	23,2
bqw- 5	5,8	45,8	12,7	52,5	11,00	95,8	20,8
bqw- 6	15,8	115,0	29,7	117,0	23,50	204,0	41,0
bqw- 8	3,8	22,4	4,4	13,4	2,10	15,5	2,85
bqw- 11	14,2	97,7	23,8	92,9	18,70	160,0	31,9
bqw- 12-1	6,6	43,9	10,7	40,7	7,90	65,4	13,6
Br 1-2	12,1	74,1	16,8	60,5	11,30	96,2	19,0
Br 1-3	11,5	65,0	13,3	43,6	7,42	58,3	10,9
Br 1-6	12,0	70,4	13,6	40,1	5,98	40,7	6,27
Br 2-1	13,0	78,5	18,1	68,1	13,20	112,0	23,4
Br 2-2	9,3	61,2	14,4	53,5	9,86	85,0	16,8
Br 3-10	16,7	98,8	21,9	77,7	14,10	118,0	23,3
Br 3-11	10,1	65,0	15,1	54,6	10,40	87,5	17,6
Br 3-2	10,2	54,7	11,1	37,1	6,50	51,6	9,91
Br 3-3	17,4	113,0	28,1	112,0	22,40	194,0	41,2
Br 3-4	17,6	105,0	23,9	89,1	16,70	143,0	29,0
Br 3-5	6,4	52,5	12,3	40,7	7,13	53,9	9,27
Brom 1-2	20,0	137,0	31,3	102,0	16,90	117,0	18,1
Flitt 1-2	11,8	82,5	20,3	72,3	13,60	109,0	21,4
Flitt 1-4	16,8	99,1	21,8	75,7	13,80	115,0	22,5
Hamm 1-1	5,9	42,2	9,4	30,4	4,74	33,9	5,7
Kath 1-1	18,8	94,6	17,9	58,2	10,00	81,7	14,9
Kath 3	10,3	67,7	14,5	46,0	7,52	55,7	9,4
Oberth 7	4,2	30,2	7,2	24,3	4,24	32,9	6,07
Putz 1-3	17,7	110,0	26,5	95,7	17,90	148,0	29,4
Putz 1-5	12,2	89,3	22,2	78,3	13,30	98,3	17,0
Unt 1-1	8,5	68,0	19,9	84,5	18,00	163,0	35,0
Unt 1-3	6,5	45,1	11,5	45,7	9,32	83,9	17,4
Wart 1-3	19,4	143,0	36,5	129,0	23,20	179,0	32,7
Wart 1-4	6,9	49,5	13,1	52,8	10,80	95,4	20,3
Wart 1-5	5,9	43,3	11,6	46,9	9,66	86,3	18,3
Weid 1-1	11,4	83,4	22,3	85,9	16,60	142,0	28,2
Wart 1-2	7,9	56,4	15,0	61,4	12,90	116,0	24,3
Weid 1-4	10,0	70,0	18,1	71,1	14,20	128,0	26,6
Weid 1-5	6,7	46,3	11,4	42,4	8,05	67,7	13,8
Mittelwert	10,7	71,0	17,0	61,7	11,60	95,4	18,9
Max.	41,8	261,0	55,3	176,0	28,80	213,0	41,2
Min.	2,4	15,4	3,5	12,2	2,10	15,5	2,85