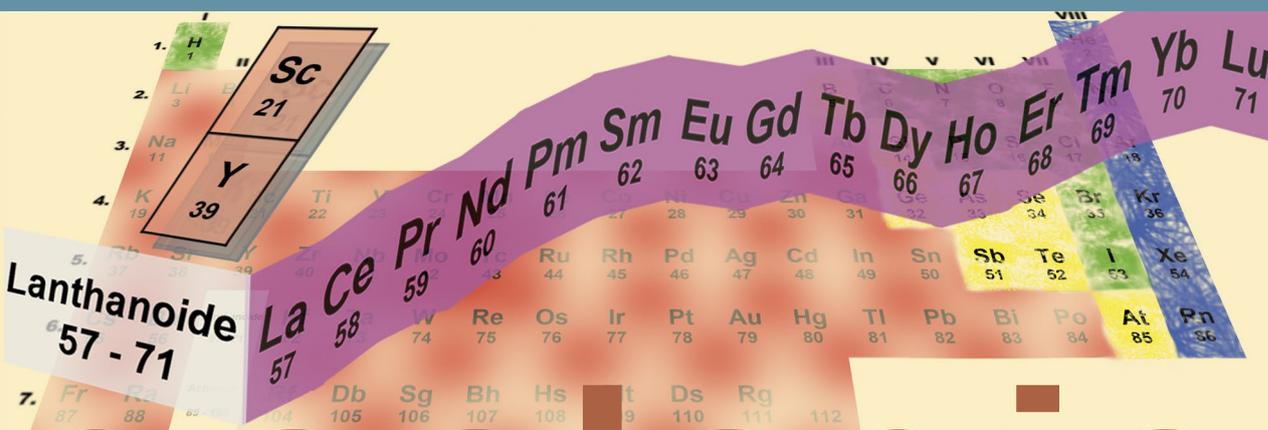




SEE als Beifang sedimentärer Lagerstätten Südbayerns



Lanthanoide
57 - 71

geologie



SEE als Beifang sedimentärer Lagerstätten Südbayerns

Teilprojekt III

Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente

Bearbeiter:

M. Decker, S. Becker, E. Linhardt, A. Gebhardt, K. Poschlod

87 Seiten, 60 Abbildungen, 31 Tabellen, Augsburg 2016

Impressum

SEE als Beifang sedimentärer Lagerstätten Südbayerns
Teilprojekt III, 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

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 105, Mareike Decker, Sindy Becker, Elmar Linhardt, Anja Gebhardt, Klaus Poschlod

Redaktion:

LfU, Referat 105, Anja Gebhardt, Elmar Linhardt, Georg Büttner

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Stand:

Juni 2016

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 ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, 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 Verwertung – auch von Teilen – wird die Angabe der Quelle und Übersendung eines Belegexemplars erbeten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Druckschrift 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. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir 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	Bisheriger Kenntnisstand zu Selten Erd Elementen	6
2.3	Geologische Übersicht der Erkundungsgebiete	7
2.3.1	Tertiäre Molasseablagerungen	7
2.3.2	Quartäre Gletscherablagerungen im Voralpenraum	12
2.4	Petrographische und lithologische Beschreibung der untersuchten Sandrohstoffe	15
2.4.1	Molasseablagerungen	16
2.4.2	Quartär	20
2.5	Detailbetrachtung zur aktuellen Lagerstätten-Situation	23
3	Durchgeführte Arbeiten	24
3.1	Geländebefahrung und Probennahme	24
3.2	Auf- und Vorbereitung der Proben, Sieb- und Schlämmanalytik, Dichtentrennung	25
3.3	Mineralogie und Geochemie	27
3.4	Auswertung der Analytik	27
4	Ergebnisse	29
4.1	Lithostratigraphische Detailbetrachtung hinsichtlich der Schwermineralogie und Geochemie	29
4.2	Molasse	31
4.3	Quartär	36
5	Rohstoffe und Wirtschaftlichkeit	43
5.1	Vergleich der stratigraphischen Einheiten und Auswertung	43
5.1.1	Auswertung Molasse	43
5.1.2	Auswertung Quartär	43
5.1.3	Vergleich Gesamtbayern	43
5.2	Positiv-Kriterien der Beifang-Gewinnung aus vorhandenen Abbaustellen	48
5.3	Negativ-Kriterien für die Beifang-Gewinnung	49
5.4	Gesamtabwägung der Wirtschaftlichkeit	49
5.5	Lagerstättenpotenzial aller Gewinnungsstellen	52
5.6	Schwermineralkonzentrate als SEE-Rohstoffe – mineralogische Bewertung	53
5.7	Zusätzliches Potenzial der abgetrennten Schwermineralkonzentrate	53
5.8	Anlagentechnik	54
6	Prognose	55
7	Zusammenfassung	56
	Literatur	57
	Verzeichnis der Abbildungen	60
	Verzeichnis der Tabellen	63

Erklärungen zur Statistik	66
Anhang A	67
Anhang B	81
Anhang C	84
Anhang D	85
Anhang E	86

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 Rohstoffverknappung auf den Weltmärkten führte gezwungenermaßen zu einem Umdenken bei der Suche nach geeigneteren Lagerstätten in langfristig stabilen Förderländern bzw. auch zu 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 soll diese Untersuchung die Grundlage bilden und zeigen, wie durch nachhaltigen Umgang mit bayerischen Lagerstätten bislang nicht berücksichtigte, eher störende Beimengungen der Sand- und Kiesvorkommen wirtschaftlich mitgenutzt werden können und ob dadurch künftig die Abhängigkeit von politisch instabilen Rohstoffversorgern insgesamt gesenkt werden kann.

Ursprüngliches Ziel dieser Untersuchungskampagne war es, grundlegende Informationen über die Größenordnung von Schwermineral-Anteilen in Sand- und Kiesvorkommen des Tertiärs und des Quartärs, ihre mineralogische Zusammensetzung und Gehalte an verwertbaren Metallen (vor allem SEE) der in den Untersuchungsräumen im Abbau stehenden Sand- und Kiesvorkommen zu erhalten, und über mineralogisch-rohstoffkundliche bzw. geochemische Untersuchungen deren Nutzbarkeit zu beurteilen.

Im seit 2011 laufenden Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente (SEE) wurden bisher drei Teilprojekte SEE I bis SEE III bearbeitet. Die Ergebnisse aus dem Teilprojekt I beziehen sich auf das Untersuchungsgebiet der mesozoischen Sedimentgesteine Nordbayerns und sind veröffentlicht in der Studie SEE als Beifang sedimentärer Lagerstätten (LINHARDT und GEBHARDT 2014).

Für den vorliegenden Bericht wurden speziell die Sedimentgesteine Südbayerns untersucht.

Insgesamt soll mit diesem Teil-Projekt „SEE III“ das Vorhandensein und die Größenordnung des rohstofflichen SEE-Potenzials von Schwermineralkonzentraten erarbeitet werden, die bei der großtechnischen Gewinnung und Aufbereitung von Sand und Kies in vorhandenen Gewinnungsbetrieben als Beifang anfallen und potenziell gewinn- bzw. vermarktbar sind.

2 Sachstand

2.1 Projektanlass und Projektinhalt

Die Steine und Erden-Industrie mit all ihren verschiedenen Abbauprodukten stellt einen großen Wirtschaftsfaktor Bayerns dar. Speziell im Süden Bayerns werden viele Bauprojekte mit Material aus lokalen Sand- und Kiesabbauen realisiert. Hier ist der Kies, der für vielfältige Verwendungsmöglichkeiten im Bausektor, als Zuschlagsstoff für Beton, als Frostschutz und im Straßen- und Wegebau verwendet wird, der unternehmerische Schwerpunkt der Abbautätigkeit.

Die Rohstoffe werden oft in großtechnischen, teilweise sehr spezialisierten Anlagen aufbereitet, gewaschen, nach Korngrößen getrennt, sortiert um dadurch – besser – vermarktbarere Korngemische herzustellen.

Im Zuge dieser Aufbereitung anfallende, nicht direkt verwertbare, störende oder auch bislang nicht bekannte bzw. nicht untersuchte Stoffe werden dabei abgetrennt und gehen überwiegend ungenutzt als Aufbereitungsabgänge auf Halden, in Schlammteiche, in Absetzbecken oder als Verfüllung in die Abbaue zurück.

Mit Sondermitteln und im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie wurden überwiegend in Abbau befindliche Gewinnungsstellen Südbayerns untersucht. Durch das Referat „Wirtschaftsgeologie, Bodenschätze“ wurden dazu die Abbaue mittels Schlitz- und Haufwerksbeprobung umfassend dokumentiert. Von 126 gewonnenen Proben wurde mittels Sieb- und Schlämmanalytik sowie mittels Dichtentrennung die Schwerminerale quantitativ abgetrennt, ihre verwertbaren Gehalte unter besonderer Berücksichtigung der Selten Erd Elemente bestimmt und schließlich mit mineralogisch-geochemischen Analysendaten 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 Bisheriger Kenntnisstand zu Selten Erd Elementen

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) gelten aus geochemischer Sicht im allgemeinen als immobil und sind weitgehend unempfindlich gegenüber chemischen Stoffmobilisationen, wie sie beispielsweise durch besondere geologische Prozesse (Diagenese, Verwitterung, Metamorphose) hervorgerufen werden. Sie treten 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 in plutonisch-magmatischen Gesteinskörpern. Als Seltenerdelement-Fänger in diesem geologischen Bildungsmilieu gelten daneben auch die (Schwer-) Minerale Apatit, Epidot (Allanit), Granat und Zirkon (DEER et al. 1980). Viele der spezifisch schweren SEE-Minerale sind zudem mechanisch stabil und damit weitgehend verwitterungsresistent. Sie können daher unter Umständen mehrere gesteinsbildende Zyklen (von Verwitterung über Transport zu Sedimentation) überstehen und werden im sedimentären

Umfeld als sogenannte Schwerminerale an geeigneten geologischen Stellen (Seifenlagerstätten; marin, fluviatil oder äolisch) konzentriert.

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 anderem enthalten folgende für den Endverbraucher wichtige Produkte Selten Erd Elemente: Fernsehgeräte, Handies, Personal Computer, DVD's, Digitalkameras und Kernspintomographen. Wegen ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeiten im Bereich der sogenannten Grünen Technologien sind diese „High-Tech-Grundstoffe“ zudem Voraussetzung für moderne Automobile (Hybrid- und Elektrofahrzeuge: Magnete, Abgasreinigung, Brennstoffzellen), für Anwendungen der Energie-Effizienz (Kühltechnologien, Leuchtstoffe) sowie für Windenergieanlagen (Generatoren: leistungsstarke Permanent-Magnete).

Neben diesen vielfachen technischen Verwendungen prüft China seit Jahren in mehreren Studien und Praxistests auch die Einsatzmöglichkeiten der Selten Erd Elemente als Wachstumsförderer (Futtermittelzusätze) sowie als Düngemittel. Neuere wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Themenbereich werden seit 2000 auch an der LMU München durchgeführt (KNEBEL 2004; SCHÖNE 2009).

Es wurden im Laufe der Zeit schon mehrere Arbeiten zu Schwermineralinhalten des Bayerischen Molassebeckens publiziert (z. B. GRIMM 1965; HEROLD 1970; DOPPLER 1989; UNGER 1989), spezielle Untersuchungen im Hinblick auf ein möglicherweise rohstofflich nutzbares Potenzial wurden jedoch bislang nicht durchgeführt.

Erkenntnisse zur SEE-Führung nordbayerischer Sedimentgesteine im Rahmen des abgeschlossenen Teilprojektes SEE I (LINHARDT und GEBHARDT 2014) gaben schließlich Anlass die rohstoffgeologische Untersuchung auf südbayerische Sedimentgesteine auszuweiten und als Teilprojekt SEE III zu bearbeiten.

2.3 Geologische Übersicht der Erkundungsgebiete

2.3.1 Tertiäre Molasseablagerungen

Bei der Entstehung der Alpen bildete sich in deren nördlichem Vorland eine langgezogene Senke, die als „Molassebecken“ bezeichnet wird. Das Becken erstreckt sich mit einer Gesamtlänge von ca. 1.000 km beginnend südwestlich des Genfer Sees über das südliche Alpenvorland bis zum Ostende der Alpen. Seine durchschnittliche Breite beträgt ca. 130 km, die Gesamtfläche ca. 27.150 km² (LEMCKE 1988). Der bayerisch-württembergische Teil des Beckens keilt nach Norden bei Ulm und Regensburg aus, im Osten wird es durch das Kristallin der Böhmisches Masse und im Süden durch den morphologischen Alpenkörper begrenzt (SCHWERD et al. 1996). Geologisch kann das Molassebecken von Nord nach Süd in drei Teile gegliedert werden: die flach lagernde Vorlandmolasse, deren tektonisch aufgerichteten Südrand (aufgerichtete Molasse) und die in die Alpenfaltung mit einbezogene Faltenmolasse.

Im Obereozän, vor ca. 40 Millionen Jahre, entstand das Molassebecken als Folge der Kollision der afrikanisch-adriatischen und der europäischen Kontinentalplatten. Durch den stetig nach Norden vorrückenden alpinen Deckenstapel und die daraus resultierende wachsende Auflast wurde die vorgelagerte europäische Kruste flexurartig nach unten gebogen und das charakteristische, keilförmige Aussehen des Vorlandbeckens entstand. Im Zeitraum von Obereozän bis Obermiozän (ca. 30 Millionen Jahre) verengte sich so die zwischen Afrika und Europa befindliche Meeresfläche der Tethys und ein

abgetrennter Teilbereich, die Paratethys, entstand, die zeitweise über das Pannonische und das Rhönebecken mit der Tethys verbunden war. Die Ablagerungen des gesamten Molassebeckens befinden sich in diesem Verbreitungsgebiet der Paratethys. Wechselhafte Ablagerungsbedingungen erzeugten ein kompliziertes System aus miteinander verzahnten Sedimentkörpern, bestehend aus tonigen, schluffigen und sandigen Ablagerungen, die mit Geröllschüttungen wechsellagern. Im westlichen Teil der Molasse ist in zwei Zyklen ein Wechsel zwischen marinen und terrestrischen Verhältnissen nachweisbar, der sich auch in der Ausbildung der Sedimente widerspiegelt; im östlichen Teil ist jedoch nur ein Zyklus zu verzeichnen (SCHWERD et al. 1996). Eine grobe Einteilung der Molasse kann in Abhängigkeit von Zeit und Raum in folgende Bereiche vorgenommen werden: Untere Meeresmolasse (UMM), Untere Brackwassermolasse (UBM), Untere Süßwassermolasse (USM), Obere Meeresmolasse (OMM), Obere Brackwassermolasse (OBM) und Obere Süßwassermolasse (OSM) (Abb. 1).

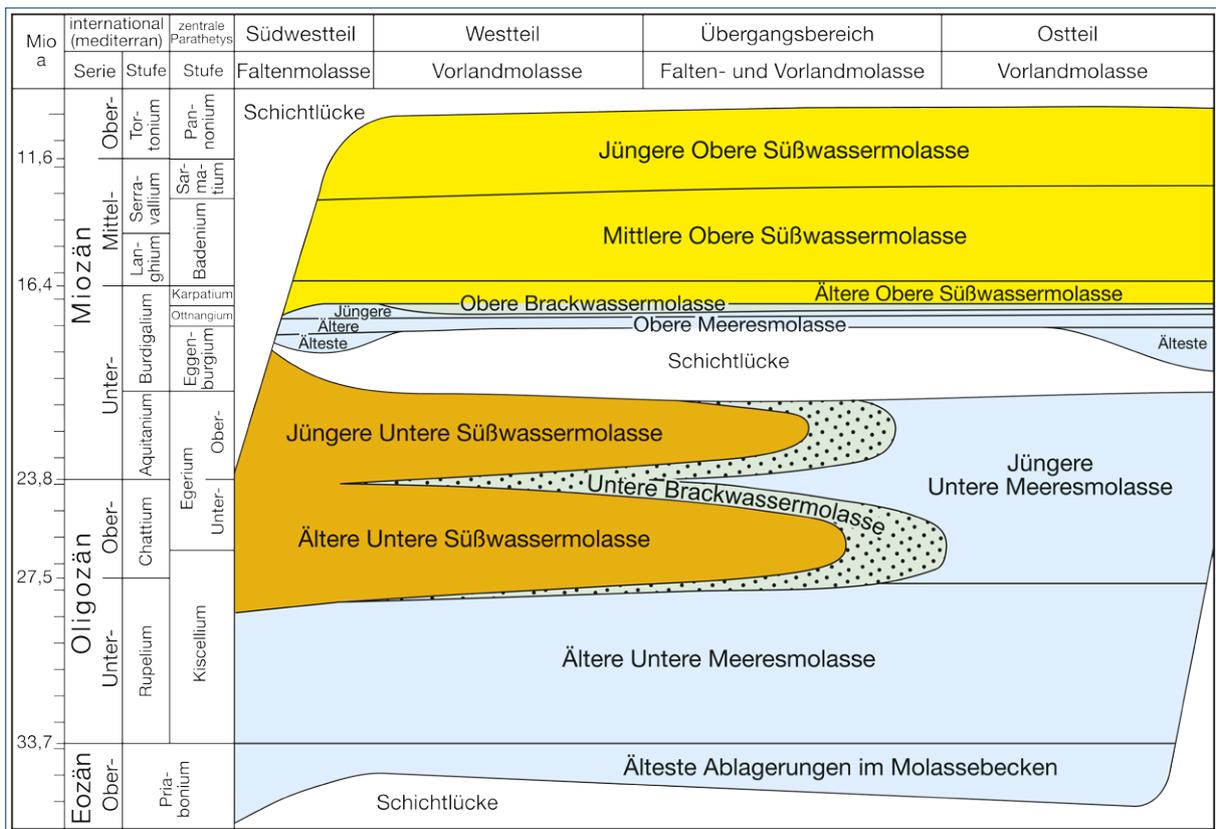


Abb. 1: Vereinfachte stratigraphische Übersicht der Molasse-Ablagerungen im südbayerischen Raum (DOPPLER et al. 2004).

Das bayerische Molassebecken entspricht einem typischen orogenen Vorlandbecken, dessen Sedimentfüllung von S (bis zu 5.000 m mächtig) nach N auskeilt (Abb. 1). Im Laufe der Entstehungsgeschichte fand eine mehrmalige Umkehr der Entwässerungsrichtung statt, die die zeitlich und räumlich unterschiedliche tektonische Deckenstapelung in den Ost- und Westalpen zur Ursache hat. Dadurch änderte sich die Lage der Schuttlieferzonen (SCHWERD et al. 1996). Des Weiteren kann eine Gliederung in vier große Faziesbereiche getroffen werden: der erste besteht aus UMM und USM, der zweite setzt sich aus OMM und OSM zusammen (Abb. 1, Abb. 2). Weiterhin finden sich im zentralen

Bereich des Beckens zwei brackische Ausbildungen, zum einen zwischen UMM und USM und zum anderen zwischen OMM und OSM, die einen drastischen Wechsel der Umweltbedingungen widerspiegeln (KUHLEMANN und KEMPF 2002; DOPPLER 1989).

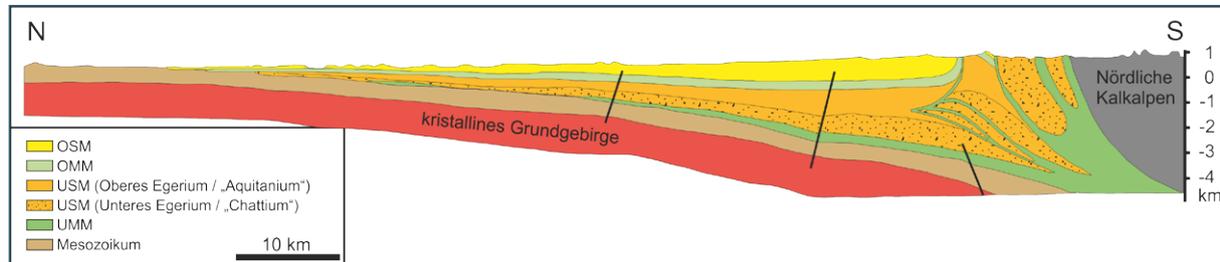


Abb. 2: Vereinfachtes Profil des westlichen bayerischen Molassebeckens von N nach S (verändert nach KUHLEMANN und KEMPF 2002 und dem BAYERISCHEN GEOLOGISCHEN LANDESAMT 1996).

Bereits im Eozän wurden die Grundlagen der Beckenentwicklung gelegt. Die schon existierenden Karbonate des Weißjura („Malm“) verwitterten und bildeten Karststrukturen. Die anschließende Transgression der Tethys über W nach N, gekoppelt mit einem Absinken Ostbayerns, führte zu turbiditartigen Flyschablagerungen (LEMCKE 1988). Im Unteren Oligozän begann mit einem kurzen Meeresvorstoß die Ablagerung der UMM und somit die eigentliche Beckenentwicklung. Zur Ablagerung kamen marine Tonmergel, später, durch die Veränderung der Transgressionsrichtungen und -zyklen, auch Sande. Bereits im Oberoligozän wurde dieses Meer durch von W kommende Flusssysteme nach E zurückgedrängt. Diese Untere Meeresmolasse verzahnt sich im Westen mit Sedimenten der Unteren Süßwassermolasse (Abb. 1), die sich hauptsächlich aus Flachmeersanden, grobklastischen Sedimenten der Schuttfächer und teilweise auch Kohleablagerungen (Cyrenenschichten) zusammensetzt (SCHWERD et al. 1996).

Tiefmarine Turbiditsysteme führen zu erhöhter Sedimentationsrate die mit einer Verflachung des Meeres einhergeht, was sich im Stopp der Ablagerung flyschartiger Sedimente und einer damit verbundene Gradierung widerspiegelt. Diese erhöhte Ablagerungsrate lässt sich auf die asymmetrische Hebung des Alpenkörpers und der damit verbundenen erhöhten Erosionsrate zurückführen. Aus diesem Grund fand ein Rückzug der Küstenlinie von W nach E statt, was einen E-W gerichteten Sedimenttransport zur Folge hat und damit einen Altersunterschied der Sedimente (E jünger als W) bedingt (KUHLEMANN und KEMPF 2002). Im Küstenbereich des Molassemeeres entstanden so genannte Pechkohlen, die bis in die jüngste Vergangenheit wirtschaftlich genutzt wurden (DOPPLER et al. 2004). Im oberen Untermiozän, vor ca. 20 Millionen Jahre fand eine erneute Transgression des Meeres statt, sodass die marinen Bedingungen, die gegen Ende der Ablagerung der UMM eher terrestrisch wurden, wieder hergestellt waren und die Sedimente der OMM zur Ablagerung kamen. Sande treten mit Tonen und Schluffen in Wechsellagerung, die eine generelle tidale Beeinflussung zeigen (KUHLEMANN und KEMPF 2002). Im Verlauf des Ottnangiums weitete sich dieses Meer aus, um schließlich im Oberen Ottnangium zu verlanden und brackische Verhältnisse zu schaffen (OBM). Im Karpatium, vor ca. 17 Millionen Jahren, setzten sich im süddeutschen Molassebecken mit der Sedimentation der OSM endgültig limnisch-fluviatile Ablagerungsbedingungen durch, deren Sedimente von E nach W jünger werden (KUHLEMANN und KEMPF 2002). Im südlichen Teil des Molassebeckens sind die Sedimente der OSM nicht untergliederbar, wohingegen im nördlichen Bereich eine Ost-West Faziesverzahnung gut aufgeschlossen ist (Abb. 3). Tektonische Prozesse führten zur Schwellenbildung in Österreich und somit zu einer Gefälleumkehr nach W (Abb. 4). Ein beckenachiales

Stromsystem bildete sich aus, welches durch geringe Durchflussraten zu Beginn nur feinkörnige Sedimente und humose Tone zur Ablagerung brachte. Im Zeitraum von Karpatium bis Sarmatium kam es zu einem zunehmend größer werdenden Gefälle nach W hin, was sich in immer transportkräftigeren Strömen widerspiegelte und somit zur Sedimentation mittel- bis grobkörniger sandiger Kiese (Nördliche Vollsotter/Landshuter Schotter) führte. Zeitgleich wurden mehrfach vulkanische Tuffe und Aschen des Karpatenbogens ins süddeutsche Molassebecken eingeweht (UNGER et al. 1990; UNGER und NIEMEYER 1985). Diese Ablagerungen wurden häufig remobilisiert und in Senken zusammengeschwemmt. Durch günstige klimatische Bedingungen fand ein Umwandlungsprozess dieser Tuffe zu Bentonit statt. Etwa zum gleichen Zeitpunkt der Einwehung fand vor ca. 14,5–15 Millionen Jahren der Impact des Riesmeteoriten statt. Die Auswurfmassen der Malmkalk-Bruchstücke (u. a. „Reutersche Blöcke“) treten vorrangig im westlichen Teil des Beckens auf und werden dort zum charakteristischen Brockhorizont zusammengefasst, der, neben den Bentonitablagerungen, eine der wenigen korrelierbaren Zeitmarken innerhalb der OSM ist (SCHWERD et al. 1996).

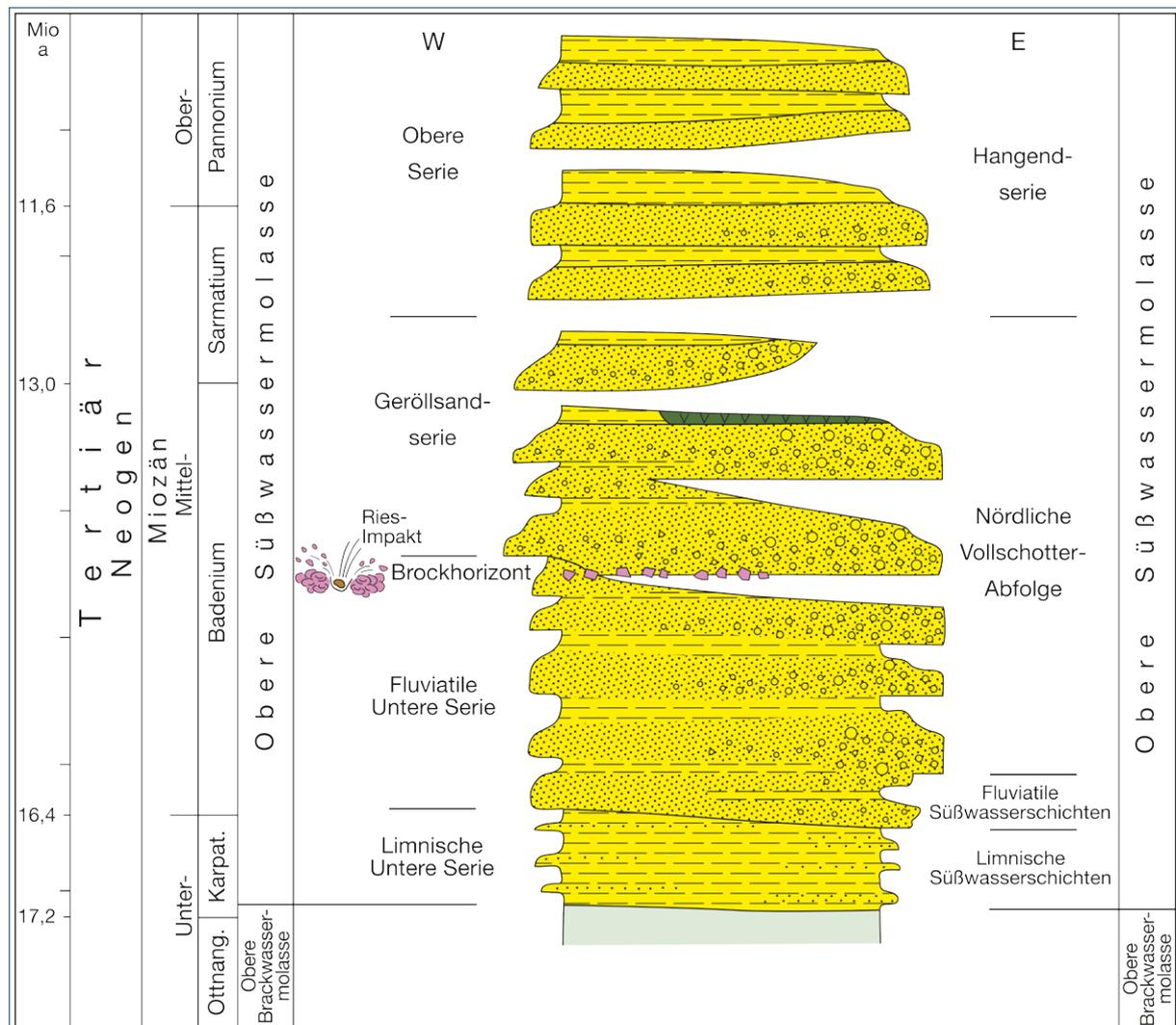


Abb. 3: Einteilung der Oberen Süßwassermolasse Bayerns (DOPPLER et al. 2004).

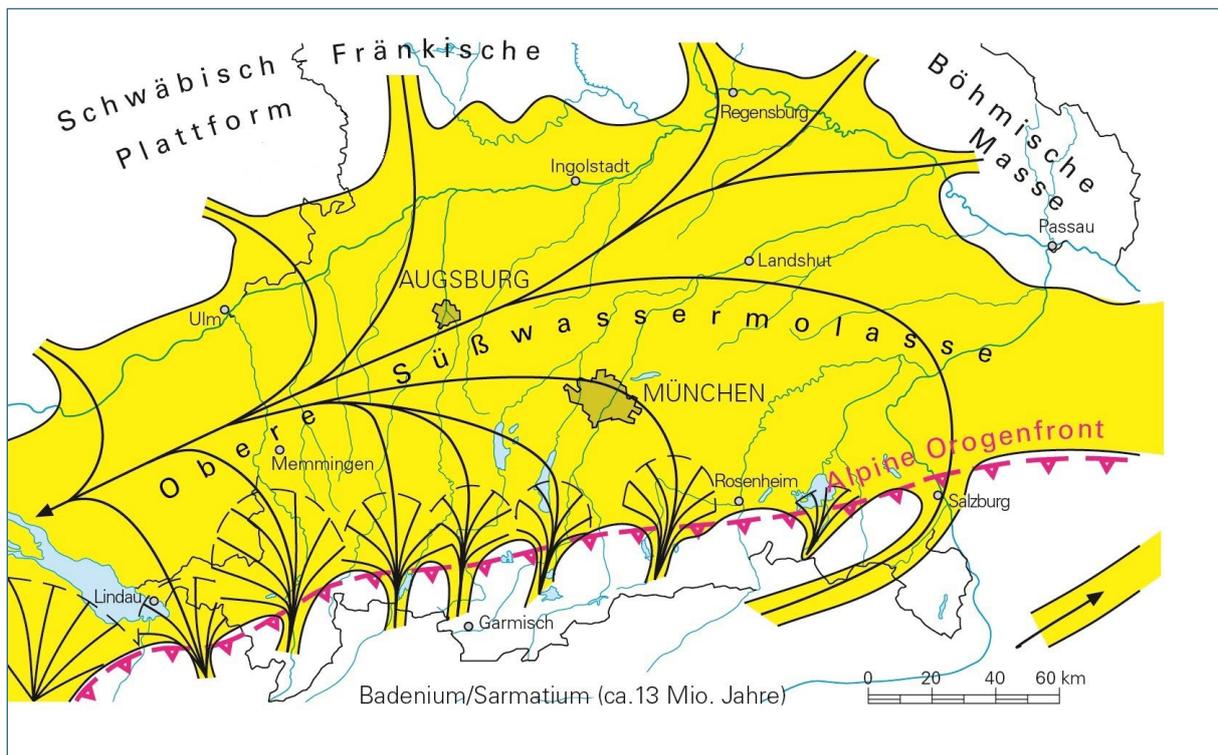


Abb. 4: Sedimenttransportrichtungen und Entwässerungsrichtung zur Zeit der OSM (Badenium/Sarmatium), gelbe Flächen spiegeln die durch OSM bedeckte Fläche wider (DOPPLER et al. 2004).

Anschließende langanhaltende Erosionsvorgänge bewirkten eine intensive Verwitterung des Nördlichen Vollsotter (Kapitel 2.4.1.3) zum Quarzrestschotter (Kapitel 2.4.1.5). In diesen Zeitraum reduzierter Sedimentationstätigkeit fällt die fluviatile Ausräumung einer Süd-Nord gerichteten, bis 80 m tiefen Rinne, die als Peracher Rinne bezeichnet wird. Diese wurde während des Oberen Badenium durch alpine Grottschotter gefüllt, die als Südlicher Vollsotter oder Peracher Schotter bezeichnet werden. Nach Auffüllung der Peracher Rinne wurden nur noch Feinsedimente, Fein- bis Mittelkiese und Sande bei deutlich erweitertem Sedimentationsgebiet und dabei reduzierter Schüttungsenergie abgelagert, die eine starke fazielle Verzahnung zeigen und als Hangendserie bezeichnet werden (Kapitel 2.4.1). Nach W findet eine Verfeinerung des Kornspektrums statt. Diese Sedimente werden Geröllsandserie oder Obere Serie genannt. Ab dem Sarmatium (vor ca. 13 Millionen Jahren) traten vermehrt Schüttungen mit häufig auftretenden und großen Feldspäten aus Richtung des Moldanubikums auf. Diese Moldanubische Serie verzahnt sich mit alpinen Sedimenten der Hangendserie (UNGER 1989). In der generellen Korngrößenabnahme gegenüber den liegenden Vollsottern kündigt sich erneut eine Gefälleumkehr im Molassebecken an.

Die Ablagerungen der OSM zeigen aufgrund ihres limnisch-fluviatilen Charakters eine komplexe fazielle Verzahnung (Abb. 3). Die Zuordnung einzelner Aufschlüsse zu den aufgeführten lithostratigraphischen Einheiten gelingt oft nur bei Kenntnis des regionalen Umfeldes. Umso größer wird die Bedeutung von Brockhorizont und Bentoniten, die eine absolute Altersbestimmung ermöglichen. Mögliche mächtige Ablagerungen ab dem Obermiozän fielen der Verwitterung im Pliozän und Quartär zum Opfer. Tektonische Prozesse im Untergrund des Molassebeckens führten im Pliozän allmählich zu einer Gefälleumkehr in Richtung E. Die Ur-Donau entwickelte sich am nördlichen Rand als neuer Vorfluter der Flüsse des Alpenvorlandes, der Alb und der Böhmisches Masse.

2.3.2 Quartäre Gletscherablagerungen im Voralpenraum

Das Quartär ist das jüngste System der Erdgeschichte und begann vor ca. 2,6 Mio Jahren mit dem Pleistozän (Abb. 5). In diesen Zeitabschnitt, der bis vor ca. 11.500 Jahren andauerte, fallen alle bekannten Eiszeiten des Süddeutschen Raumes (DOPPLER et al. 2011). Extreme Klimawechsel kennzeichnen dieses System, in dem Kaltzeiten durch Vergletscherungen und glaziale Ablagerungen und Warmzeiten durch tiefgründige Verwitterungsprozesse geprägt waren (JERZ 1996).

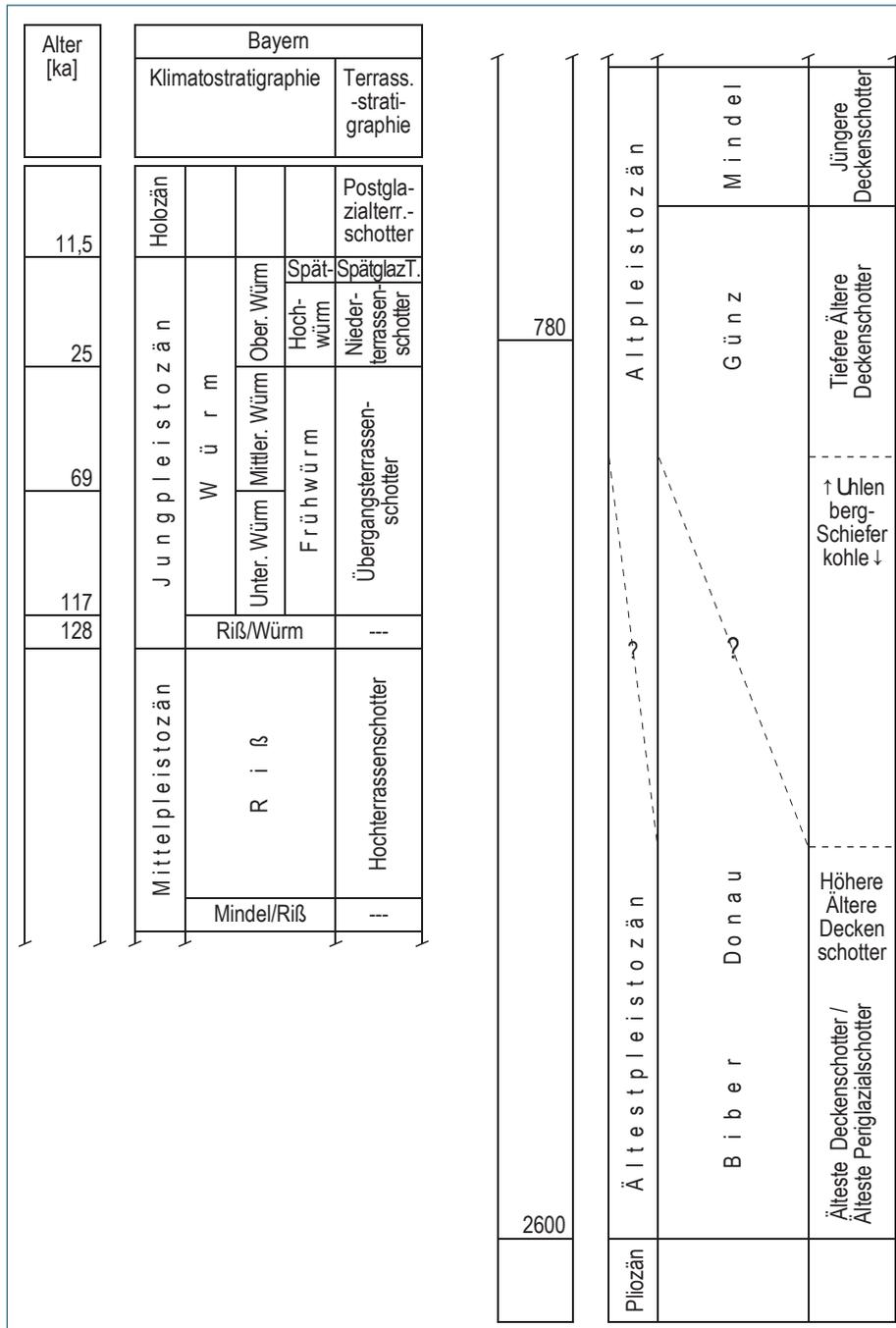


Abb. 5: Stratigraphische Gliederung des Quartärs Südbayerns (verändert nach DOPPLER et al. 2011).

2.3.2.1 Pleistozän

Das Pleistozän, welches vor etwa 2,6 Mio Jahren begann, ist in den Alpen vorrangig durch glaziale Erosionsformen, wie Kare, Becken und Täler, Rundhöcker und Gletscherschliffe zu beschreiben. Im Alpenvorland fanden im Unterschied dazu eher Auf- und Zuschüttungsprozesse statt. Glaziale Hohlformen wurden dann im späteren Verlauf durch Abschmelzschotter, Seesedimente und Torf gefüllt, sodass Moränen, Sander und Schotterebenen entstanden. Große geomorphologische Unterschiede bestehen zwischen den Becken- und Grundmoränenlandschaften im Süden Bayerns und den Schotterfeldern und -platten im Norden. Die Grenze wird von den äußeren Endmoränen gebildet, die ungefähr auch die weitesten Gletschervorstöße verschiedener Eiszeiten markieren, deren Verbreitungslinie in Abb. 6 dargestellt ist (DOPPLER et al. 2011). Jung- und Altmoränen unterscheiden sich anhand ihrer geomorphologischen Ausbildung. Würmzeitliche Jungmoränen sind im Allgemeinen an frischen Aufschüttungsformen mit Kuppen und Senken leicht zu erkennen, wohingegen Altmoränen, die durch würmzeitliche Gletschervorstöße nicht nochmals überfahren wurden, durch ihr verwaschenes, schon teilweise begradigtes Relief geprägt sind, welches schon durch periglaziale Umlagerungen beansprucht wurde. Das Material der Moränen ändert sich von den Randlagen zum zentralen Bereich, was durch eine zwar nicht immer kontinuierliche Kornverfeinerung Richtung Zentrum erkennbar ist. An Eisrandlagen („Schottermoräne“) ist die Kornzusammensetzung vorwiegend kiesig, wobei das Feinmaterial durch Schmelzwässer ausgewaschen wurde, wohingegen die Zusammensetzung in Eisrückzugslagen überwiegend kiesig-schluffig ist. Grundmoränen sind aus schluffreichem bis schluffig-tonigem Material aufgebaut. In mehreren Eiszeiten stießen die Alpengletscher bis zu einigen Zehnerkilometer weit vom Alpenrand ins Vorland vor und konnten sich fächerförmig ausbreiten. Bei deren Rückschmelzen hinterließen sie im Vorland große Flächen mit Schotterablagerungen. Das Bayerische Alpenvorland war in den Eiszeiten von sieben größeren Vorlandgletschern besetzt: von den östlichen Eisströmen des Rheingletschers und denen sich nach Westen anschließenden Illergletscher, Lech-Wertachgletscher, Isar-Loisachgletscher, Inngletscher, Chiemseegletscher und Salzachgletscher (Abb. 6).

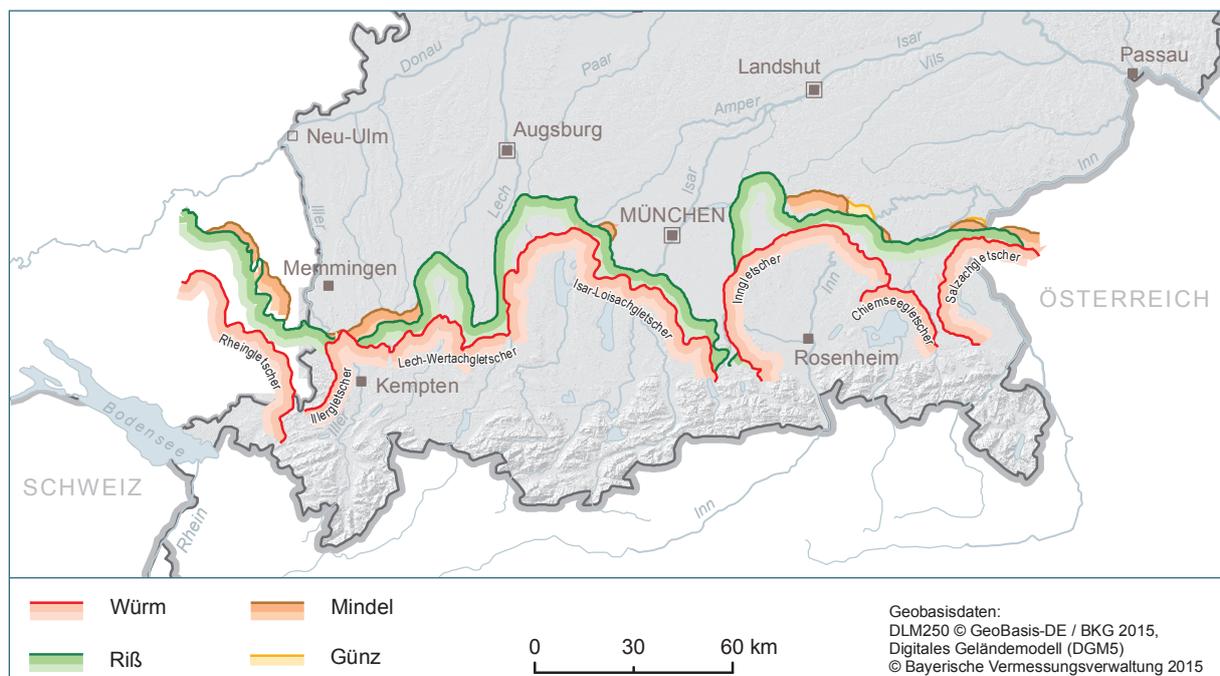


Abb. 6: Maximale Ausdehnung der verschiedenen Vorlandgletscher (verändert nach DOPPLER et al. 2011).

Die Ausdehnung dieser war zu den einzelnen Eiszeiten und regional unterschiedlich: im W erreichten sie zur Riß- und Mindelzeit und im E bereichsweise zur Günzzeit ihre größte Ausdehnung (JERZ 1995). Des Weiteren sind Seesande und -tone weit verbreitet, die auf Füllung von Gletscherbecken durch Schmelzwässer und anschließender Sedimentation zurückzuführen sind (JERZ 1996).

Der größte Teil Bayerns wurde allerdings durch periglaziale Phänomene geprägt, z. B. Permafrostböden in den Kaltzeiten und daraus resultierendes Bodenfließen in Warmzeiten. Durch die Ausblasung feinsten Sedimente kam im Alpenvorland und im Tertiären Hügelland Bayerns flächendeckend kalkreicher Löß bzw. synsedimentär entkalkter Lößlehm zur Ablagerung.

2.3.2.2 Holozän

In den vergangenen 11.500 Jahren fand eine Formung der Landschaft durch exogene Prozesse statt. Es entwickelten sich Talböden und Flussterrassen; Schotterkörper wurden umgelagert und Schwemmfächer aufgeschüttet. Speziell in Bayern kamen Flusssedimente, vor allem im Main- und Donautal zur Ablagerung. Sinterkalke wurden ausgefällt und limnische Sedimente, wie kaltzeitliche Mudde und Seekreide fanden Verbreitung. Seit der Einflussnahme des Menschen auf den Naturraum (Neolithikum) sind beispielsweise erhöhte Sedimentfrachten zu verzeichnen, was auf Rodung von Waldgebieten und somit auf vermehrte Bodenerosion zurückzuführen ist (JERZ 1996). Absolute Altersdaten werden in diesem jüngsten Zeitabschnitt der geologischen Geschichte vermehrt durch Radiokarbon-Datierung und Dendrochronologie gewonnen (JERZ 1993).

Im Laufe des Holozäns bildete sich ein vom Pleistozän abweichender Terrassentypus aus. Im Gegensatz zum pleistozänen V-Typ, der eine vornehmlich horizontale Schichtung aufweist ist der holozäne L-Typ durch laterale Sedimentanlagerung und schräg geschichtete Schotter gekennzeichnet. Die Sande und Schotter des pleistozänen Typs finden sich in weit verzweigten, breiten Flussbetten, die des holozänen Typs vorrangig in mäandrierenden Flusssystemen.

2.4 Petrographische und lithologische Beschreibung der untersuchten Sandrohstoffe

Im Rahmen der Probenahme wurden in der Molasse Bayerns insgesamt neun verschiedene stratigraphische Einheiten der OSM und sieben verschiedene Gletscherablagerungen des Quartärs im Voralpenraum beprobt (Abb. 7). Im Folgenden sollen diese Einheiten kurz beschrieben werden.



Abb. 7: Übersicht der Untersuchungsgebiete.

2.4.1 Molasseablagerungen

2.4.1.1 Obere Serie / Hangendserie

Diese Schotterfolgen sind die jüngsten der untersuchten Molasse-Einheiten. Im E sind diese Sedimente grobkörniger und werden als Hangendserie bezeichnet. Nach W werden sie feinkörniger und werden Obere Serie genannt. Als Entstehungszeitraum wird das obere Sarmatium bis oberes Pannonium angegeben. Diese Abfolge kann eine Mächtigkeit von bis zu 100 m erreichen und weist örtlich variable Zusammensetzungen auf, was auf Schüttungen aus verschiedenen Liefergebieten hinweist. Diese liegen transgressiv über den Ablagerungen des Nördlichen Vollschoeters und des Quarzrestschotter (LEMCKE 1988). Nach W nimmt die Korngröße ab (Abb. 8). Im Vergleich von Abb. 8 und Abb. 9 wird deutlich, wie sich die Korngröße von E (Abb. 9) nach W (Abb. 8) verringert und immer mehr sandige Lagen eingeschaltet sind. Petrographisch ist eine horizontal und vertikal wechselnde Folge aus sandig bis stark sandigen Kiesen, kiesigen Sanden und Sanden zu verzeichnen (Abb. 8).

Der Abbau dieser Schotter ist nur von örtlicher Bedeutung, was sich in z. T. Kleinstabbauen widerspiegelt. Die Sande werden zur Herstellung von Leichtbausteinen, Fein- und Mittelkiese werden als Zuschlagstoffe vor allem für Beton verwendet. (WEINIG et al. 1984).



Abb. 8: Kiesgrube in der Oberen Serie bei Tattenhausen (Bildbreite etwa 1,5 m).



Abb. 9: Kiesgrube in der Hangendserie bei Weidelsberg.

2.4.1.2 Geröllsandserie

Die Schichtenfolge zwischen fluviatiler Unterer Serie und Oberer Serie wird als Geröllsandserie bezeichnet, deren Geröllkomponenten selten die Mittelkiesgröße überschreiten (DOPPLER et al. 2005). Aufgrund der hohen Granatgehalte im Schwermineralspektrum stuft DOPPLER (1989) sie als westliche Fortsetzung der Schüttung des Nördlichen Vollschoeters ein. Praktisch namensgebend für die Serie sind nach DOPPLER (1989) die vermehrt im Osten auftretenden gröberen Gerölleinlagerungen in einer grob- bis mittelkörnigen, oft karbonatarmer Sandfolge (Abb. 10). In den oberflächennahen Bereichen der Geröllsandserie ist vereinzelt eine konglomeratische Ausbildung der Kiese zu erkennen (Abb. 11).

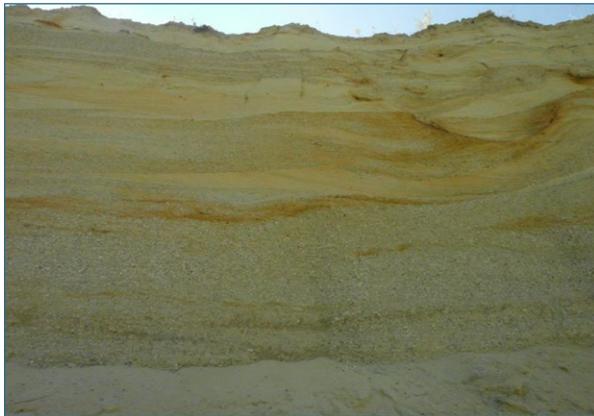


Abb. 10: Aufschluss in der Geröllsandserie nahe Derching (Bildbreite ca. 10 m).



Abb. 11: Konglomeratisch verbackene Kiese der Geröllsandserie, Kiesgrube nahe Ettelried.

2.4.1.3 Nördlicher Vollsotter / Landshuter Schotter

Der Landshuter Schotter ist eine spezielle, lokale Bezeichnung für den überregional vorkommenden Nördlichen Vollsotter. Dieses Schichtpaket wurde in weitverzweigten Flusssystemen abgelagert; die Gesamtmächtigkeit beträgt bis zu 200 m und beschränkt sich nicht nur auf Kiese, sondern beinhaltet auch zwischengeschaltete Schichten aus Sanden, Tonen und Mergeln (WEINIG et al. 1984).



Abb. 12: Erkennbare Gradierung des Nördlichen Vollsotter, Kiesgrube in der Nähe von Luberg (Bildbreite ca. 10 m).



Abb. 13: Charakteristische Sandlinsen innerhalb der Abfolge des Landshuter Schotter, Kiesgrube in der Nähe von Luberg (Bildbreite ca. 20 m).

Diese, mit bis zu 10 m Mächtigkeit belegten Zwischenschichten sind durch frühere Grundwasser-
austritte und damit in Verbindung stehenden Kalkausfällungen regional im Kreis Landshut zu Kon-
glomeraten verbacken. Der beprobte Schotter zeigt starke Schwankungen in der Kornzusammen-
setzung. Von tieferen zu höheren Schichten, genauso wie entlang der Transportrichtung nach W/
NW, findet nach WEINIG et al. (1984) eine Korngrößenabnahme statt (Abb. 12). Die Geröllanteile
bestehen durchschnittlich zu 70-80 % aus Quarz, zu 10-20 % aus Kristallin, zu ca. 10 % aus Sedi-
mentgestein und umfassen ein Größenspektrum von schwach bis stark sandig bis grobkiesig, mit
Anteilen von allen Geröllgrößen. In der Regel stellt sich der Landshuter Schotter als unverwitterter
Schotter grauer Färbung dar. Die Gewinnung erfolgt hauptsächlich in Hanglagen mittels Trockenab-
bau – die erwähnten Feinsandlinsen sind hierbei störend (Abb. 13). Häufig sind beim Abbau Nut-
zungskonflikte vor allem mit dem Natur- und Landschaftsschutz zu verzeichnen (WEINIG et al. 1984).

Der Rohstoff wird nach der Abtrennung von abschlämmbaren Bestandteilen in nahezu allen Teilen der Bauwirtschaft, vor allem im Straßenbau als ungebundene Trag- bzw. Frostschuttschicht, für Dammschüttungen und im Forst- und Gemeindefeldbau genutzt.

2.4.1.4 Haarschedler Schotter

Der Haarschedler Schotter findet sich hauptsächlich nördlich von Passau beiderseits der Itz zwischen Thyrnau und Tiefenbach und in kleineren, durch Zuflüsse zur Donau zerschnittenen Einzelarealen. Wie in heutigen Kiesgruben belegt kann von einer Mächtigkeit von ca. 20 m ausgegangen werden, die generelle Mächtigkeit ist jedoch unklar (WEINIG et al. 1984). Die Vorkommen liegen hoch über den Tälern und sind deshalb grundwasserfrei. Haarschedler Schotter besitzen einen Restschottercharakter, d.h. es sind nur noch sehr harte und verwitterungsresistente Gerölle vorhanden; somit ist ein Quarzgehalt von über 50 % keine Seltenheit. Der Rest verteilt sich auf verschiedene, meist kristalline und verwitterungsresistentere Komponenten. Es finden sich keinerlei Karbonate in der Kiesfraktion. Die Kornzusammensetzung ist sehr variabel und geht von Grobschotter mit vorherrschenden Grobkiesen (Abb. 14) und deutlichem Steinanteil bis zu stark sandigen Fein- und Mittelkiesen (Abb. 15) – Schlämmkorn ist kaum anzutreffen. Die helle, gelblich-braune Färbung lässt auf fein verteiltes Eisen schließen (Abb. 14) (WEINIG et al. 1984). Die Abb. 14 und Abb. 15 zeigen deutlich die Variabilität dieser Schotterabfolge. Zum einen den deutlichen Mittelkiesanteil im oberen Abbaubereich (Abb. 14) und zum anderen die teils mächtigen Sandablagerungen im tieferen Abbauniveau (Abb. 15).

Der Haarschedler Schotter wird durchweg im Trockenabbau gewonnen und findet in allen Bereichen des Straßenbaus und der betonverarbeitenden Industrie Verwendung (WEINIG et al. 1984).



Abb. 14: Oberer Abschnitt des Haarschedler Schotters. Grube bei Iggensbach (Bildbreite ca. 5 m).



Abb. 15: Unterer Abschnitt des Haarschedler Schotters bei Jederschwing (Bildbreite ca. 20 m).

2.4.1.5 Quarzrestschotter

Der Quarzrestschotter gehört zur Schüttung des Nördlichen Vollschoeters und stellt seine östliche Wurzelzone dar. In diesem Bereich des Molassebeckens trat eine Sedimentationspause ein, die mit einer teils tiefgründigen, durch entsprechendes Klima und säurebildende Pflanzendecken verursachten Verwitterung einherging. Im Zuge dessen wurden alle Silikat- und Karbonatgerölle angegriffen und es entstand ein Restschotter, der fast ausschließlich aus Quarzen besteht (WEINIG et al. 1984). Nach Westen geht der Quarzrestschotter allmählich in den Nördlichen Vollschoeter über. Die Mächtigkeit beträgt in der Regel 20–30 m und nimmt von Süd nach Nord ab. Durch kieselige Bindemittel sind die obersten 1–3 m häufig zu Quarzkonglomeraten verbacken. Da die Verwitterung von oben nach unten stattfand, sinkt mit steigender Tiefe der Verwitterungsgrad und die ursprünglichen

Nichtquarzgerölle liegen als toniger, kaoliniger Zersatz vor. Oberflächennah ist der Grobkiescharakter des Schotters am besten ausgebildet, dieser ändert sich mit steigender Tiefe zugunsten von Mittelkiesen mit erhöhtem Sandanteil (WEINIG et al. 1984). Charakteristisches Merkmal des Quarzrestschotters ist, neben der durch feinstverteilten Quarz-Feinsand erzeugten sehr hellen Farbe (Abb. 16), der hohe Schluffgehalt von bis zu 20 %, der ihn für die Bauindustrie unbrauchbar macht. Das Material wird hauptsächlich für den Bau von Forst- und Wirtschaftswegen verwendet. Da er sich gut verdichten und somit als wasserstauendes Material verbauen lässt, wird er zusätzlich für Dammschüttungen im Wasserbau verwendet (WEINIG et al. 1984).



Abb. 16: Aufschluss Kiesgrube nahe Kößlarn im Quarzrestschotter.

2.4.1.6 Ortenburger Schotter

Nach UNGER (1997) stellen die Ortenburger Schotter eine 25 km lange und 4–6 km breite Rinnenfüllung dar, die sich von Passau über Fürstzell und Ortenburg zum Vilstal bei Aldersbach entlang des Böhmisches Massivs ziehen. Andere Publikationen, z. B. GRIMM (1977), gehen von einer Deltaschüttung als Entstehungsszenario aus, deren basale Bereiche sich mit der OMM verzahnen. Im Hauptverbreitungsgebiet treten Mächtigkeiten von bis zu 50 m auf, meist betragen sie jedoch nur 30–40 m. Anhand des Schwermineralspektrums (82–87 % Granat) geht UNGER 1997 trotz der geographischen Nähe zum Böhmisches Massiv von einem alpinen Liefergebiet aus. Kalkalpine Komponenten liegen in sehr geringem Maß und nur im Grobsandbereich vor, was auf einen langen Transportweg schließen lässt. Als Entstehungszeitraum wird das obere Oberottnangium angegeben. Petrographisch handelt es sich bei dem hellgelb-braunen Schotter um einen mittel- bis grobsandigen Fein- bis Grobkies; die Korngrößenverteilung zeigt zwei Maxima, eines im Mittelkies- und eines im Mittelsandbereich (UNGER 1997). Die Zusammensetzung zeigt 50–70 % Quarz und wechselnde Mengen zentralalpiner Gesteine, wie Granit, Diabas, Quarzit und Lydit. Partiiell sind starke Eisen- und Manganverfärbungen in Form von Bändern und Linsen zu verzeichnen, die ehemalige reliktsche Grundwasserstandsmarker darstellen (Abb. 17). Im Schotterprofil zeigen sich verschiedene Schüttungszyklen, an deren Basis jeweils Eisenverfärbungen auftreten, was eine einstige horizontale Ablagerung belegt. Diese gesamte Schottereinheit ist berühmt für seine Kieselhölzer, die hier in großer Zahl gefunden wurden.

Die Kiese finden in allen Bereichen des Straßenbaus und der betonverarbeitenden Bauindustrie Verwendung.



Abb. 17: Kiesgrube bei Walchsing im Ortenburger Schotter.

2.4.2 Quartär

Verschiedene Autoren, wie beispielsweise GRAUL (1968), SINN (1972), GLÜCKERT (1974), JERZ et al. (1975), EBERS et al. (1966), SCHÄFER (1975), GROTTENTHALER (1980), JERZ (1993) und GRIMM et al. (1979) befassten sich seit den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts mit der maximalen Ausbreitung der sieben verschiedenen alpinen Vorlandgletscher.

Der westlichste der angesprochenen Gletscher ist der Rheingletscher, der im Osten mit seinen Mindelmoränen am weitesten ins Landesinnere reicht und im westlichen Gebiet (vor allem auf dem Gebiet von Baden-Württemberg) durch die Ausbreitung der Reißmoränen seinen maximalen Eisrand widerspiegelt. Bis in die Bereiche der oberen Günztäler reichen die Endmoränen des Illergletschers, der in der Mindelzeit seine größte Ausdehnung aufwies. Ähnliches gilt für den Lech-Wertachgletscher, dessen maximale Verbreitung auch in der Mindeleiszeit zu suchen ist. Der Isar-Loisachgletscher erreichte im Vorland in der Mindel- und Reißeiszeit seine nahezu größte Ausdehnung. Im Bereich Erding ist der Maximalvorstoß des Inngletschers zu suchen, der zu Zeiten der Reißeiszeit stattfand. Im E daran anschließend befindet sich der Chiemseegletscher, dessen größte Ausdehnung in der Mindeleiszeit zu suchen ist. Ganz im Osten reichen die Ablagerungen der Günzeiszeit streckenweise am weitesten ins Landesinnere und repräsentieren hier den Salzachgletscher.

Im Vorfeld der Gletscher breiten sich Schotter verschiedener Glaziale aus, wobei auch die Ältesten teils große Flächen einnehmen können. Diese ehemaligen großflächigen Schotterplatten sind durch Flüsse, Bäche und Erosionsrinnen teilweise erodiert und daher nicht mehr zusammenhängend und stets auf den Rücken- und Hochflächen zwischen den Talniveaus anzutreffen (JERZ 1996). Zwischen einer Moräne und einem Schotter bestehen alle Arten von Übergängen. Der Rundungsgrad bildet hier für die Unterscheidung ein wichtiges Kriterium, da bei über 50 % gerundeten Komponenten von einer glazifluviatilen Ablagerung auszugehen ist (JERZ 1993).

Älteste Deckenschotter und Älteste Periglazialschotter sind hauptsächlich im Bereich der Iller-Lech- und der Isar-Inn-Schotterplatte zu finden. Sie repräsentieren die erste Kälteperiode nach dem Pliozän, zählen zu den glazifluviatilen Ablagerungen und sind größtenteils ausgelagert, stark verwittert und teilweise lehmig. Die Größe der Komponenten (bis zu 25 cm) spricht für eine nahe Gletscher-

front (DOPPLER et al. 2011). In Abb. 18 sind die verschiedenen quartären Schotter im Voralpenraum schematisch dargestellt, die im Allgemeinen aus alpinem Material aufgebaut sind. Je nach Liefergebiet sind unterschiedliche Mengen-Verhältnisse von karbonatischen zu kristallinen Geröllen zu verzeichnen. Generell ist festzuhalten, dass der Anteil an kristallinem Material in Richtung der jüngeren Ablagerungen zunimmt. ELLWANGER et al. (2011) bestätigt diese Annahme für die Region um den Bodensee und beschreibt, dass die älteren Ablagerungen vornehmlich aus Dolomitgeröllen und Komponenten aus helvetischem Kalkstein bestehen und nur zu < 5% aus kristallinem Material.

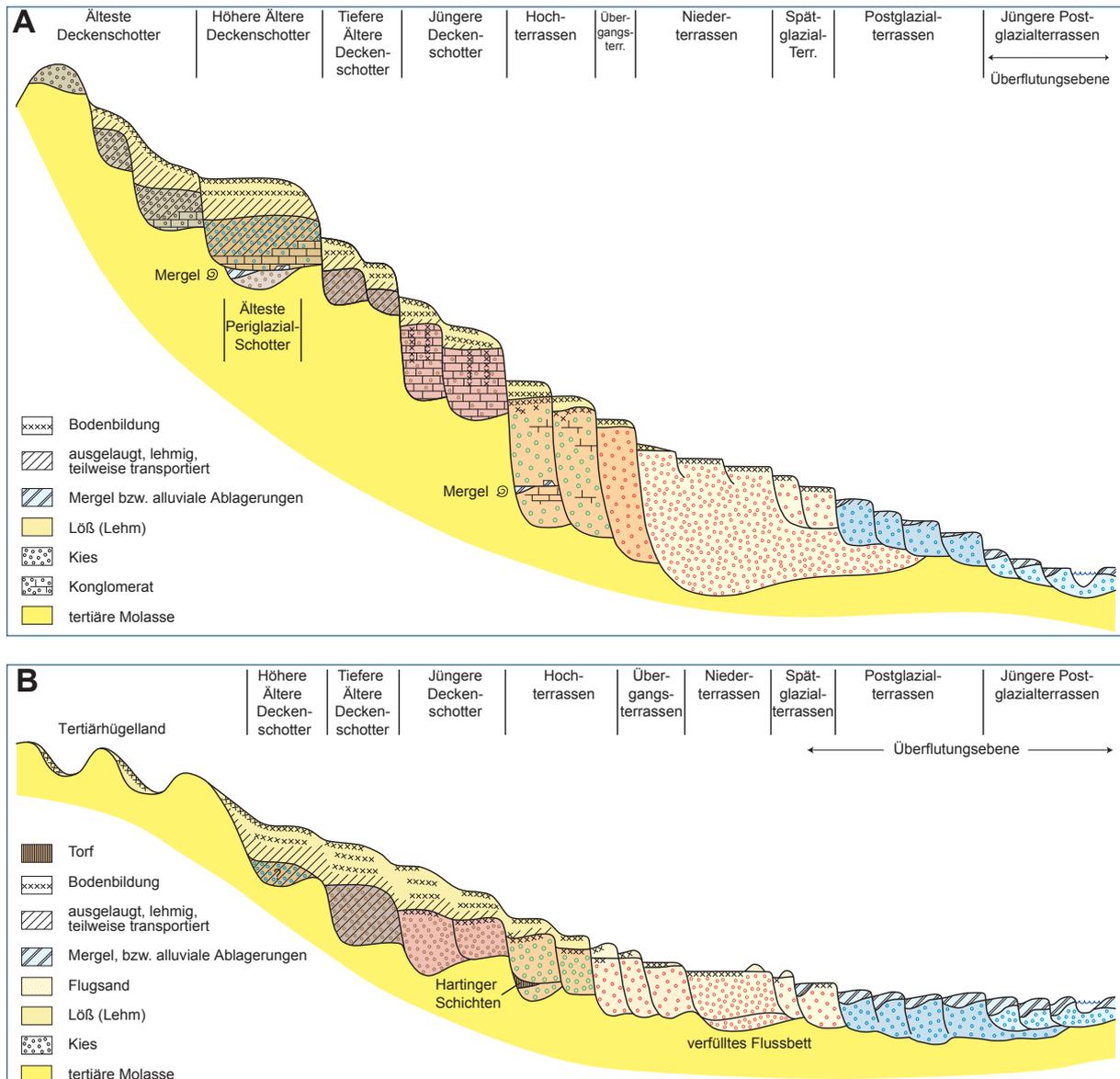


Abb. 18: Schematische Übersicht über die glazialen Terrassenablagerungen des süddeutschen Alpenvorlandes. Oben: (A) stellt die näheren (proximalen) Bereiche zu den Alpen dar, Unten: (B) die weiter entfernten (distalen) Bereiche (verändert nach DOPPLER et al. 2011).

Die stratigraphisch auf die Ältesten Deckenschotter folgenden Älteren Deckenschotter lassen sich zwei verschiedenen Eiszeiten zuordnen. Mit den Höheren Älteren Deckenschottern steht die Donau eiszeit in Verbindung, die durch diese glazialen Schmelzwasserablagerungen definiert wird. Die Unterschiede zu den Tieferen Älteren Deckenschottern, die der Günzeiszeit zugeordnet wer-

den, sind nach DOPPLER et al. (2011) als nicht immer eindeutig anzusehen. Diese Tieferen Älteren Deckenschotter sind nicht, im Gegensatz zu den Höheren Älteren Deckenschottern, durch unterlagernde Rinnenfüllungen mit kristallinen Geröllen aus der Molasse, sondern weitestgehend durch karbonatische Fazies gekennzeichnet. Somit ist eine klare Abgrenzung nicht immer möglich. Die Mindelzeit wird laut desselben Autorengespanns als Periode, die mit dem Rückgang der sommergrünen Wälder am Ende der Günzeiszeit beginnt und mit einem erneuten Anstieg dieser Wälder endet, bezeichnet. In einigen Teilen Südbayerns, z. B. westlich der Iller, wird dazu noch eine weitere Kaltphase unterschieden, die Haslacheiszeit genannt wird. Diese Haslachsotter werden allerdings oft den Jüngeren Deckenschottern zugeordnet, da eine Unterscheidung aufgrund mangelnder Aufschlussverhältnisse nicht immer möglich ist und sie bisher nur im württembergischen Raum auftreten. Die mindelzeitlichen Jüngeren Deckenschotter zeichnen sich meist durch ein hohes Maß an karbonatischem, alpinen Material aus, sind oft konglomeratisch und zeigen intensive Verwitterungsstrukturen (DOPPLER et al. 2011).

Die Warmzeit zwischen Mindel- und Rißzeit wird als Mindel/Riß Interglazial bezeichnet, die durch sehr mächtige Verwitterungsprofile gekennzeichnet ist. Im Anschluss daran kamen die Schotter der Hochterrasse zur Ablagerung. Diese können, je nach Region und speziell im Donautal aus verschiedenen Zyklen bestehen, die durch dünne Mergellagen und-schollen bzw. Paläoböden voneinander getrennt werden können (Abb. 18). Konglomeratbildung kann neben den schon erwähnten Phänomenen auftreten. An der Basis der Würmeiszeit treten die Schotter der Übergangsterrasse auf, die mit Löss bedeckt sind. Der obere Bereich zeigt eine interne Kryoturbation und aufgearbeitetes, transportiertes und verwittertes Material. Die Gesamtmächtigkeit dieser Einheit wird mit ca. 5–10 m angegeben. In der Hochwürmphase schließt sich der Niederterrassenschotter an, dessen Schotter unterschiedliche Mengen an Karbonatgeröllen enthalten.

Zum Ende der Würmeiszeit kamen die Schotter der Spätglazialterrasse zur Ablagerung, deren Basis mitunter in ältere Molassesedimente eingeschnitten ist und sich teilweise nur durch gröbere Gerölle vom umgebenden Material abgrenzen lässt (DOPPLER et al. 2011).

Moränen bilden eine weitere große Glazialform im Voralpenraum. Hierbei handelt es sich um ein Gemisch unterschiedlicher Gesteinsbruchstücke in verschiedenen Ausbildungen, das vorwiegend ungeschichtet und schlecht sortiert auftritt (Abb. 19).



Abb. 19:
Typische Moräne und z. T. Schotter
des Rheingletschers, Kiesgrube bei
Maierhöfen.

Der Gesteinsschutt der Obermoräne bleibt aufgrund des Transportvorgangs eher kantig, wohingegen der der Innenmoräne kantengerundete Formen aufzeigt. Auch im Untergrund werden von der Gesteinsunterlage Komponenten bei der Eisbewegung mitgeführt und hinterlassen Rundhöcker und Gletscherschliffe. Der Rheingletscher, Inngletscher, Chiemseegletscher und Salzachgletscher brachten während der jüngeren Eiszeiten zwischen 20 % und 30 % kristallines Material der Zentralalpen mit, wohingegen der Isar-Loisach-Gletscher seine kristallinen Bestandteile (5–15 %) aus dem Inngletscher über verschiedene Pässe und Sättel bezog. Die Moränen des Lech- und Illergletschers weisen nur sehr geringe Gehalte an Kristallin auf, da Transfluenzen weitgehend fehlen. Abweichungen im Geschiebebestand und Mineralführung sind innerhalb eines Vorlandgletschers oft größer als zwischen seinen Jung- und Altmoränen. Hingegen bestehen oft beträchtliche Unterschiede im Stoffbestand in benachbarten Vereisungsgebieten (JERZ 1993). Grundmoränen enthalten gewöhnlich mehr Feinmaterial, das zum Teil vom lokalen Untergrund stammt. Durch Kompression und Scherung entsteht eine dichte Lagerung, die mitunter auch Schergefüge zeigt. Größere Geschiebe sind in Fließrichtung des Gletschers oder quer dazu eingeregelt. Abschmelzmoränen besitzen eine sandigere und kiesigere Zusammensetzung und sind im Allgemeinen nicht eingeregelt und zeigen kein Schichtgefüge.

Abschließend fand im Holozän die Sedimentation der jüngsten Schotter der Postglazialterrasse statt. Diese Terrassen sind in der Regel durch die Aufarbeitung älterer, meist würmzeitlicher, Schotter gekennzeichnet, besitzen kaum Modifikationen in der Zusammensetzung und werden häufig durch feinkörnige, karbonathaltige Auensedimente unterschiedlicher Mächtigkeit bedeckt.

2.5 Detailbetrachtung zur aktuellen Lagerstätten-Situation

Die Anzahl der im Projekt beprobten Gewinnungsstellen beträgt 23 für die Molasse und 37 im Quartär, davon sind zwei in der Molasse und drei im Quartär derzeit nicht im Abbau. Des Weiteren sind jeweils drei Gruben nur sporadisch im Abbau. Die genaue Anzahl der befahrenen Gewinnungsstellen (untergliedert nach Stratigraphien) und die genommenen Proben können Tab. 1 entnommen werden. Die Proben setzen sich aus Schlitz-, Haufwerks- und Schlammteichproben zusammen.

Nach Selbstauskunft der Betreiber werden die jährlichen Fördermengen zwischen 5.000 t und 700.000 t je Gewinnungsstelle angegeben. Für eine anonymisiert-normierte Berechnungsgrundlage wurde für alle Gewinnungsstellen jeweils eine realistische, mittlere Jahresförderleistung von 100.000 t angesetzt. Betriebsspezifische Daten, die im Zuge der Befahrung erhoben wurden, liegen in einer projektbezogenen, internen Datenbank vor.

In rund einem Drittel der befahrenen bzw. berücksichtigten Gewinnungsstellen werden Aufbereitungsanlagen zur Reinigung und Kornklassierung der gewonnenen Kies-Rohstoffe betrieben, teilweise werden auch zentrale Anlagen zur Aufbereitung des an mehreren Gewinnungsstellen geförderten Materials eingesetzt.

Die überwiegende Anzahl der untersuchten Betriebe operiert auf ausgewiesenen Rohstoff-Vorrang- und -Vorbehaltsgebieten bzw. auf genehmigten Abbauflächen mit entsprechenden Erweiterungspotenzialen, die vom rohstofflichen Standpunkt aus, bis auf wenige Ausnahmen, eine mittel- bis langfristige Betriebssicherheit gewährleisten. Demzufolge können vor allem die größeren Gewinnungsstellen samt jeweiliger Aufbereitung, die dadurch über größere Zeitspannen (Jahrzehnte) operieren können, als quasi ortsfeste Betriebe gewertet werden.

3 Durchgeführte Arbeiten

3.1 Geländebefahrung und Probennahme

Die insgesamt 126 genommenen Einzelproben lassen sich in zwei Gruppen aufteilen: zum einen 51 Proben, die sieben lithologische Einheiten des Bayerischen Molassebeckens widerspiegeln (Kapitel 2.4.1) und zum anderen 75 Proben, die sich auf sieben ehemalige Gletschergebiete verteilen (Kapitel 2.4.2). Als Vorgaben für die Proben waren sowohl ihre stratigraphische Zuordenbarkeit, als auch ihre Repräsentativität für die Lagerstätte (Probenart: Schlitzproben) und für den unternehmerischen Schwerpunkt (Probenart: Haufwerksproben), weswegen in der Regel mindestens zwei Proben pro Gewinnungsstelle genommen wurden (Abb. 20, Abb. 21). An geeigneten Stellen wurden zusätzlich noch Absetzbecken und Schlammteiche beprobt (Abb. 23).



Abb. 20: Schlitzprobennahme.



Abb. 21: Haufwerksprobennahme.

Zudem musste ausreichend Material für alle erforderlichen Analysenschritte (ca. 50 kg je Probe) gezogen werden. Im Regelfall erfolgte im Gelände eine Verkleinerung des Probenvolumens durch Vorabsiebung der Kiesfraktion und gleichzeitiger Bestimmung der Mengenverhältnisse (Abb. 22).



Abb. 22: Vorabsiebung im Gelände.



Abb. 23: Beprobung von Schlammteichen.

3.2 Auf- und Vorbereitung der Proben, Sieb- und Schlämmanalytik, Dichtentrennung

In einem ersten Schritt wurden die Rohproben bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und das jeweilige Trockengewicht bestimmt. Anschließend wurden mittels Siebmaschine die relevanten Kornfraktionen abgetrennt (Siebmaschine Haver EML DIGITAL PLUS mit einer Siebzeit von 10 min und einer Amplitude von 1; Abb. 24) und gewogen. Das Verhältnis von Schluff zu Ton (in der Siebfraktion $< 63 \mu\text{m}$) wurde zudem mittels Sedimentation LfU-intern bestimmt. Je nach Probenmenge lag der Zeitbedarf pro Probe zwischen vier und fünf Tagen für die Präparationsschritte Trocknen der Originalprobe, Sieben, Trocknung der Fraktionen sowie für die erforderlichen Wägungsschritte an Teilproben bzw. Kornfraktionen.



Abb. 24:
Aufbau des Siebturmes mit übereinander gestapelten Siebeinsätzen.

Von den so erhaltenen Siebfraktionen $> 63 \mu\text{m}$ wurden anschließend aus entsprechenden Proben-Aliquoten im Sink-Schwimm-Verfahren mittels wässriger Natrium-Polywolframatlösung (Dichte $3,0 \text{ g/cm}^3$) die Schwerminerale mit Dichte $> 3,0 \text{ g/cm}^3$ (BOENIGK 1983) quantitativ in einer Batterie aus Scheidetrichern (je 250 ml Inhalt) abgetrennt und ihr Gehalt sowohl an den jeweiligen Fraktionen als auch an der Gesamtprobe absolut und prozentual bestimmt (Abb. 25). Die Fraktion $< 63 \mu\text{m}$ wurde aufgrund der großen reaktiven Teilchenoberfläche gesondert behandelt: zuerst wurde mittels Wasserstoffperoxidlösung (BOENIGK 1983) Ton und Schluff voneinander getrennt, um anschließend die Schwerminerale im Schluffanteil mittels einer Zentrifuge (bei 2.500 U/min 2–5 min lang) und Natrium-Polywolframatlösung abzutrennen (Abb. 26). Dadurch wird die Verweilzeit und damit in letzter Konsequenz die Reaktionszeit der Probe in der Schwerelösung verkürzt.



Abb. 25: Schwereretrennung im Scheidetrichter.



Abb. 26: Trennung von Schwermineralen (am Glasboden) und Leichtmineralen (obenauf schwimmend) nach dem Zentrifugiervorgang.

Wegen der erforderlichen Absolutmenge von mindestens 0,5 g Schwerminerale pro Sand- bzw. pro Schluff-Teilprobe für die nachfolgende mineralogisch-geochemische Analytik mussten – Proben- und Fraktionsabhängig – teilweise mehrere Abtrennungsgänge (Ansätze) durchgeführt werden, um diese Zielgröße zu erreichen.

Bei den vier Sand-Fraktionen (63–125 µm, 125–250 µm, 250–500 µm, 500–1000 µm) genügten i. d. R. ein bis zwei Ansätze mit jeweils 50 g pro Fraktion und Scheidetrichter (200 g Material insgesamt pro Ansatz), um eine Schwermineralausbeute $\geq 0,5$ g (bezogen auf alle zusammengefassten Sandfraktionen) zu erzielen. Zeitbedarf hierbei waren zwei Tage pro Ansatz (ein Tag Sedimentation sowie ein Tag Filtration, Spül- und Trocknungsprozedur inkl. Wägung).

Zur Abtrennung der Schwerminerale aus der Schluff-Fraktion (> 2 µm und < 63 µm) wurden pro Probe und Ansatz vier Zentrifugengläschen mit jeweils einer Einwaage zwischen 4 und 10 g (gesamt zwischen 16 und 40 g Schluff) verwendet. Der Zeitbedarf für einen Ansatz lag bei zwei Tagen (ein Tag Zentrifugation, Filtration und Spülung, sowie ein Tag Trocknungsprozedur inkl. Wägung). Lag dabei der Schwermineralgehalt der Schluff-Fraktion schon beim ersten Durchgang unter 0,266 % absolut und hätte daher mittels fünf Ansätzen die erforderliche Schwermineralausbeute von $\geq 0,5$ g nicht erreicht werden können, wurden keine weiteren Trennungen (wegen des nicht mehr vertretbaren Zeitaufwandes) betrieben.

Im Einzelfall kann jedoch, trotz geringer Schwermineralgehalte ($< 0,266$ %), der relativ hohe Anteil der Schluff-Fraktion an einzelnen Gesamtproben diesen Umstand über-/ kompensieren, so dass eine Schwermineral-Abtrennung im großtechnischen Stil dennoch nennenswerte Gehalte erbringen würde. Dies wird fallbezogen durch eine Modellierung des Schwermineral-Ausbringens (Hochrechnung) berücksichtigt.

Es musste bei dieser Aufbereitungsstrecke ein Unterschied zwischen Schluff- und Sandfraktion betrieben werden, da die nötig gewesene Verweilzeit des Schluffs von zwei Tagen im Scheidetrichter zum einen zu einer massiven chemischen Reaktion von Probe mit Schwerelösung (aufgrund der kleinen Partikelgröße und der damit verbundenen großen reaktiven Oberfläche) geführt hätte und zum anderen die geringe Partikelgröße ein Ummanteln der Körner mit Schwerelösung und somit ein Absinken verhindert hätte, was insgesamt zu einer geringeren Ausbeute an Schwermineralen geführt hätte. Des Weiteren war häufig eine Agglomeratbildung zu verzeichnen, die auch das Her-

absinken der einzelnen Schwermineral Körner teilweise behindert, was wiederum zu einer verfälschten Aussage über die Schwermineral-Gehalte geführt hätte.

Die aufgefangenen Filtrationslösungen sowie die Lösungen aus den Spül- und Waschvorgängen mussten parallel zu den Abtrennvorgängen gesammelt und daraus die Schwereflüssigkeit wiedergewonnen werden. Ständig umgesetzt wurden dabei 12l eingestellte Schwereflüssigkeit bzw. die daraus im Zuge der Abtrennungen entstandenen ca. 40l verdünnte Lösungen. Zur Regeneration wurden die Lösungen zunächst mittels mehrstufigem Filtrationsprozess (Stoff-, Papier- und Kohlenstoff-Filter) bis zur Partikelfreiheit gereinigt, anschließend im Trockenschrank bzw. auf Kochplatten eingedampft und schließlich wieder auf die Solldichte eingestellt. Der Zeitbedarf um einen Liter Schwereflüssigkeit mit Dichte $3,0\text{ g/cm}^3$ aus ca. 5l Spül- und Waschlösung zu regenerieren betrug ca. acht Tage.

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

3.3 Mineralogie und Geochemie

Die Analytik der gezogenen Proben 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 Multielementanalytik liegen dabei i. d. R. bei 0,01 Gew.-% (entsprechend ca. 100 mg/kg) für die Hauptelemente, für die Neben- und Spurenelemente werden i. d. R. 1 mg/kg erzielt und bei den SEE im Mittel 0,1 mg/kg erreicht.

Die Quantifizierung der potenziellen SEE-Minerale (Angabe in Massen-Prozent, M.-%) sowie der Begleitminerale in den Schwermineralkonzentraten wurde zunächst mittels Hauptelementgehalten aus der Geochemie (Angabe in Gewichts-Prozent, Gew.-%) LfU-intern plausibilisiert. Absolutfehler der XRD-Gehaltsangaben liegen bei durchschnittlich 5 %, Nachweisgrenzen werden zwischen 0,5 und 3 M.-% angegeben.

3.4 Auswertung der Analytik

Die Auswertung der in den Schwermineralkonzentraten vorliegenden Stoffgehalte erfolgte auf Basis der geochemischen Gesamtgehalte. In einem selbst entwickelten, speziellen chemometrischen Auswertungsverfahren werden diese Gehalte mit gravimetrischen Kenngrößen aus der Sieb- und Sedimentationsanalytik sowie aus der Dichtentrennung verrechnet und daraus die aus den Schwermineralkonzentraten der jeweiligen Proben gewinnbaren Stoffgehalte entsprechend nachfolgendem Prinzip ermittelt (Abb. 27).

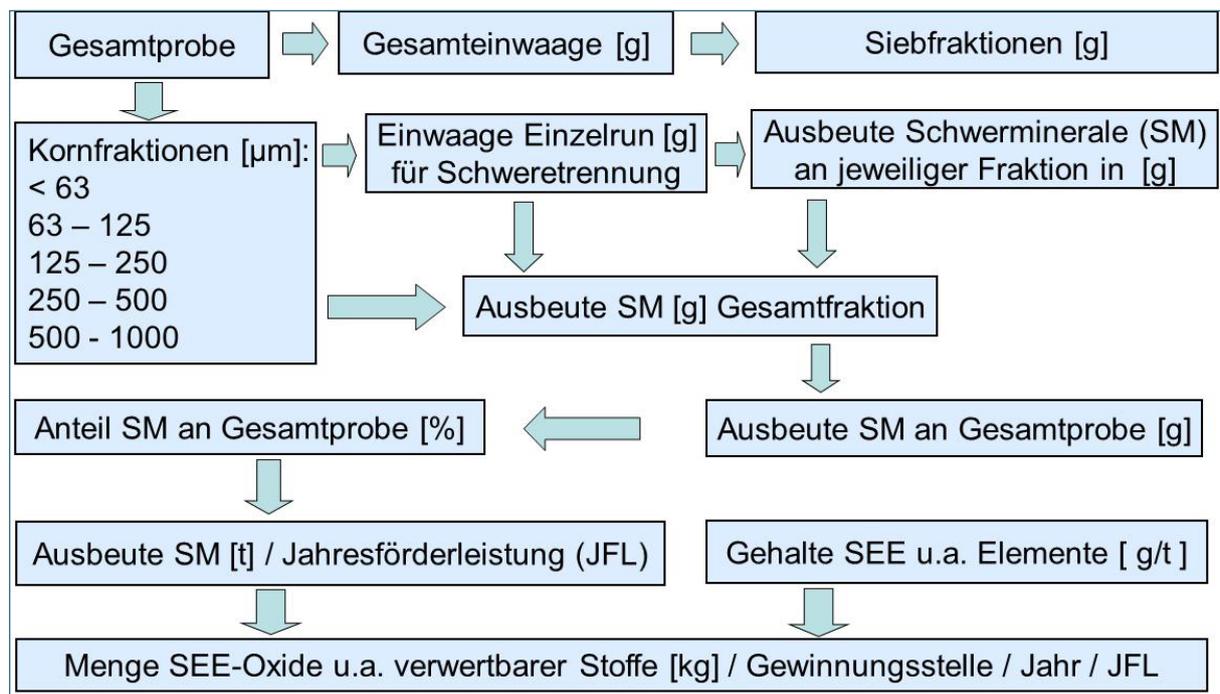


Abb. 27: Schema zur Ermittlung der potenziell ausbringbaren Stoffgehalte aus Schwermineral-Konzentraten.

Die mineralogischen Daten der Schwermineralkonzentrate aus den jeweiligen Schluff- und Sandfraktionen dienen sowohl zur Plausibilisierung der geochemischen Stoffgehalte, wie oben dargestellt, als auch zur Konkretisierung und Quantifizierung der SEE-Träger-Minerale in den unterschiedlichen Sandrohstoffen. Darüber hinaus können bzw. sollen die Daten perspektivisch zur Eingrenzung weiterer, bisher nicht betrachteter Mineral- und Wertstoffpotenziale dienen (Motto: „Welche Minerale muss ich abtrennen, um (maximale) Ausbeuten bei Wertstoff xy erzielen zu können?“).

Weiterhin wurden Schwermineral-Mittelwerte zu stratigraphisch definierten Einheiten sowohl als Summenparameter zur Abschätzung der Güte des Trennverfahrens (Leicht-/ Schwerminerale) als auch zur mineralogischen Kennzeichnung der Teilpopulationen gebildet und ausgewertet. Graphische Darstellungen finden sich dazu in den jeweiligen Teilkapiteln. Die zugrundeliegenden Tabellen sind im Anhang aufgeführt.

4 Ergebnisse

4.1 Lithostratigraphische Detailbetrachtung hinsichtlich der Schwermineralogie und Geochemie

In den nachfolgenden zwei Teilkapiteln werden die Untersuchungsergebnisse der beprobten Lokationen (u. a. Kornverteilung, Schwermineral-Verteilung und -Gehalte, Mineralogie) nicht einzeln, sondern auf Grundlage der geologischen Situation und zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse in Kategorien eingeteilt und behandelt. Diese, und die Anzahl der analysierten Proben, aufgeschlüsselt nach Sand- und Schlufffraktion, finden sich in der nachfolgenden Tabelle 1.

Tab. 1: Probenübersicht.

System	Ggf. Abkürzung	Stratigraphie	Anzahl befahrener und beprobter Gruben	Anzahl der dichtegetrennten Sandproben	Anzahl der dichtegetrennten Schluffproben	Anzahl der geochemisch analysierten Sandproben
Tertiär (Molasseablagerungen)	OSMj	Haarschedler Schotter, Hangendserie, Obere Serie	8	15	15	15
	OSMm	Nördlicher Vollsotter, hangender Nördlicher Vollsotter, Landshuter Schotter, Geröllsandserie	8	19	19	19
	QRS	Quarzrestschotter	2	3	3	3
	OBS	Ortenburger Schotter	5	12	12	12
Summe Tertiär			23	49	49	49
Quartär (Gletscherablagerungen im Voralpenraum)	RHN	Rheingletscher	4	7	7	7
	ILL	Illergletscher	5	8	8	8
	LWE	Lech-Wertachgletscher	7	12	12	11
	ILO	Isar-Loisachgletscher	8	19	19	19
	INN	Inngletscher	7	16	16	16
	CHS	Chiemseegletscher	3	4	4	4
	SAL	Salzachgletscher	4	7	7	7
Summe Quartär			38	73	73	72

Neben der Angabe der absoluten Konzentration von SEE-Gehalten dient das Verteilungsmuster der Selten Erd 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 und DITTRICH 1999).

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 Systemen) „geglättet“. Dazu werden die ermittelten SEE-Konzentrationen auf externe Be-

zugssysteme normalisiert, wofür überwiegend kohlige C-Chondrite dienen, die häufigste Klasse von primitiven, relativ unfraktionierten Meteoriten (LINHARDT und DITTRICH 1999). Die Normalisierung in dieser Arbeit erfolgte nach Werten von EVENSEN et al. (1978).

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

Zur mineralogischen Beschreibung und zum Vergleich der stratigraphischen Einheiten untereinander (auf Grundlage der abgetrennten Schwerminerkonzentrate) wurden nachfolgende Summenparameter gebildet und als Mittelwerte für die jeweiligen Gruppen gewertet.

Die Gruppe „Leichtminerale“ enthält neben Quarz die Silikate Feldspat und Glimmer. Diese Minerale lagen vermutlich als Verwachsungen bzw. als Umwachsungen der Schwerminerale vor und konnten methodisch bedingt nur unvollständig von den Schwermineralen abgetrennt werden. Die Gruppe der „Schwerminerale“ besteht aus den SEE-führenden Mineralen, den Titan-Mineralen, den Eisen-Mineralen sowie teilweise aus Granat, Turmalin, Amphibol, Klinopyroxen, Staurolith, Andalusit und Sillimanit. Der mittlere Abtrenngrad (M.-%) beschreibt dabei den Anteil der abgetrennten Schwerminerale gegenüber den mitgewonnenen Leichtmineralen aller Proben. In der Gruppe der „SEE-Minerale“ sind Zirkon, Epidot (Allanit), Fluor-Apatit und Monazit beinhaltet. Anatas, Rutil und Ilmenit beschreiben die Gruppe der „Titan-Minerale“. Die Gruppe „Eisen-Minerale“ besteht aus Goethit, Hämatit und untergeordnet Magnetit. Die Mineral-Gruppe „Rest“ enthält Granat, Turmalin, Amphibol, untergeordnet Klinopyroxen, selten Andalusit, Staurolith und Sillimanit, sowie die „mitgewonnenen“ Leichtminerale als nicht verwertbare Bestandteile. Die mineralogischen Einzelwerte sind in Tab. A-1 bis Tab. A-4 (Anhang) aufgelistet, die mineralogischen Mittelwerte zu den ausgewerteten stratigraphischen Einheiten finden sich in Tab. D-1 bis Tab. D-3 (Anhang).

Die potenziellen Ausbeuten von Wertstoffen (SEE sowie Zirkonium und Titan) der jeweiligen stratigraphischen Einheiten werden zur besseren Nachvollziehbarkeit und Vergleichbarkeit zu Gruppen zusammengefasst (Tab. 1), mittels statistischer Kenngrößen beschrieben und jeweils auf eine Jahresförderleistung von 100.000 Tonnen pro Jahr Gesamtrohstoff bezogen. Dazu werden 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 Zirkoniumoxid und Titanoxid aufgeführt. Die tabellarisch gelisteten geochemischen Einzelergebnisse finden sich in Tab. A-5 bis Tab. A-8 (Anhang).

Lithochemische Eigenschaften und Unterschiede zwischen den untersuchten stratigraphischen Einheiten werden mittels Mittelwerten abschließend am Ende dieses Kapitels herausgestellt, zusammengefasst und bewertet.

Die ausführliche Darstellung der gruppenbezogenen Ergebnisse findet sich in einem umfangreichen nicht publizierten, internen Arbeitsbericht (DECKER und BECKER 2015).

4.2 Molasse

Eine zusammenfassende Beschreibung der beprobten und untersuchten Einheiten in der Molasse (Abb. 28) soll im Folgenden gegeben werden. Dabei werden Gemeinsamkeiten bzw. Besonderheiten der vier nach stratigraphischen Einheiten untergliederten und analysierten Gruppen dargestellt und erläutert.

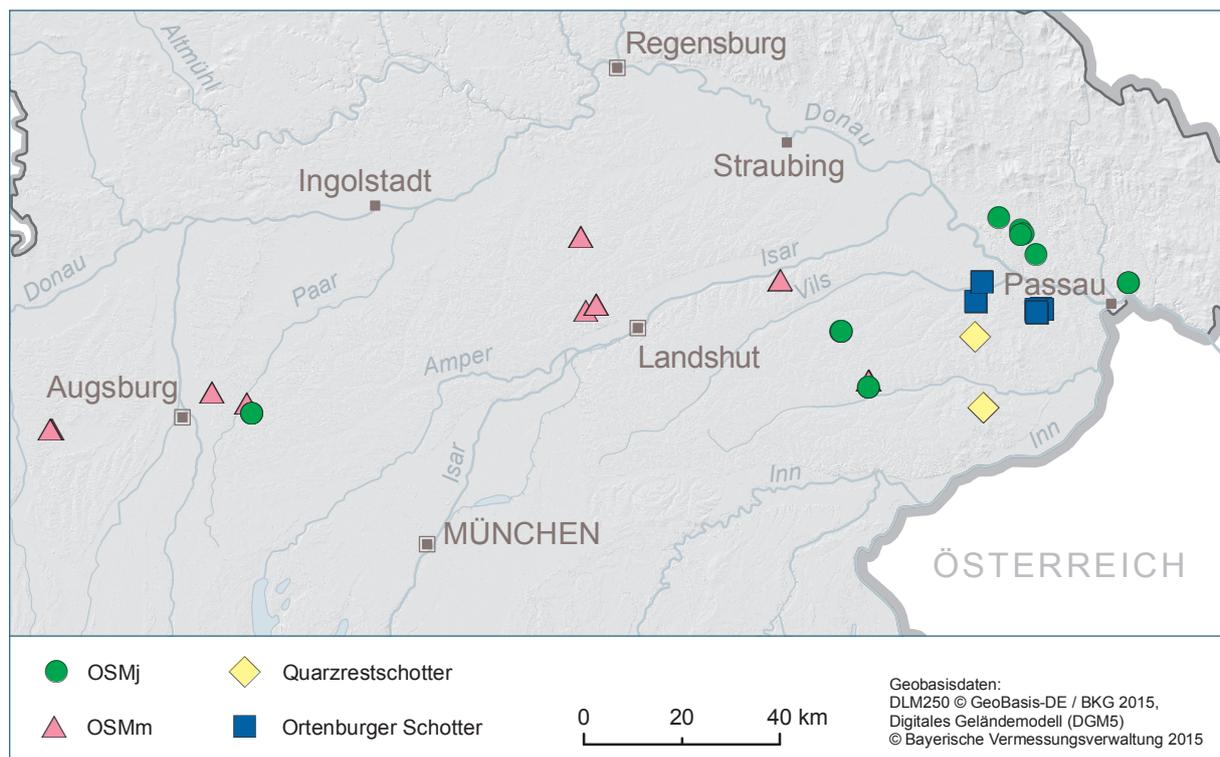


Abb. 28: Probennahmepunkte aus dem tertiären Untersuchungsgebiet.

Es wurden insgesamt 23 Lokationen befahren und dabei 49 Proben gezogen (vergleiche Tab. 1). Durch Vorabsiebungen der Sand-Kies-Rohstoffe im Gelände, bei dem der Kies- und Steinanteil (> 2 mm) bestimmt und abgetrennt wurde, konnte ein durchschnittliches Verhältnis (arith. Mittelwert) der Fraktionen < 2 mm zu > 2 mm (Sand und Schluff zu Kies und Steine) von 29 % zu 71 % ermittelt werden. Die Verhältnisse reichen dabei von 23 % zu 77 % (Ortenburger Schotter) bis 36 % zu 64 % für die OSMm. Die Kies- (und Stein-) fraktionen wurden im Gelände bereits verworfen, so dass über diese keine weiteren Aussagen gemacht werden. Bei dem Material < 2 mm handelt es sich überwiegend um fein- bis mittelkörnige Sande mit einem geringen Anteil an Grobsand. Alle untersuchten Proben wiesen < 10 % an abschlämmbaren Anteilen (Ton und Schluff) auf (siehe Abb. 29). Die Proben aus reinen Sandgruben bzw. aufbereitetes sandiges Material wurden hierbei nicht betrachtet.

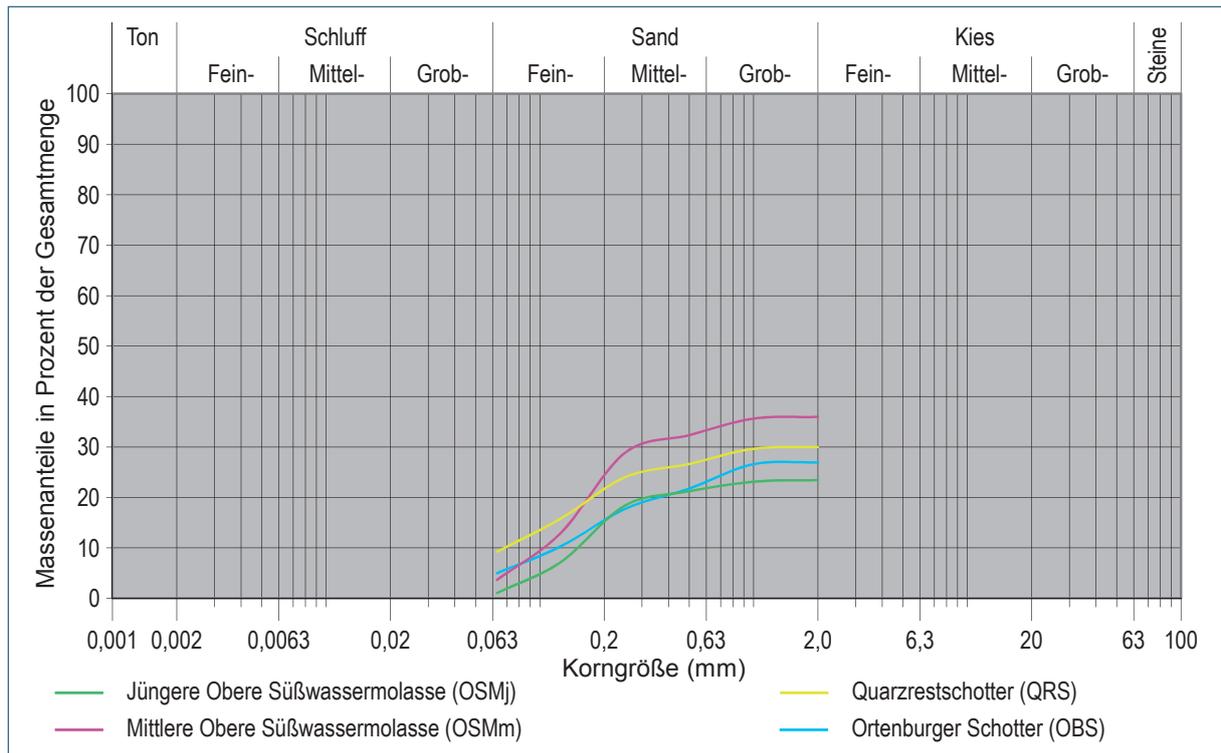


Abb. 29: Kornsummenkurven der vier Molasse-Einheiten in den Fraktionen < 63 µm bis 2 mm. Dargestellt sind die arithmetischen Mittel der Kornsummenbänder.

Die mittleren Schwermineralgehalte (als Mediane, kenntlich an den Querstrichen der einzelnen Boxplots) der vier untersuchten Gruppen, aufgetrennt in unterschiedliche Korngrößenbereiche, werden in nachfolgender Abb. 30 dargestellt. Weiterführende Hinweise zur Interpretation der dargestellten statistischen Größen mittels Boxplot dieser und nachfolgender Abbildungen finden sich dazu im Anhang („Erklärungen zur Statistik“ auf Seite 66).

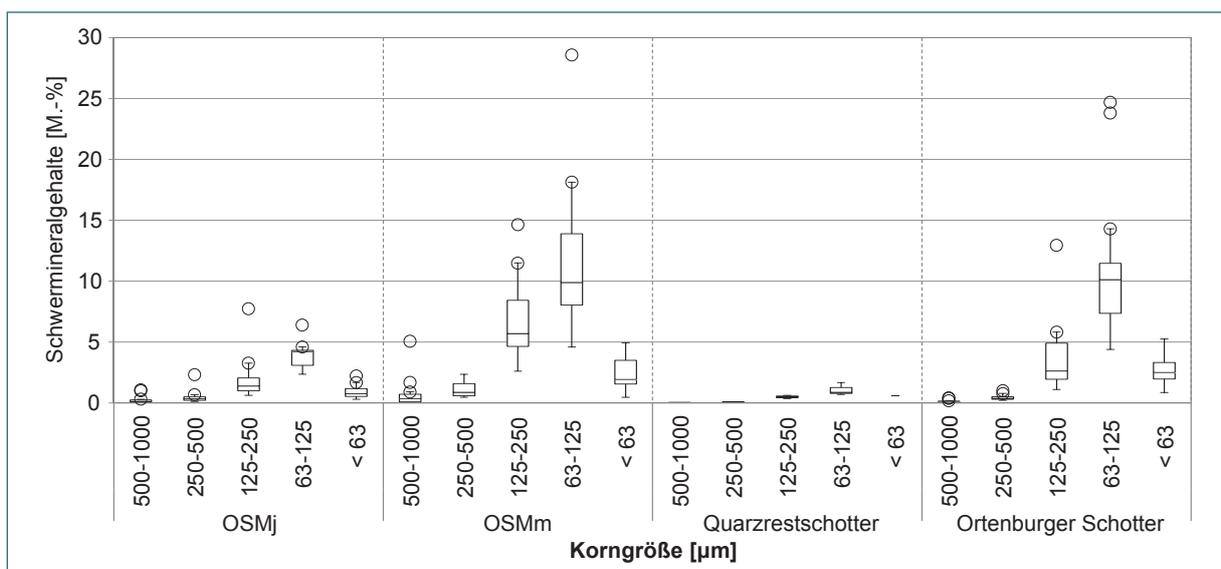


Abb. 30: Schwermineralgehalte der einzelnen Fraktionen im Molasseablagerungsraum.

Generell ist offenkundig, dass die höheren und höchsten Gehalte von Schwermineralen in den Fraktionen 125–250 µm und 63–125 µm liegen (Abb. 30). Jeweils in den gröbereren und feineren Kornklassen sind diese deutlich geringer. In nahezu jeder Gruppe finden sich positive Extremwerte, die Proben mit deutlich höheren Gehalten repräsentieren. Die höchsten Schwermineralgehalte (jeweils in den Fraktionen 63–125 µm) treten demnach in der OSMm sowie im Ortenburger Schotter auf. Die mit Abstand niedrigsten Gehalte finden sich im Quarzrestschotter.

Auf Grundlage dieser mittleren Schwermineralgehalte können auf Basis der vorhandenen Anzahl von Abbaustellen und jeweils mittlerer Jahresförderleistungen von 100.000 t nachfolgende mittlere theoretische Schwermineralausbeuten für die vier angegebenen Gruppen angegeben werden (Abb. 31).

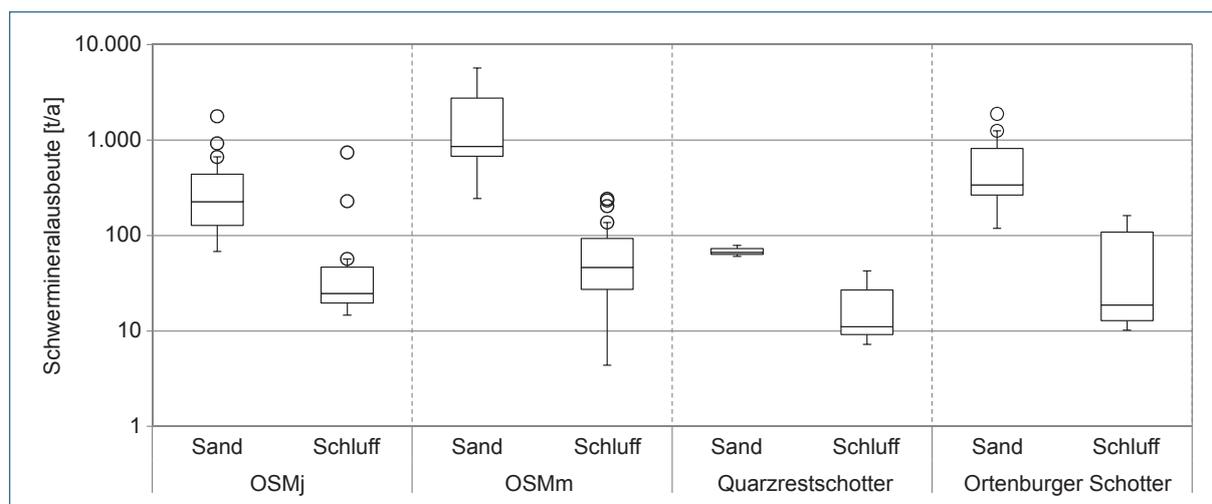


Abb. 31: Übersicht der mittleren Schwermineralausbeuten im gesamten Ablagerungsgebiet der Molasse, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000 t.

Dabei ist festzustellen, dass die potenzielle Schwermineralausbeute aller Gruppen im Sand deutlich größer ist als im Schluff (Abb. 31). Die größten theoretischen mittleren Ausbeuten, sowohl im Sand als auch im Schluff, liegen demnach im Bereich der mittleren Oberen Süßwassermolasse (OSMm) mit rund 903 t Schwermineralen (ca. 857 t aus Sandfraktionen und ca. 46 t aus Schlufffraktionen). Die kleinsten theoretischen mittleren Ausbeuten liegen im Bereich des Quarzrestschotters mit rund 78 t Schwermineralen gesamt (rund 66 t aus Sandfraktionen und ca. 11 t aus Schlufffraktionen). Die gruppenbezogenen Mittelwerte (als Mediane) finden sich im Anhang (Tab. C-1).

Die mittleren mineralogischen Zusammensetzungen der Schwermineralkonzentrate aus Sedimenten der Molasse werden in den nachfolgenden Abb. 32 bis Abb. 35 beschrieben. Gruppenbezogene Mittelwerte der Schwermineralzusammensetzungen für OSMj, OSMm, Quarzrestschotter und Ortenburger Schotter sind im Anhang (Tab. D-1) aufgeführt.

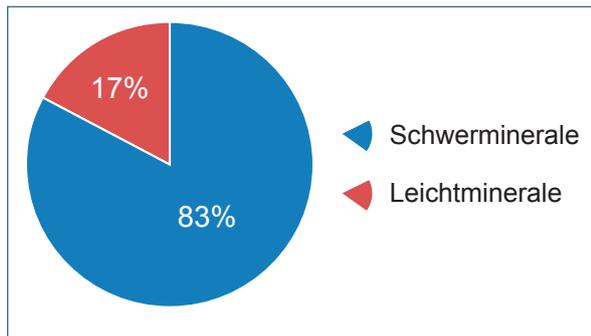


Abb. 32: Leicht- und Schwermineralverteilung der Sandfraktion im Ablagerungsraum der Molasse.

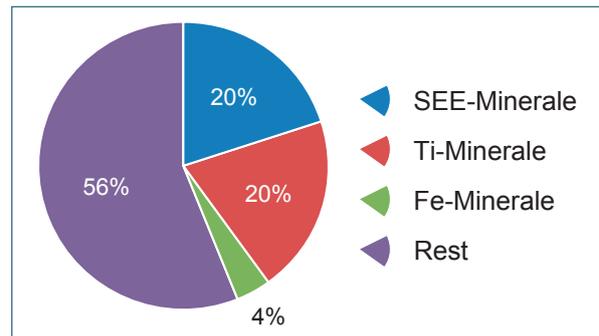


Abb. 33: Schwermineralzusammensetzung der Sandfraktion im Ablagerungsraum der Molasse.

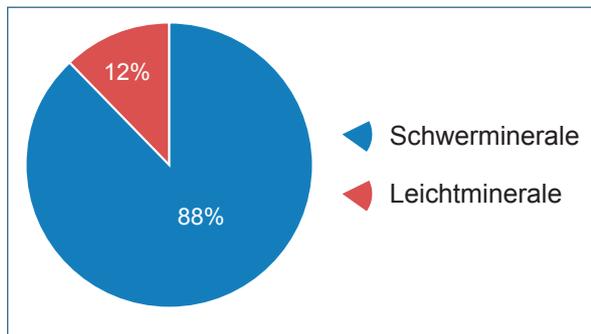


Abb. 34: Leicht- und Schwermineralverteilung der Schlufffraktion im Ablagerungsraum der Molasse.

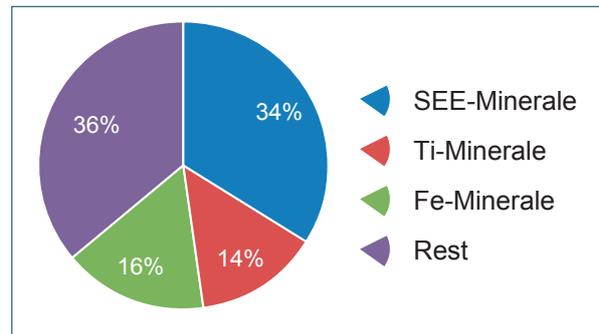


Abb. 35: Schwermineralzusammensetzung der Schlufffraktion im Ablagerungsraum der Molasse.

Der mittlere Abtrenngrad von Sand- und Schluff-Fractionen der Molasseablagerungen liegt mit 17% (Abb. 32) und 12% (Abb. 34) in der gleichen Größenordnung. Der mittlere prozentuale Gehalt an SEE-Mineralen in Sand- (Abb. 33) und Schluff-Fractionen (Abb. 35) unterscheidet sich dabei um 14% absolut. Die Gruppe der SEE-Mineralen in den Sandfraktionen setzt sich hauptsächlich aus Epidot, untergeordnet aus Zirkon und Fluor-Apatit sowie stark untergeordnet aus Monazit zusammen. Im Schluffbereich werden die SEE-Mineralen dominiert von Epidot, gehaltsmäßig sukzessive gefolgt von Fluor-Apatit, Zirkon und stark untergeordnet von Monazit. Mit abnehmender Häufigkeit bilden Rutil, Ilmenit und Anatas jeweils die Gruppe der Titan-Mineralen in beiden Kornspektren. Die Eisen-Mineralen bestehen in beiden Fraktionen hauptsächlich aus Goethit und Hämatit, wobei Goethit hauptsächlich in den Schluff-Fractionen von OSMj, OSMm und Ortenburger Schotter angereichert ist, im Quarzrestschotter jedoch ganz fehlt.

Die Abb. 36 und Abb. 37 zeigen die SEE-Verteilungsmuster der Schwermineralkonzentrate jeweils aus der Sand- und der Schlufffraktion aller analysierten Proben aus der Molasse.

Bis auf wenige Ausreißer entsprechen sich die Verhältnisse beider Fraktionen in Größenordnung und Verlauf weitgehend, wobei eine leichte Erhöhung der Verhältnisse in der Schluff-Fraktion gegenüber der Sand-Fraktion erkennbar wird. Eine negative Eu- Anomalie ist in beiden deutlich ausgebildet; die Leichten SEE sind gegenüber den Schweren SEE deutlich angereichert, der Verlauf ab Europium ist nahezu als waagrecht zu bezeichnen.

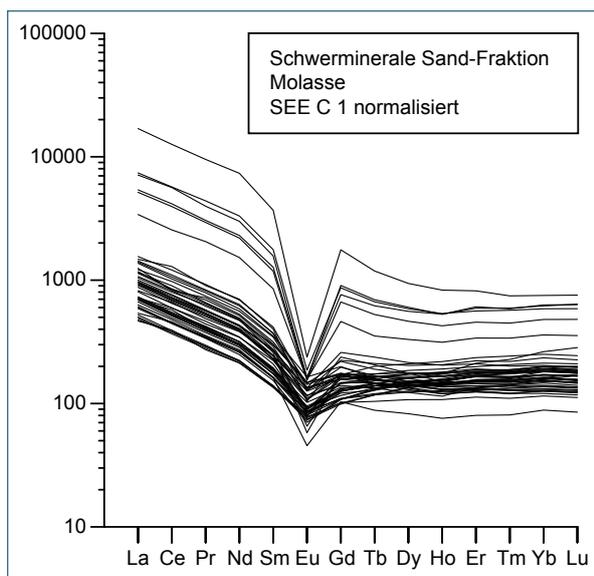


Abb. 36: SEE Verteilungsmuster für die analysierten Sandfraktionen der Molasse.

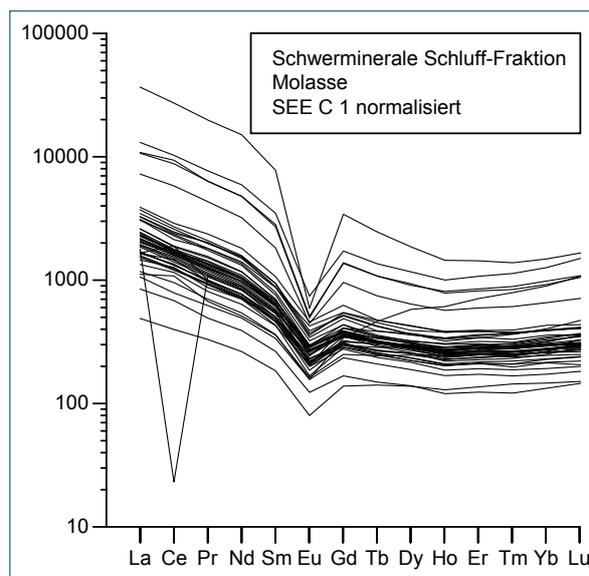


Abb. 37: SEE Verteilungsmuster für die analysierten Schlufffraktionen der Molasse.

Entsprechend den aufgeführten SEE-Verteilungsmustern (Abb. 36 und Abb. 37) ist in nachfolgender Abb. 38 die erhöhte potenzielle Ausbeute an LREE gegenüber den HREE zu erkennen. Dies gilt generell für die vier betrachteten Stratigraphiegruppen der Molasse-Sedimente. Die hohe Streuung der Minimalwerte ist, außer beim Quarzrestschotter, signifikant. Extremwerte (Ausreißer) sind nur in den ersten beiden Gruppen (OSMj und OSMm) zu verzeichnen.

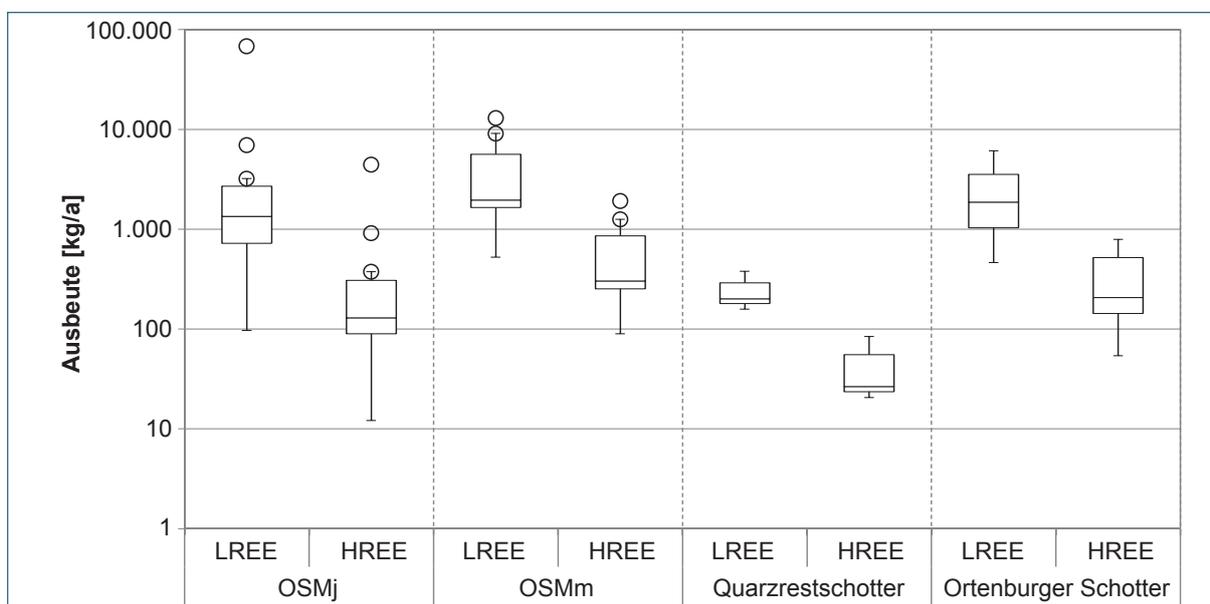


Abb. 38: Mittlere Ausbeute an Leichten (LREE) und Schwere (HREE) SEE-Oxiden in der Molasse, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000 t.

Wie durch die Mediane angegeben, lassen sich pro 100.000 t gefördertem Rohstoff zwischen maximal ca. 2,26t SEE-Oxide (1,96t LREE + 0,30t HREE) bei der OSMm, gefolgt von ca. 2,08t SEE-Oxide (1,87t LREE + 0,21t HREE) bei dem Ortenburger Schotter und minimal ca. 0,30t SEE-Oxide

(0,27 t LREE + 0,03 t HREE) beim Quarzrestschotter gewinnen (Abb. 38; s.a. Einzelwerte in Tab. B-1 bis Tab. B-4 und statistische Maßzahlen zu allen Gruppen in Tab. E-1, Anhang). Unabhängig von den vier Stratigraphiegruppen sind aus Molasse-Sedimenten im Mittel (Median) pro 100.000 t Rohstoff potenziell ca. 1,74 t Leichte und ca. 0,25 t Schwere SEE-Oxide gewinnbar. Das mittlere Verhältnis von Leichten zu Schwere SEE beträgt 6,91.

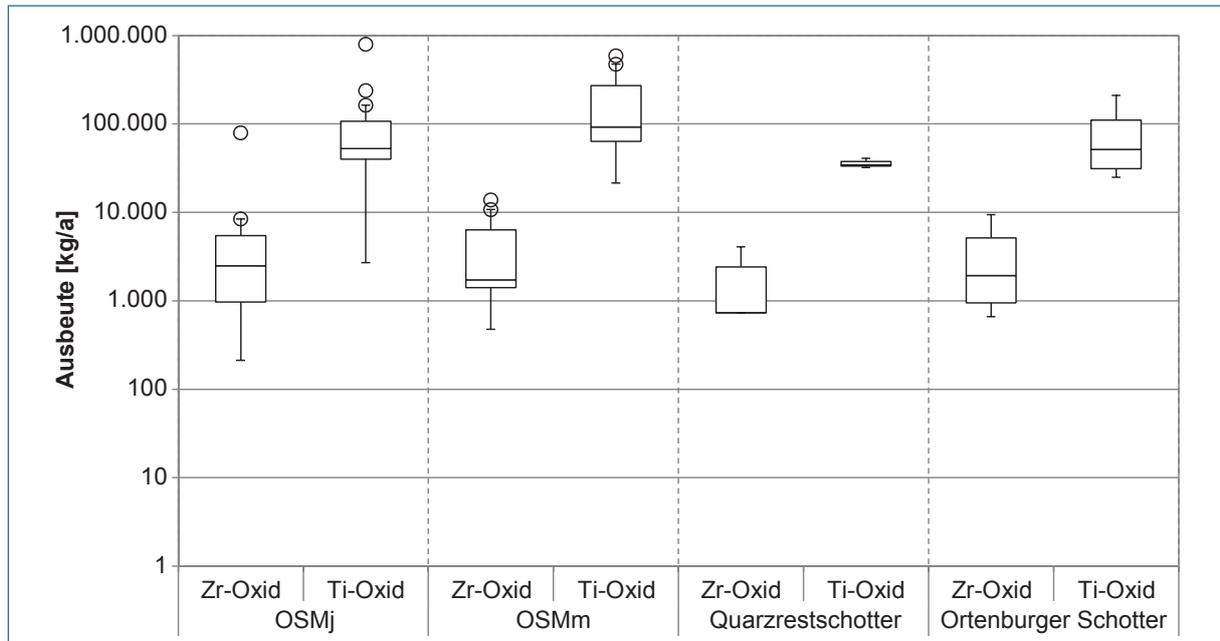


Abb. 39: Mittlere Ausbeute an Zr- und Ti-Oxid im Molasseraum, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000 t.

Darüber hinaus existiert ein relativ hohes mittleres Potenzial (Mediane) an Zirkonium- und Titan-Oxid, das zwischen ca. 0,73 t und 2,48 t für Zirkonium-Oxid und zwischen ca. 34,51 t und ca. 92,25 t für Titan-Oxid bei den betrachteten Gruppen liegt (Abb. 39). Die Mediane aus allen zusammengefassten Molasse-Sedimenten betragen ca. 1,73 t für Zirkon-Oxid sowie ca. 62,20 t für Titan-Oxid (s.a. Einzelwerte in Tab. B-1 bis Tab. B-4 und statistische Maßzahlen zu allen Gruppen in Tab. E-1, Anhang). Dieses Potenzial ist damit um ein Vielfaches höher als das der Leichten und Schwere SEE-Oxide (vgl. Abb. 38).

4.3 Quartär

Eine zusammenfassende Beschreibung der beprobten und untersuchten Gletscherablagerungen im Voralpenraum (Abb. 40) soll im Folgenden gegeben werden. Dabei werden jeweils Gemeinsamkeiten bzw. Besonderheiten der in sieben Einheiten untergliederten und analysierten Gruppen dargestellt und erläutert. Als Einteilungskriterium fungieren die ehemaligen, namentlich benannten Gletscher, die das Material zur Ablagerung brachten.

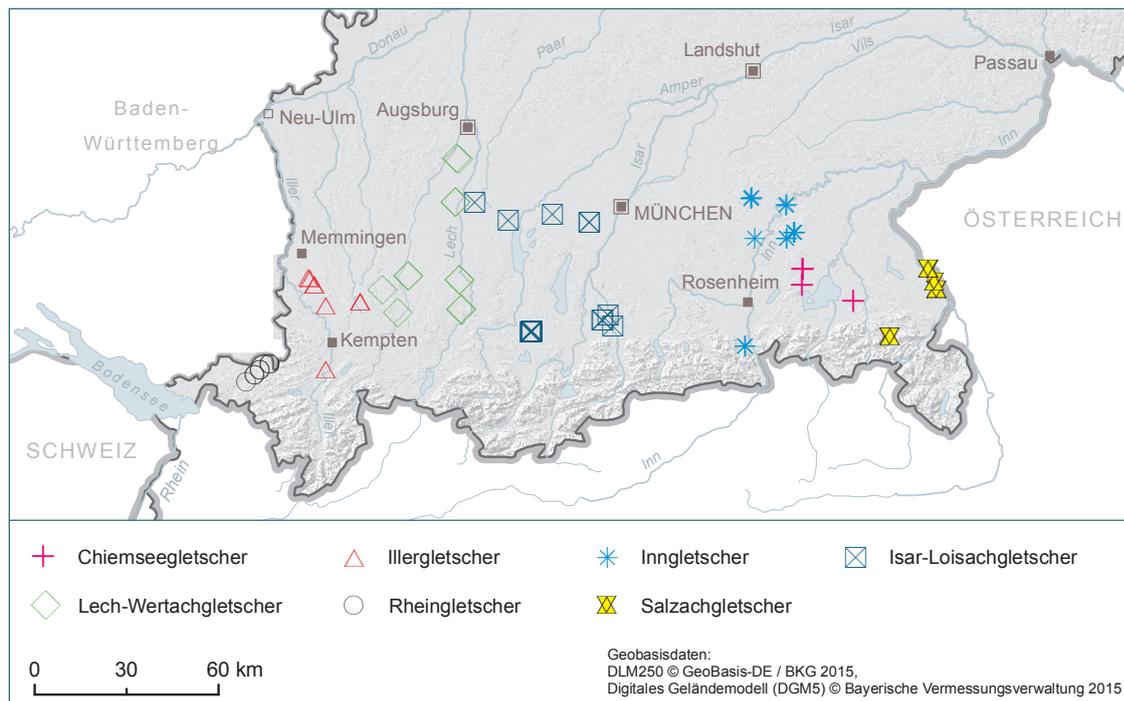


Abb. 40: Probennahmepunkte aus dem quartären Untersuchungsgebiet.

Es wurden hierbei insgesamt 38 Lokationen befahren und dabei 73 Proben gezogen (vergleiche Tab. 1). Durch Vorabsiebungen der Sand-Kies-Rohstoffe im Gelände, bei dem der Kies- und Steinanteil (> 2 mm) bestimmt und abgetrennt wurde, konnte ein durchschnittliches Verhältnis (arith. Mittelwert) der Fraktionen < 2 mm zu > 2 mm (Sand und Schluff zu Kies und Steine) von 22 % zu 78 % ermittelt werden. Die Verhältnisse reichen dabei von 14 % zu 86 % (Rheingletscher) über 21 % zu 79 % (Inngletscher) bis zu 30 % zu 70 % für den Chiemseegletscher. Die Kies- (und Stein-) fraktionen wurden jeweils bereits im Gelände verworfen, so dass darüber keine weiteren Aussagen getroffen werden können. Das Material < 2 mm der untersuchten Gletscher weist einen geringen Prozentsatz (< 10 %) an abschlämmbaren Anteilen ($< 0,063$ mm) auf. Es handelt sich ausschließlich um fein- bis mittelkörnige Sande, mit einem geringen Anteil an Grobsanden. Die Ablagerungen der Gletscher sind demnach den Molassesedimenten sehr ähnlich (Abb. 41).

Die mittleren Schwermineralgehalte (als Mediane, kenntlich an den Querstrichen der einzelnen Boxplots) der sieben untersuchten Gruppen, aufgetrennt in unterschiedliche Korngrößenbereiche werden in nachfolgender Abb. 42 dargestellt. Weiterführende Hinweise zur Interpretation der dargestellten statistischen Größen mittels Boxplot dieser und nachfolgender Abbildungen finden sich dazu im Anhang („Erklärungen zur Statistik“ auf Seite 66).

Aus obiger Übersicht wird deutlich, dass generell die höheren und höchsten Gehalte an Schwermineralen in den Fraktionen 125–250 µm und 63–125 µm auftreten (Abb. 42). Jeweils in den gröberen und feineren Kornklassen sind diese deutlich geringer. In nahezu jeder Gruppe finden sich positive Extremwerte, die Proben mit deutlich höheren Gehalten repräsentieren. Es ist ein signifikanter Anstieg der Gehalte in den vier östlichen Ablagerungsgebieten gegenüber den drei westlichen zu verzeichnen. Die Streuung der Werte ist allerdings im östlichen Gebiet auch größer als im westlichen.

Auf Grundlage dieser mittleren Schwermineralgehalte können auf Basis der vorhandenen Anzahl von Abbaustellen und jeweils mittlerer Jahresförderleistungen von 100.000 t nachfolgende mittlere theoretische Schwermineralausbeuten für die sieben angegebenen Gruppen angegeben werden (Abb. 43).

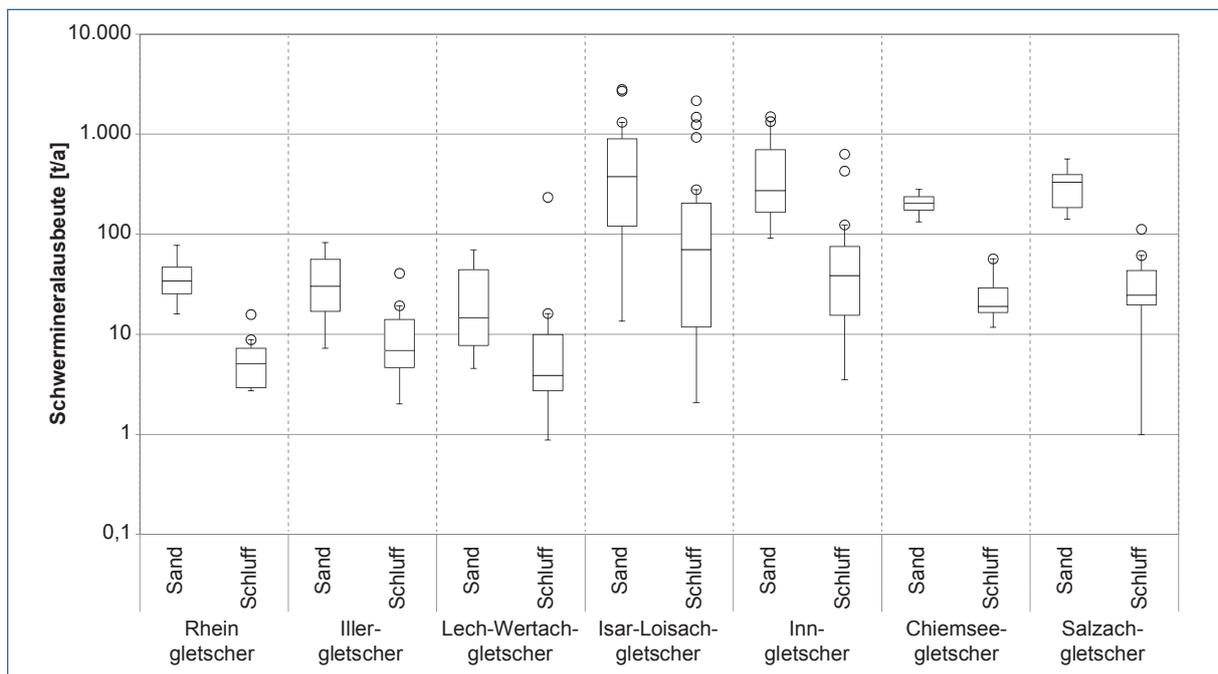


Abb. 43: Übersicht der mittleren Schwermineralausbeuten im gesamten Ablagerungsgebiet des Quartärs, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000 t.

Generell ist eine Anreicherung der Schwerminerale im Sand- gegenüber dem Schluffbereich festzustellen (Abb. 43). Entsprechend der vorangegangenen Abbildung (Abb. 42) lässt sich hier eine deutlich höhere potenzielle Schwermineralausbeute in den vier östlichen Gletschern gegenüber den westlichen erkennen. Extremwerte sind in fast allen Einheiten zu verzeichnen. Die größten theoretischen mittleren Ausbeuten, sowohl im Sand als auch im Schluff, liegen demnach im Bereich des Isar-Loisach-Gletschers mit rund 448 t Schwermineralen (ca. 378 t aus Sandfraktionen und ca. 70 t aus Schlufffraktionen). Die kleinsten mittleren Ausbeuten liegen im Bereich des Lech-Wertach-Gletschers mit rund 19 t Schwermineralen gesamt (ca. 15 t aus Sandfraktionen und ca. 4 t aus Schlufffraktionen). Die gruppenbezogenen Mittelwerte (als Mediane) finden sich im Anhang (Tab. C-2 und Tab. C-3).

Die mittleren mineralogischen Zusammensetzungen der Schwermineralkonzentrate aus Sedimenten des Quartärs werden in den nachfolgenden Abb. 44 bis Abb. 47 beschrieben. Die gruppenbezogenen Mittelwerte der Schwermineralzusammensetzungen für die betrachteten sieben Einheiten sind dazu im Anhang (Tab. D-2 und Tab. D-3) aufgeführt.

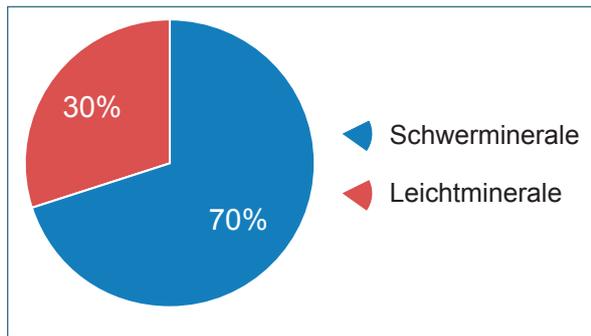


Abb. 44: Leicht- und Schwermineralverteilung der Sandfraktion im Ablagerungsraum des Quartärs.

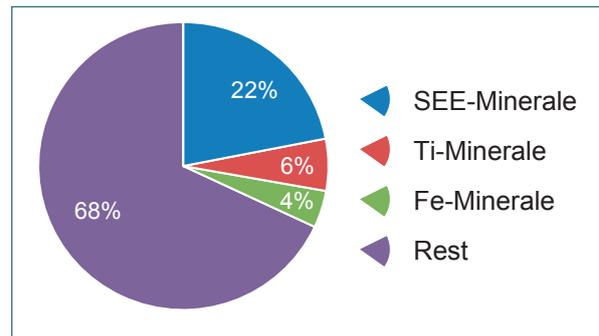


Abb. 45: Schwermineralzusammensetzung der Sandfraktion im Ablagerungsraum des Quartärs.

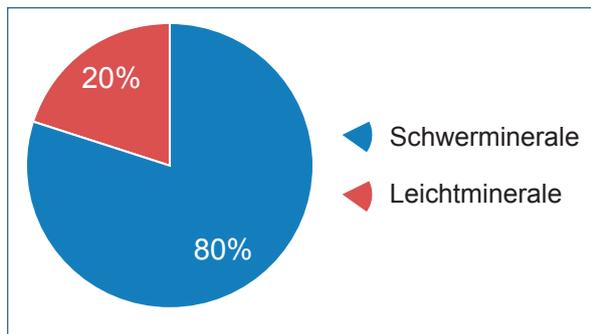


Abb. 46: Leicht- und Schwermineralverteilung der Schlufffraktion im Ablagerungsraum des Quartärs.

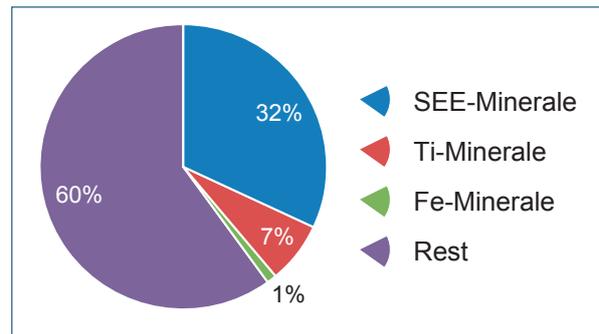


Abb. 47: Schwermineralzusammensetzung der Schlufffraktion im Ablagerungsraum des Quartärs.

Mit 70% und 80% ist der Abtrenngrad der Schwerminerale in Sand- (Abb. 44) bzw. Schlufffraktion (Abb. 46) nahezu identisch. Die SEE-Minerale setzen sich hauptsächlich aus Epidot und Fluorapatit sowie untergeordnet aus Zirkon zusammen. In der Schlufffraktion ist der Anteil an Zirkon allerdings deutlich höher. Mit 6% bzw. 7% Ti-Mineralen ist die Schwermineralzusammensetzung bei beiden nahezu gleich. Der einzige Unterschied ist, dass in der Schlufffraktion mehr Ilmenit als in der Sandfraktion vorhanden ist. Eisen-Minerale sind generell im Quartär nicht so häufig. In der größeren Kornfraktion ist Magnetit und Goethit, untergeordnet Hämatit zu verzeichnen; im Schluffbereich bestreiten diese drei Eisenminerale zu annähernd gleichen Teilen den Gehalt von 1 M.-% (Abb. 45 und Abb. 47).

Die Abb. 48 und Abb. 49 zeigen die SEE-Verteilungsmuster der Schwermineralkonzentrate jeweils aus der Sand- und der Schlufffraktion aller analysierten Proben aus dem Quartär.

Die Verhältnisse beider Fraktionen entsprechen sich im Verlauf weitgehend, Ausreißer treten nicht auf. Die SEE-Verteilungen aus Proben der Schluff-Fraktion sind gegenüber denen der Sandfraktion deutlich erhöht (um knapp eine halbe Größenordnung). Eine negative Eu-Anomalie ist in beiden deutlich ausgebildet; die Leichten SEE sind gegenüber den Schweren SEE deutlich angereichert, der Verlauf ab Europium ist nahezu als waagrecht zu bezeichnen.

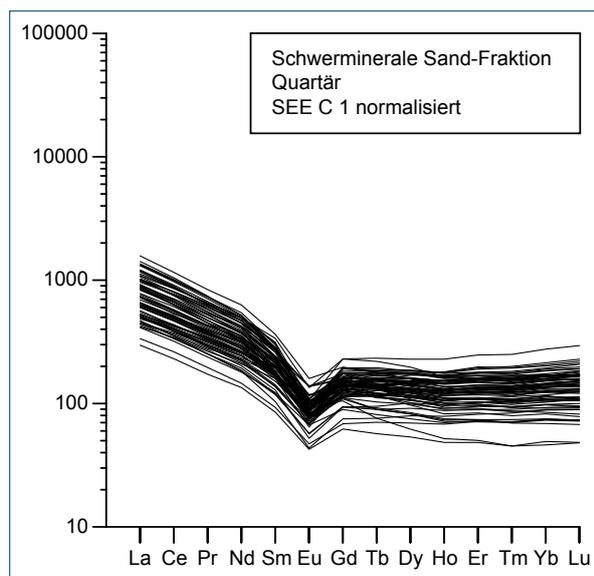


Abb. 48: SEE Verteilungsmuster für die analysierten Sandfraktionen der quartären Ablagerungen.

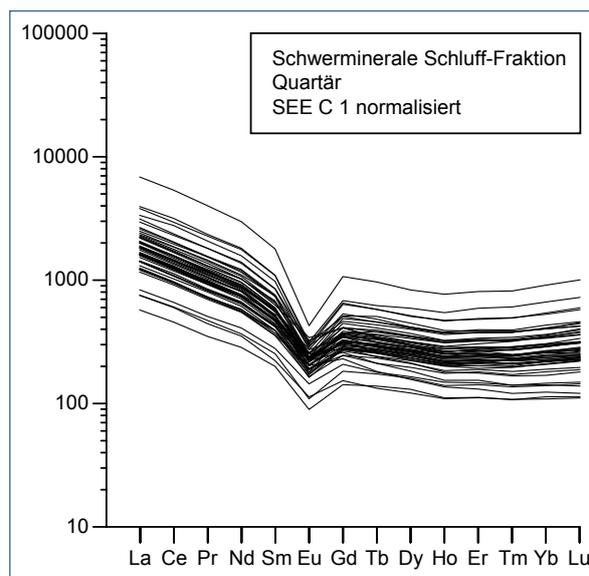


Abb. 49: SEE Verteilungsmuster für die analysierten Schlufffraktionen der quartären Ablagerungen.

Entsprechend den aufgeführten SEE-Verteilungsmustern (Abb. 48 und Abb. 49) ist in der nachfolgenden Abbildung (Abb. 50) die erhöhte potenzielle Ausbeute von LREE gegenüber den HREE (beide als Mediane) zu erkennen. Dies gilt generell für die sieben betrachteten Gruppen der Quartär-Sedimente. Eine hohe Streuung der Minimal- und Maximalwerte sowie positive Extremwerte (Ausreißer) sind in allen Gruppen, außer beim Chiemsee- und Salzachgletscher, signifikant.

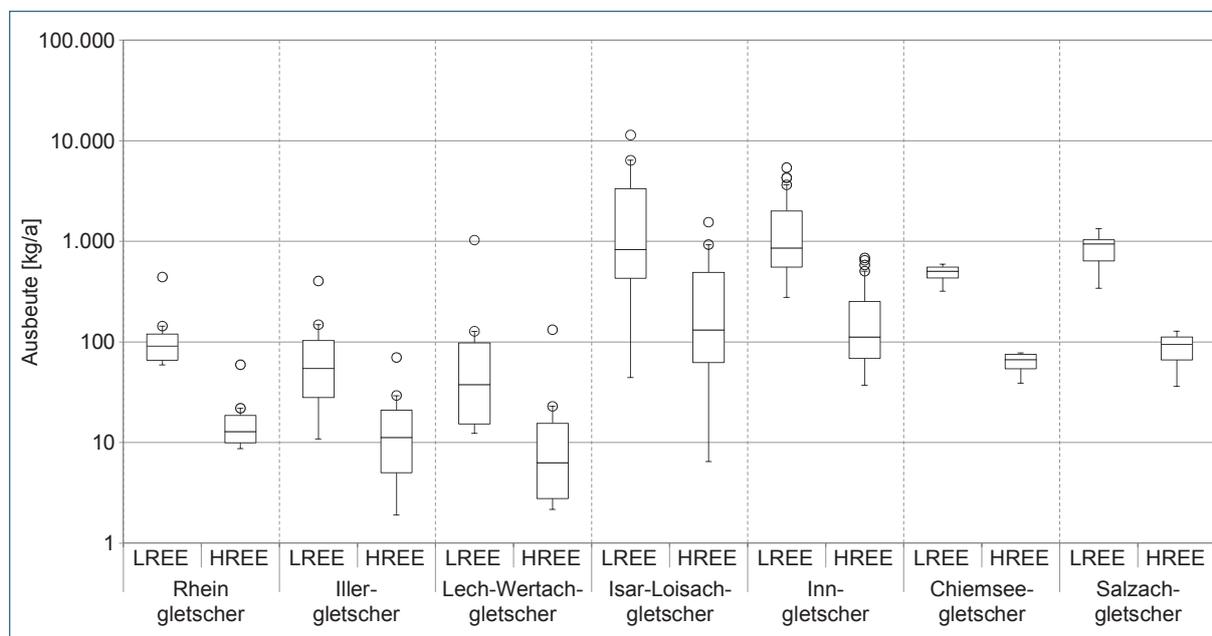


Abb. 50: Mittlere Ausbeuten an Leichten (LREE) und Schweren (HREE) SEE-Oxiden im Quartär, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000 t.

Wie durch die Mediane angegeben, lassen sich pro 100.000 t gefördertem Rohstoff zwischen maximal ca. 1,03 t SEE-Oxide (0,94 t LREE + 0,09 t HREE) aus dem Salzach-Gletscher und minimal ca. 0,05 t SEE-Oxide (0,04 t LREE + 0,006 t HREE) aus dem Lech-Wertach-Gletscher gewinnen (Abb. 50; s.a. Einzelwerte in Tab. B-5 bis Tab. B-11 und statistische Maßzahlen zu allen Gruppen in Tab. E-2, Anhang). Generell liegen die westlichen Gletscherablagerungen (Rhein, Iller, Lech-Wertach) mit ca. 0,1 t mittleren gewinnbaren SEE-Oxiden (LREE + HREE) deutlich unterhalb der potenziellen Ausbeute von ca. 0,8 t der östlichen Gletscher (Isar-Loisach, Inn, Chiemsee, Salzach). Unabhängig von den sieben Stratigraphiegruppen sind aus diesen Quartär-Sedimenten im Mittel (Median) pro 100.000 t Rohstoff potenziell ca. 0,50 t Leichte und ca. 0,07 t Schwere SEE-Oxide gewinnbar. Das mittlere Verhältnis von Leichtem zu Schwerem SEE beträgt 7,07.

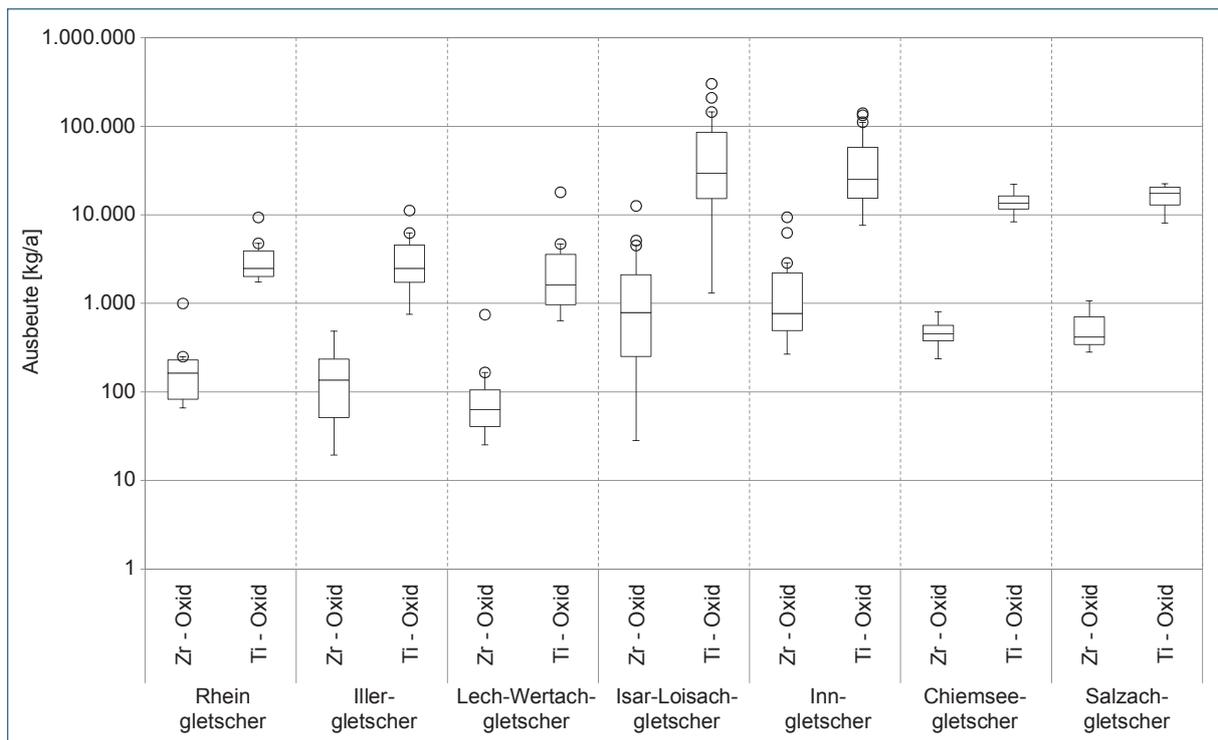


Abb. 51: Mittlere Ausbeute an Zr- und Ti-Oxid im Quartär, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000 t.

Darüber hinaus existiert ein Potenzial (Mediane) an Zirkonium- und Titan-Oxid, das zwischen ca. 0,06 t und 0,79 t für Zirkonium-Oxid und zwischen ca. 1,62 t und 29,48 t für Titan-Oxid bei den betrachteten Gruppen liegt (Abb. 51). Die Mittelwerte (Mediane) aus allen Quartär-Sedimenten betragen ca. 0,40 t für Zirkon-Oxid sowie ca. 13,7 t für Titan-Oxid (s.a. Einzelwerte in Tab. B-5 bis Tab. B-11 und statistische Maßzahlen zu allen Gruppen in Tab. E-2, Anhang). Dieses Potenzial ist damit um Größenordnungen höher als das der Leichten und Schweren SEE-Oxide (vgl. Abb. 50). Ebenso wie bei den SEE's findet sich auch hier anhand der deutlichen Unterschiede in den potenziellen Ausbeuten eine markante Unterscheidung zwischen den westlichen Gletschern und der östlichen Gruppe.

Die mittlere potenzielle Ausbeute an Ti-Oxid ist gegenüber der an Zr-Oxid in allen sieben Gletschern deutlich erhöht (Abb. 51). Die höchsten Ausbeuten für Ti-Oxid finden sich im Isar-Loisach- und Inn-gletscher.

5 Rohstoffe und Wirtschaftlichkeit

5.1 Vergleich der stratigraphischen Einheiten und Auswertung

5.1.1 Auswertung Molasse

Aus den Daten des Kapitels 4.2 ist ersichtlich, dass es keine erkennbaren Zusammenhänge zwischen dem Gehalt an Schwermineralen (und in Konsequenz den Gehalten an SEE, Ti-Oxid und Zr-Oxid) und der geographischen Lage und Verteilung der Probenahmepunkte gibt. Die Schwermineralgehalte sind in allen untersuchten Gruppen in der Kornfraktion von 63–125 µm am höchsten und generell in der Sandfraktion höher als in der Schlufffraktion. Die Siebkurven zeigen, dass die untersuchten Sandrohstoffe (nach Abtrennung der Kiesfraktion) Fein- und Mittelsande sind, in deren Kornbereich auch das Maximum an Schwermineralen zu finden ist. Abgesehen vom Quarzrestschotter (QRS) besitzen die restlichen drei stratigraphischen Gruppen ähnliche Gehalte und potenzielle Ausbeuten an den untersuchten Elementen und Oxiden. In diesem Residualsediment aus der Schüttung des Nördlichen Vollschoeters fand im Laufe der Ablagerungsgeschichte eine Sedimentationspause statt (WEINIG et al. 1984), die zu tiefgründiger Verwitterung, Auslaugung und Kaolinitisierung führte. Aus diesem Grund findet sich in den untersuchten Proben dieser Einheit überdurchschnittlich viel Ton, was auch mit den Aussagen des vorher genannten Autors korreliert. In der mineralogischen Analyse sind, im Gegensatz zu allen anderen Proben, keine Eisenhaltigen Minerale mehr nachweisbar, was mit der vorher genannten Auslaugung in Verbindung gebracht werden kann. Des Weiteren findet sich kein Granat, dafür aber Turmalin, Andalusit und Staurolith, welche ausschließlich in dieser Einheit präsent sind. Grund dafür ist die relativ hohe chemische und physikalische Verwitterungsresistenz dieser Schwerminerale. Rutil ist im Quarzrestschotter nahezu das einzige Titanmineral.

Alle anderen stratigraphischen Gruppen (Jüngere und Mittlere Obere Süßwassermolasse und Ortenburger Schotter) zeigen hauptsächlich Goethit als Eisenmineral, wobei generell deutlich erhöhte Gehalte von Eisen-Mineralen in der Schlufffraktion zu finden sind.

5.1.2 Auswertung Quartär

Die erhobenen Daten im Kapitel 4.3 zeigen, dass die aus dem Rohstoff gewinnbaren Sande mit ihrem Kornmaximum überwiegend in der Fein- bis Mittelsandfraktion liegen, was mit der tatsächlichen Ausbeute an Schwermineralen korreliert, da in den Fraktionen 125–250 µm und 63–125 µm die höchsten Schwermineral-Gehalte zu finden sind. Wie bei den Proben der Molasse ist auch hier die Ausbeute an Schwermineralen im Sand höher als im Schluff, was durch das „natürlich vorgegebene“ Korngrößenmaximum der Schwerminerale in der Sandfraktion erklärbar ist. In den drei westlichsten Gletschern (Rhein-, Iller- und Lech-Wertachgletscher) sind die Schwermineralgehalte und –ausbeuten und in Konsequenz die Gehalte an SEE-Mineralen deutlich geringer als in den östlichen Gletschern (Abb. 50). Die wichtigen SEE-Lieferanten sind in den quartären Ablagerungen hauptsächlich die Schwerminerale Epidot und untergeordnet Fluor-Apatit. Rutil ist das vorherrschende Titan-liefernde Mineral, Anatas und Ilmenit spielen hierbei nur eine untergeordnete Rolle. In allen analysierten Proben tritt hier Amphibol als dominierendes Schwermineral, gefolgt von Granat auf.

5.1.3 Vergleich Gesamtbayern

Im folgenden Kapitel sollen die untersuchten Einheiten der Molasse und der quartären Ablagerungen Südbayerns denen aus Nordbayern gegenübergestellt und mit deren Schwermineralgehalten und potenziellen Ausbeuten an LREE, HREE, Ti Oxid und Zr Oxid verglichen und diskutiert wer-

den. Die Daten der Molasse- und Quartärablagerungen sind im Rahmen dieses Projektes selbst erhoben und den zusammengefassten Daten aus Nordbayern (entnommen dem publizierten Bericht „Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente (SEE) – Teilprojekt I“ (LINHARDT und GEBHARDT 2014) gegenübergestellt. Einzelwerte sind bei Bedarf dieser Publikation zu entnehmen.

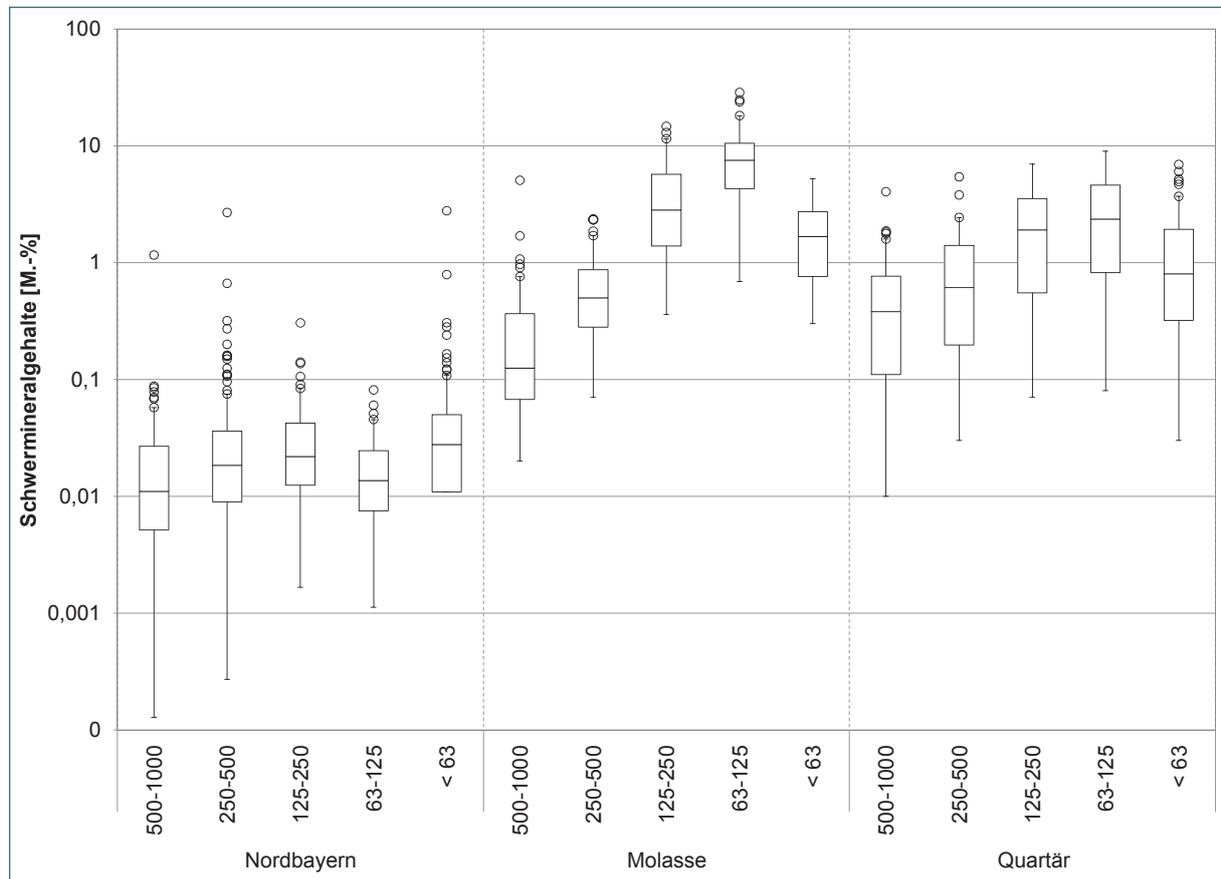


Abb. 52: Schwermineralgehalte der einzelnen Fraktionen in Sedimenten Nordbayerns und den Molasse- und Quartärablagerungen Südbayerns.

Tendenziell ist zu erkennen, dass die Schwermineralgehalte in den beprobten Gruben Nordbayerns im Vergleich zu denen der Molasse und des Quartärs deutlich niedriger sind (Abb. 52). Weiterhin ist in dieser Gruppe (erste Boxplot-Gruppe) kein deutlicher Anstieg der Gehalte mit gering werdenden Korngrößen festzustellen, wie es in den beiden südbayerischen Gebieten der Fall ist. Hier liegt das Maximum mit Medianen von 7,5 M.-% und 2,4 M.-% in der Fraktion 63–125 μm und somit deutlich höher als in Nordbayern mit 0,014 M.-%. Die Streuung ist in allen drei Gruppen relativ ähnlich. Auffällig ist, dass deutlich mehr Extrem- oder Ausreißerwerte in den Sedimentgesteinen Nordbayerns zu finden sind.

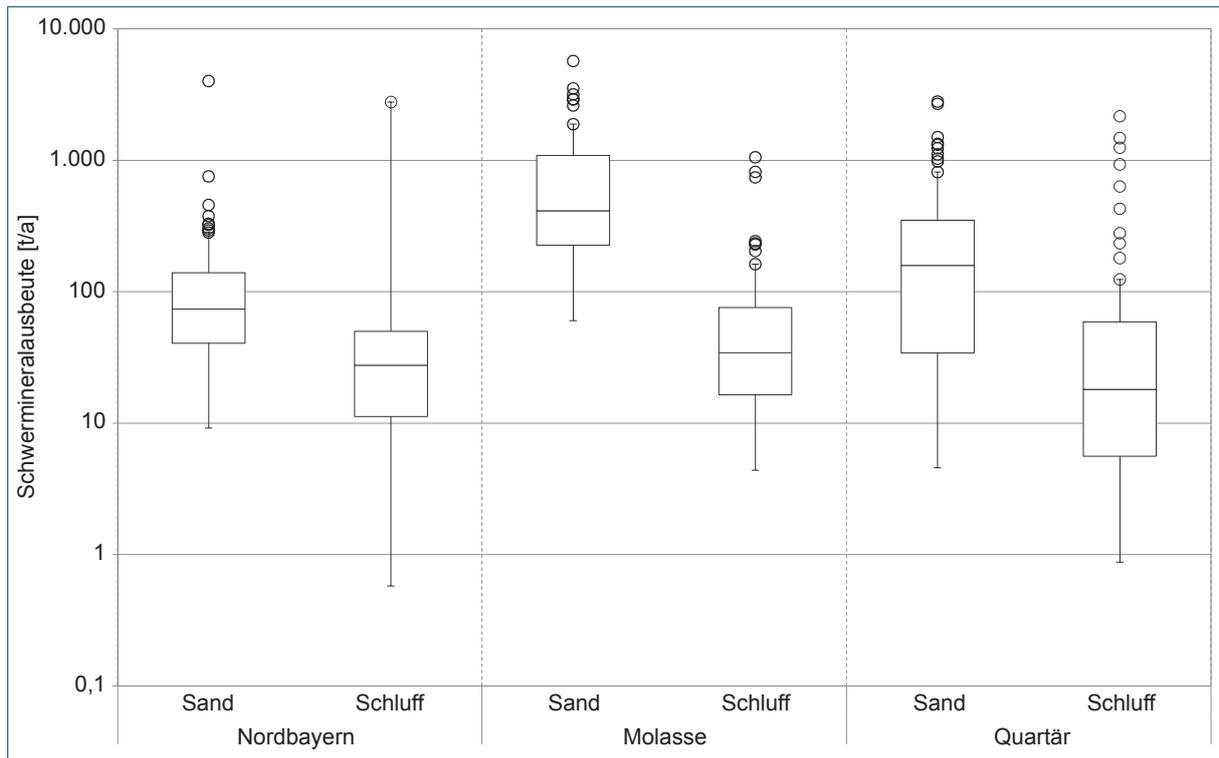


Abb. 53: Übersicht der Schwermineralausbeuten in Nordbayern, der Molasse und des Quartärs.

In Abb. 53 wird deutlich, genau wie schon zuvor in Abb. 52, dass die potenzielle mittlere Ausbeute an Schwermineralen in Nordbayern zwar im Sand und Schluff vergleichbar aber jeweils geringer ist als die der Molasse bzw. der Ablagerungen des Quartärs. In den südlichen Ablagerungsräumen dagegen sind die potenziellen Schwermineralausbeuten im Sand gegenüber denen im Schluff deutlich erhöht. Die mittleren Ausbeuten (Median) für Nordbayern liegen bei jeweils 73,8 t/a und 27,6 t/a (Sand bzw. Schluff). Die Molasseablagerungen hingegen zeigen Mittelwerte (Mediane) für Sand und Schluff von jeweils 412,9 t/a und 34,3 t/a, im Quartär ergeben sich jeweils Mediane von 158,6 t/a und 18,1 t/a. Alle Angaben beziehen sich hierbei jeweils auf eine „mittlere“ Menge eines unaufbereiteten Rohstoffes von 100.000 t, unterteilt in Schluff- und Sand-Fractionen, aus dem angegebenen geologisch-stratigraphischen Bereich.

Die Abb. 54 und Abb. 55 zeigen, dass sich die SEE-Verteilungsmuster der drei Bereiche weitestgehend bis auf wenige Ausreißer entsprechen. Alle Muster weisen sowohl die Anreicherung von Leichten gegenüber den Schweren SEE als auch die charakteristische negative Eu-Anomalie auf. Diese ist allerdings in den Proben aus Nordbayern deutlicher ausgebildet. Für die Anreicherungsfaktoren gesprochen heben sich die hohen Verhältnisse der nordbayerischen Schwermineralfraktionen deutlich von den niedrigen der quartären Sedimente ab; die tertiären Schwermineralassoziationen liegen mit ihren Verhältnissen breit aufgefächert dazwischen.

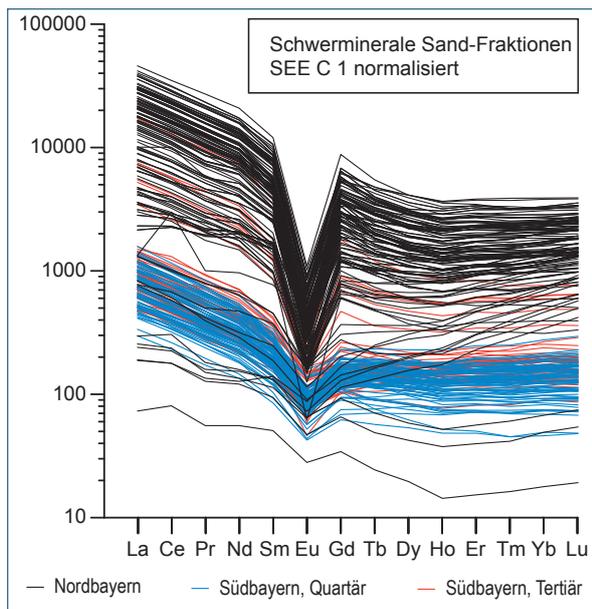


Abb. 54: SEE Verteilungsmuster für die analysierten Sandfraktionen der Proben aus Nordbayern, der Molasse und des Quartärs.

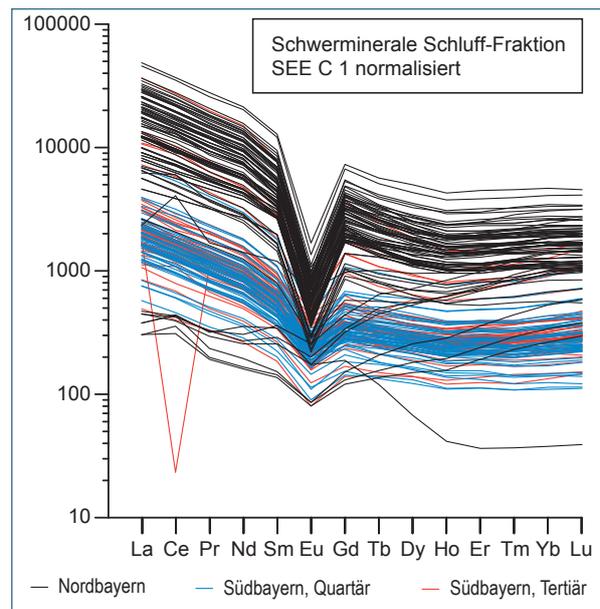


Abb. 55: SEE Verteilungsmuster für die analysierten Schlufffraktionen der Proben aus Nordbayern, der Molasse und des Quartärs.

Wie schon die beiden vorangegangenen Abbildungen zeigt auch Abb. 56 für alle drei Untersuchungsgebiete ein Überwiegen der LREE gegenüber den HREE. Die mittlere potenzielle Ausbeute (Median) an Leichten und Schweren SEE beträgt in Nordbayern rund 3,42 t/a und 0,40 t/a, in der Molasse 1,74 t/a und 0,25 t/a und im Quartär 0,49 t/a und 0,06 t/a. Es ist also zu erkennen, dass die potenzielle Ausbeute in Nordbayern deutlich höher ist als die in Südbayern. Positive Extremwerte sind durchweg vorhanden (Abb. 56).

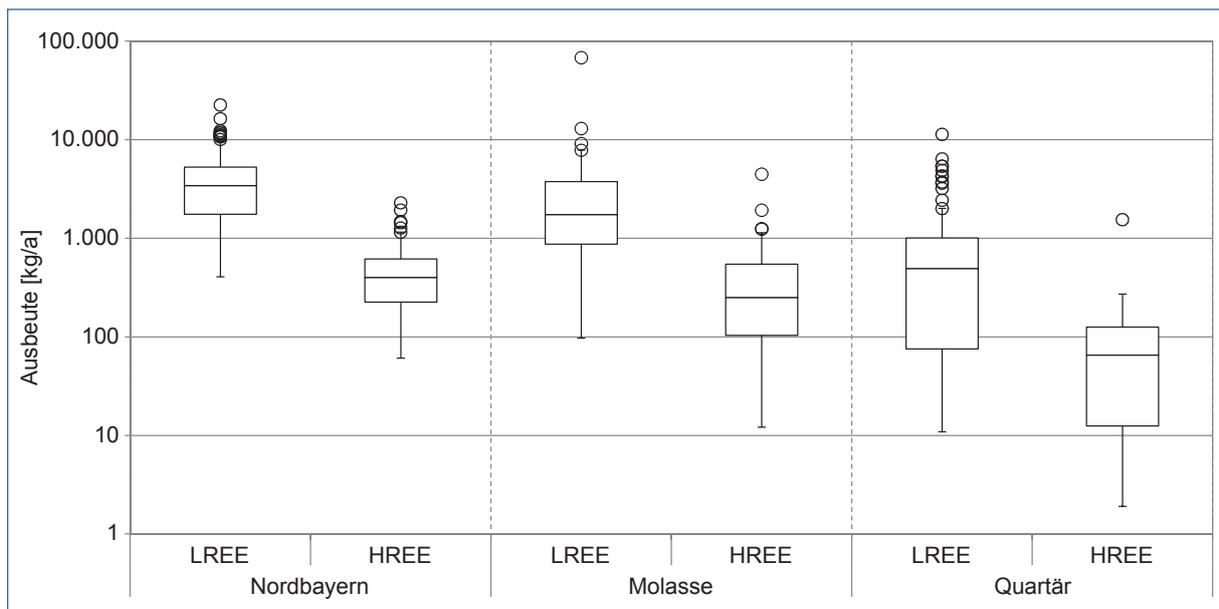


Abb. 56: Mittlere Ausbeute an Leichten (LREE) und Schweren (HREE) SEE-Oxiden in Nordbayern, der Molasse und des Quartärs Südbayerns.

In der Molasse ist mit durchschnittlich 62,20 t/a die Ausbeute an Ti-Oxid am höchsten, wohingegen sie im Norden mit 25,72 t/a und im Quartär 13,79 t/a deutlich weniger beträgt. Zirkoniumoxid ist in Nordbayern mit einer mittleren potenziellen Ausbeute von 8,73 t/a deutlich gegenüber der in der Molasse (1,73 t/a) und des Quartärs (0,40 t/a) erhöht (Abb. 57).

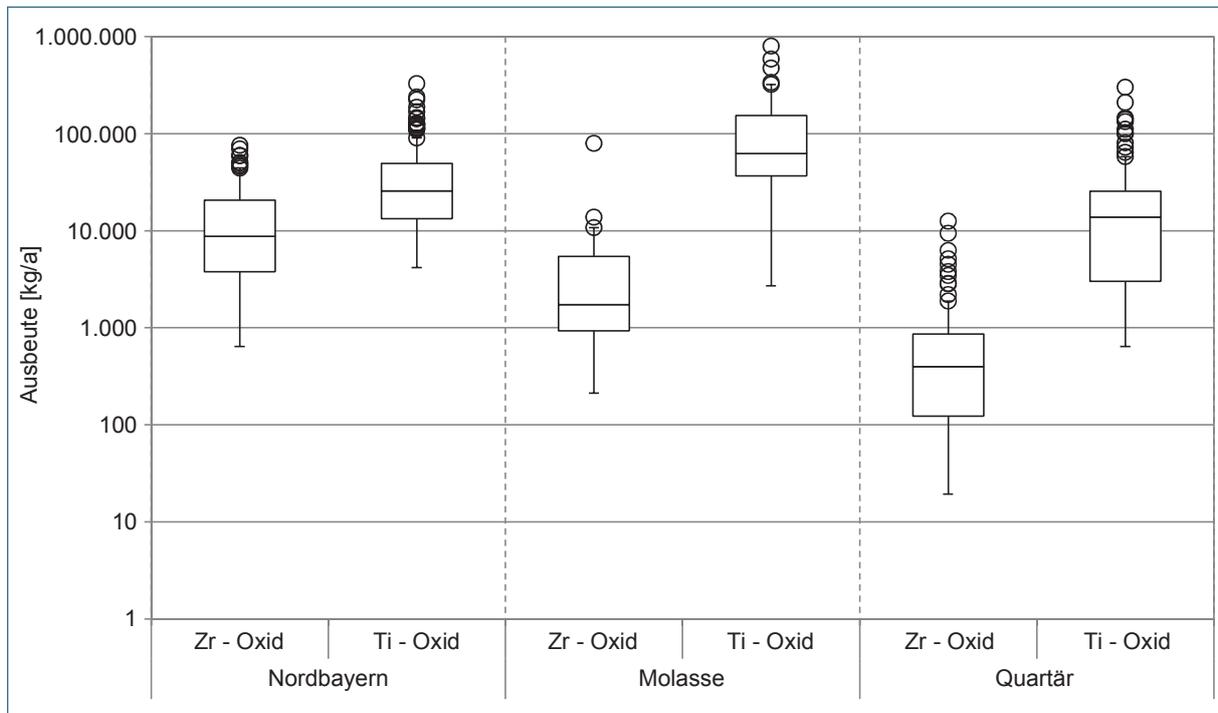


Abb. 57: Mittlere Ausbeute an Zr- und Ti-Oxid in Nordbayern, der Molasse und des quartären Ablagerungsgebietes Südbayerns.

Die Liefergebiete der Molassesedimente sind die Alpen und das Moldanubikum, welche in sich viele magmatische und metamorphe Gesteinseinheiten besitzen und somit genügend geeignetes Ausgangsmaterial zur Verfügung stellen um Schwerminerale zu generieren, die später transportiert und abgelagert werden können. Bei dem Vergleich der SEE-Verteilungsmuster zwischen Nordbayern und der Molasse wird deutlich, dass bei letzterer die Verhältnisse niedriger sind, was direkt auf unterschiedliche Liefergebiete verweist. Deswegen ist davon auszugehen, dass das Moldanubikum und Saxothuringikum, welche das Liefergebiet für die nordbayerischen Mürlsandsteine darstellt, für den Molasse-Ablagerungsraum nicht vorrangig in Frage kommt.

Die quartären Gletscherablagerungen stammen auch aus alpinen Liefergebieten. Anhand der mineralogischen Daten wird ersichtlich, dass sich in Nordbayern das SEE-Mineral-Spektrum vorrangig aus Monazit und Zirkon, beides hauptsächlich magmatisch gebildete Minerale, zusammensetzt. Im Süden Bayerns (Molasse und Quartär) besteht diese Gruppe hingegen hauptsächlich aus Epidot, wobei bei einigen östlichen Beprobungspunkten der Molasse durchaus auch in größeren Mengen Zirkon vertreten ist. Monazit dagegen fehlt mit Ausnahme weniger Proben in allen Kornfraktionen der südlichen Untersuchungsgebiete. Im Schluffbereich der westlichen Molasseproben sowie in den Ablagerungen des Quartärs fand sich zudem noch vermehrt Fluor-Apatit als SEE-Träger. Diese mineralogische Diskrepanz lässt sich nur durch verschiedene Liefergebiete erklären. Der Alpenkörper besteht neben der großen Anzahl an karbonatischen Gesteinen aus Metamorphiten. Darin sind Epidot und Granat die vorrangig gebildeten akzessorischen Minerale. Daher ist davon auszugehen, dass durch die hohen Gehalte an Granat und Epidot, speziell in den quartären Gletscher- und den

westlichen Molasseablagerungen, ein alpines Liefergebiet bestimmend war. Degegen verweisen die höheren Zirkongehalte in den östlichen Molasseablagerungen auf Schüttungen aus dem Moldanubikum. Ganz signifikant sind die erhöhten Zirkonium-Gehalte im Norden Bayerns (Abb. 57), die auch mit der mineralogischen Zusammensetzung der Schwerminerale korrelieren. Hier ist von einem eher magmatisch geprägten Liefergebiet auszugehen, welches sich im Moldanubikum und Saxothuringikum Ostbayerns befindet. Vorrangig sind dort die Granite des Fichtelgebirges und des Oberpfälzer Waldes zu nennen. Trotz höherer Schwermineralgehalte in Südbayern (Abb. 52) sind die potenziellen Ausbeuten (Abb. 56) an Selten Erd Elementen im Norden deutlich erhöht. Das ist auch mit dem erhöhten Vorkommen an Monazit und untergeordnet Zirkon erklärbar, denn in diesen Mineralen sind wesentlich mehr SEE's gebunden als in Epidot (Allanit), welches vorrangig im Süden als SEE-Trägermineral auftritt.

Im Gegensatz zu den Beprobungspunkten in Nordbayern konnte im Süden durchweg Ilmenit nachgewiesen werden, der neben Rutil und Anatas als weiterer Titanlieferant fungiert. Die Gehalte an Titanoxid sind in Südbayern generell höher als in Nordbayern (Abb. 57).

5.2 Positiv-Kriterien der Beifang-Gewinnung aus vorhandenen Abbaustellen

Unabhängig von zukünftig nutzbaren, mittel- und langfristigen Rohstoff-Potenzialen lassen sich folgende Positiv-Kriterien für die Beifang-Gewinnung von Schwermineralkonzentraten aufführen:

Die Beifang-Gewinnung kann theoretisch sofort nach erteilter bergrechtlicher Genehmigung an schon vorhandenen Kies- bzw. Sand-Abbauen durchgeführt werden.

Durch Nutzung der bestehenden Abbaue sind weitere Eingriffe (ggf. auch durch untertägige Abbaue) in Naturraum bzw. Landschaft nicht notwendig.

Da viele der Betriebe in regionalplanerisch festgelegten Rohstoff-Vorrang- bzw. -Vorbehaltsgebieten mit entsprechenden Erweiterungspotenzialen operieren, handelt es sich quasi um ortsfeste, langfristig gesicherte Gewinnungsstellen bzw. auch um langfristig nutzbare Lagerstätten. Die einzelnen Betreiber haben dadurch auch perspektivisch eine langfristige betriebliche Grundlage und Rohstoffsicherheit, die getätigte oder zu tätige Investitionen rechtfertigen.

Das vorhandene rohstoffliche Potenzial kann nachhaltig und weitgehend vollständig ausgeschöpft, genutzt und vermarktet werden.

Eine betriebliche Infrastruktur ist an den einzelnen Abbaustellen vorhanden und benötigt keine weiteren bzw. größeren Investitionen.

Die technische Aufrüstung vorhandener Anlagentechnik im Hinblick auf eine mechanische Schwermineralabtrennung macht im Einzelfall nur überschaubare Investitionen notwendig.

Die Technologie zur Schwermineralabtrennung ist robust, langlebig, erprobt und technisch leicht mit vorhandener Anlagentechnik verbaubar.

Nach Installation erforderlicher Anlagenteile zur Schwermineralabtrennung bei schon bestehenden Sand- und Kieswäschen könnte unmittelbar mit der Beifang-Gewinnung begonnen werden.

Im Hinblick auf den unternehmerischen Schwerpunkt bezogen, kann die Beifang-Gewinnung jedoch nur dann betrieben werden, wenn das Kerngeschäft floriert. Dies verweist zum einen direkt auf die

Notwendigkeit der regionalplanerischen Rohstoffsicherung, zum anderen auf eine künftige stabile Absatzsituation im Kerngeschäft (z. B. für die Bauwirtschaft). Nur im positiven Zusammenspiel beider Faktoren sind neben den vorab zu klärenden betriebswirtschaftlichen Fragen künftig auch mögliche Perspektiven für die Beifang-Gewinnung zu sehen.

5.3 Negativ-Kriterien für die Beifang-Gewinnung

Als Einschränkungen bzw. mögliche Ausschlußkriterien gelten demgegenüber:

Im Hinblick auf die Gewinnung von Schwermineralkonzentraten und ihre (Zwischen-)Lagerung bis zur weiteren Vermarktung können ggf. auch in geringem Maße organisatorisch-technische Maßnahmen zum Strahlenschutz erforderlich werden, die letztlich auch mit finanziellen Aufwänden verbunden sind.

Je nach Vorhandensein und / oder Anlagenart können auch zusätzliche Investitionen für komplett neue, dezentrale Aufbereitungsanlagen zur Schwermineralgewinnung notwendig werden (Folge: weitere unternehmerische Investitionen).

Für eine Nutzbarmachung bzw. anschließende Vermarktung der gewinnbaren Oxide ist der Aufbau und Betrieb einer zentralen Raffination zur Aufarbeitung von Schwermineralkonzentraten aus verschiedenen Betriebspunkten erforderlich. Diese Anlage und ihre langfristige Effizienz hängen maßgeblich von der betriebswirtschaftlichen Situation und Zielrichtung mehrerer Einzelunternehmer ab. Der wirtschaftliche Betrieb dieser Anlage ist wiederum geknüpft an den ggf. erforderlichen, finanziell-organisatorisch-technischen Rahmen zum Strahlenschutz.

Die Rentabilität (von Gewinnung bis zur Raffination) ist zudem wesentlich abhängig von der künftigen Preis- und Angebots-Entwicklung von SEE- und anderen Oxiden auf den Weltmärkten.

Die erzielbaren Beifang-Mengen sind in entscheidender Weise von der künftigen konjunkturellen Entwicklung (vor allem im Bausektor) in Bayern bzw. letztlich auch von der Menge der jährlich abgebauten Sand- und Kiesrohstoffe abhängig.

5.4 Gesamtabwägung der Wirtschaftlichkeit

Wird die aktuelle und prognostische Preissituation für verwertbare Oxide (SEE, Titan und eventuell Zirkonium) auf den Weltmärkten betrachtet, muss nach der Preisexplosion Ende 2010 infolge der Verringerung der chinesischen Exporte von einem seitdem stetigen Abwärtstrend vor allem bei den SEE gesprochen werden (Abb. 58 und Abb. 59). Da weiterhin von einem bedeutenden Nachfragewachstum für SEE ausgegangen werden muss, können künftig auch entsprechend gesteigerte Produktionsmengen aus laufenden Bergbauprojekten der östlichen und aus neuen der westlichen Welt erwartet werden. Vor diesem wirtschaftlich-strategisch-politischen Hintergrund werden zusätzlich auch ins Leben gerufene Maßnahmen zur effizienten Nutzung von SEE und deren Recycling mittelfristig greifen, so dass, insgesamt betrachtet, künftig von einer weiteren Normalisierung der Angebots- und Preissituation bei den SEE sowie bei Titan- und Zirkonoxid ausgegangen werden kann.

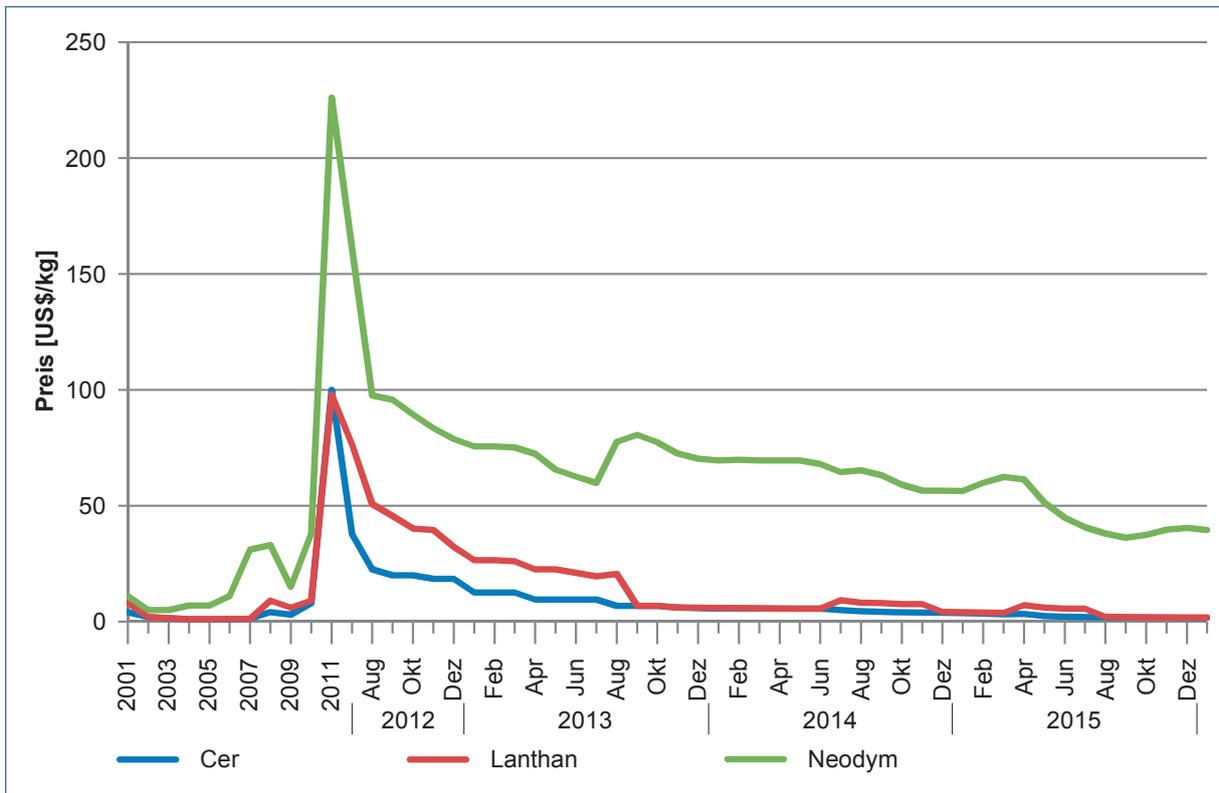


Abb. 58: Preisentwicklung ausgewählter Leichter Seltener Erd Elemente (Oxide) (kompiliert nach SCHÜLER (2011), DERA (2016) und Seltenerdmetalle24).

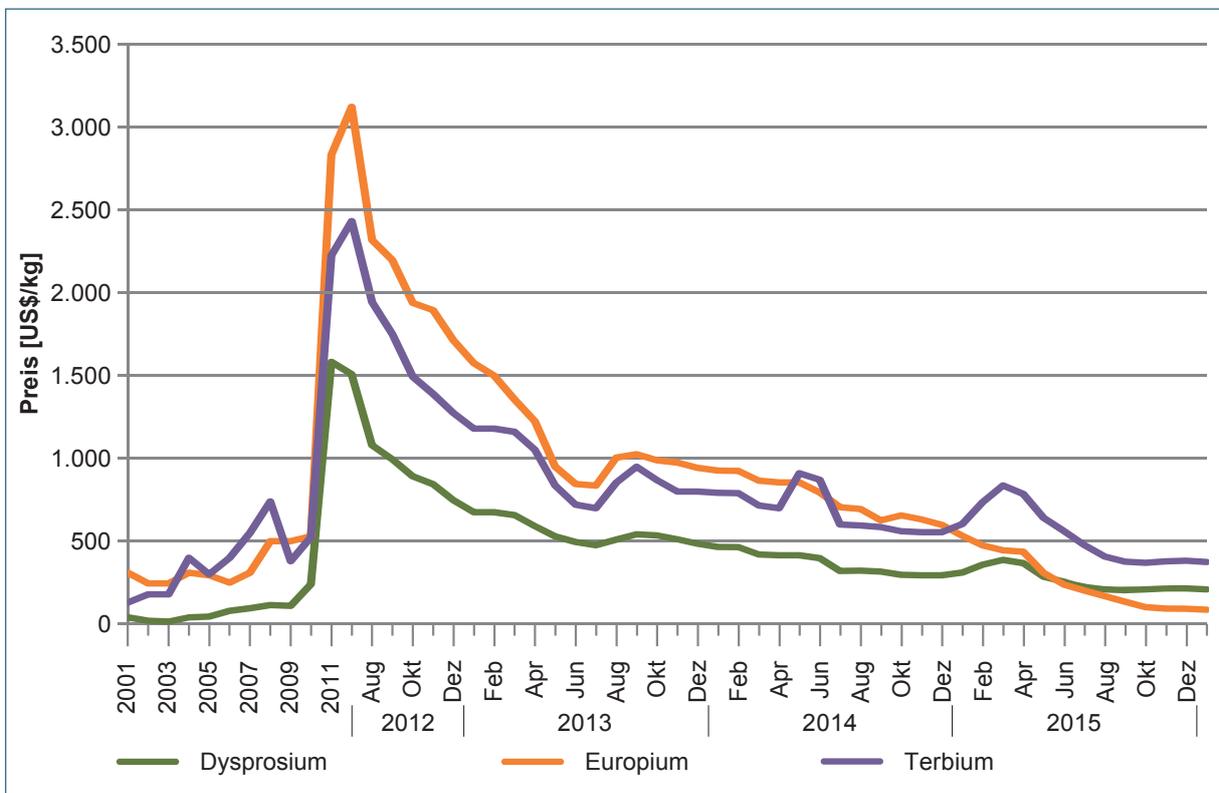


Abb. 59: Preisentwicklung ausgewählter Schwerer Seltener Erd Elemente (Oxide) (kompiliert nach SCHÜLER (2011), DERA (2016) und Seltenerdmetalle24).

Nach Erhebung des Öko-Institutes 2011 (SCHÜLER 2011) importierte Europa 2008 insgesamt 23.013t Metalle, Mischungen oder Legierungen als SEE-Oxide, 90% davon stammten aus China. Deutschland nahm dabei für die eigene Wirtschaft ca. 8% ab, d.h. ca. 1.841t SEE-Oxide mit einem damaligen Wert von ca. 200 Millionen Euro. Eine lineare Bedarfs-Steigerungsrate von 4% p.a. zugrunde gelegt, kann derzeit von einem Bedarf von ca. 2.200t an SEE-Oxiden in Deutschland ausgegangen werden. Nach ELSNER (2011) richtet sich die globale Nachfrage überwiegend auf Yttrium, Samarium und Lanthan (Leichte SEE) sowie auf Europium, Terbium und Dysprosium (Schwere SEE). Die weltweite Nachfrage für 2015 wird hierbei prognostisch mit 12.700t Y-Oxid, 1.400t Sm-Oxid, 775t Eu-Oxid, 500t Tb-Oxid sowie 3.000t Dy-Oxid angegeben (insgesamt ca. 7.600t SEE-Metalle).

In Tabelle 2 sind die tatsächlich gewinnbaren Oxidmengen für den Ablagerungsraum der Molasse und des Quartärs aufgeführt. Grundlage dieser Bilanzierung sind sowohl alle beprobten Gewinnungsstellen und die in Erfahrung gebrachten tatsächlichen Abbauzahlen als auch die im jeweilig unaufbereiteten Rohstoff ermittelten mineralogischen und geochemischen Gehalte.

Tab. 2: Potenzielle Ausbeute an wirtschaftlich relevanten Oxiden aktiver Abbaue Südbayerns. Vergleichend sind die Tonnagen für die Gewinnungsstellen in Nordbayern angeführt (Grundlage: jeweils tatsächliche jährliche Förderleistung). n = Anzahl der jeweiligen Gewinnungsbetriebe.

	Quartär (n=34)	Molasse (n=21)	Nordbayern (n=58)
LREE-Oxide	19,3t/a	63,0t/a	218,0t/a
HREE-Oxide	2,7t/a	9,0t/a	25,0t/a
Zr-Oxid	19,3t/a	74,9t/a	998,0t/a
Ti-Oxid	656,5t/a	2.667,9t/a	2.915,0t/a
Ce-Oxid	4,5t/a	13,6t/a	55,5t/a
Nd-Oxid	3,6t/a	11,2t/a	45,5t/a
Y-Oxid	4,2t/a	17,3t/a	38,6t/a
Sm-Oxid	0,7t/a	2,2t/a	8,5t/a
La-Oxid	4,4t/a	13,2t/a	53,0t/a
Eu-Oxid	0,1t/a	0,3t/a	0,4t/a
Tb-Oxid	0,1t/a	0,3t/a	1,0t/a
Dy-Oxid	0,7t/a	2,3t/a	5,9t/a
Schwermineralkonzentrat	8.600t/a	24.100t/a	8.500t/a

Der finanzielle Wert dieser pro Förderjahr gewinnbaren Oxide ist in Tabelle 3 aufgelistet. Die Preise wurden anhand der DERA / BGR Rohstoffpreisliste Dezember 2015 (DERA / BGR 2015) ermittelt. Umrechnungskurs 1 Euro = 1,1 US \$.

In Anbetracht dieser Größenordnungen erscheint die Prüfung der technisch-organisatorisch-betrieblichen Machbarkeit einer Schwermineralgewinnung im Einzelfall sinnvoll.

Tab. 3: Potenziell erzielbarer finanzieller Erlös der betrachteten Oxide und Schwerminerale. Berechnungsgrundlage sind hier die tatsächlich im Abbau befindlichen Gewinnungsstellen und die tatsächlich jährlich abgebauten Gesamtrohstoff-Mengen; Grundlage: BGR Rohstoffpreisliste, Stand 12/2015; n = Anzahl der Gewinnungsstellen.

	Quartär (n=34)	Molasse (n=21)
Zirkon	32.300 \$/a	125.300 \$/a
Ti-Oxid	1.516.500 \$/a	6.162.800 \$/a
Ce-Oxid	7.600 \$/a	22.800 \$/a
Nd-Oxid	145.300 \$/a	451.900 \$/a
Y-Oxid	17.000 \$/a	70.100 \$/a
Sm-Oxid	1.400 \$/a	4.200 \$/a
La-Oxid	7.800 \$/a	23.500 \$/a
Eu-Oxid	11.400 \$/a	29.800 \$/a
Tb-Oxid	42.500 \$/a	129.400 \$/a
Dy-Oxid	155.000 \$/a	495.700 \$/a

5.5 Lagerstättenpotenzial aller Gewinnungsstellen

Auf Grundlage der aktuellen, tatsächlichen Abbausituation kann das derzeit jährlich aus Schwermineralkonzentraten gewinnbare Oxid-Potenzial (SEE sowie Zr und Ti) als Gesamtbilanz angegeben werden (Tab. 2). Wie bereits im vorangegangenen Teilkapitel aufgezeigt, sind die potenziell abtrennbaren Mengen von der Anzahl der aktiven Betriebe, den tatsächlichen Förder- und Aufbereitungsmengen sowie dem Vorhandensein, der Art und den Betriebsparametern der Aufbereitungsanlagen bestimmt. Die in den Sand- und Kiesvorkommen operierenden Betriebe sind größtenteils durch kleinere Abbau- und Fördermengen (< 100.000 Jahrestonnen) sowie durch das Fehlen entsprechender Aufbereitungstechnik gekennzeichnet. Für die nachfolgende Kalkulation (Tab. 4) wurden alle aktiven Betriebe mit den tatsächlichen Jahresfördermengen (Tonne pro Jahr) berücksichtigt, nach stratigraphischen Einheiten gruppiert und die erzielbaren Schwermineral- und Oxidmengen berechnet.

Tab. 4: Übersicht der aus aktiven Gewinnungsstellen gesamt gewinnbaren Oxidmengen pro Jahr auf Grundlage der tatsächlichen jeweiligen Jahresförderleistung, gegliedert nach stratigraphischer Einheit.

Stratigraphie	LREE	HREE	Zr-Oxid	Ti-Oxid	Schwermineralkonzentrat
OSMj	4,8t/a	0,6t/a	6,1t/a	21,5t/a	1.350t/a
OSMm	35,4t/a	5,4t/a	31,4t/a	1.689,9t/a	16.860t/a
Quarzrestschotter	< 0,1t/a	< 0,1t/a	0,4t/a	12,4t/a	30t/a
Ortenburger Schotter	22,6t/a	2,9t/a	33,0t/a	734,2t/a	5.800t/a
Rheingletscher	0,2t/a	0,03t/a	0,5t/a	6,7t/a	71t/a
Illergletscher	0,4t/a	0,07t/a	0,7t/a	13,4t/a	168t/a
Lech-.Wertachgletscher	1,1t/a	0,2t/a	1,0t/a	34,0t/a	514t/a
Isar-Loisachgletscher	6,8t/a	1,1t/a	7,0t/a	262,5t/a	3.708t/a
Inngletscher	8,7t/a	1,1t/a	7,4t/a	269,0t/a	3.206t/a
Chiemseegletscher	0,9t/a	0,1t/a	1,1t/a	31,5t/a	498t/a
Salzachgletscher	1,0t/a	0,1t/a	0,7t/a	20,9t/a	432t/a

5.6 Schwermineralkonzentrate als SEE-Rohstoffe – mineralogische Bewertung

Die mineralogischen Befunde zeigen, dass die SEE der untersuchten Schwermineralfractionen der Molasse hauptsächlich an Zirkon und untergeordnet an Epidot gebunden sind. Monazit tritt als Wirtsmineal mengenmäßig stark zurück oder fehlt ganz. Für eine potenzielle Gewinnung und „Nutzbarmachung“ der SEE aus den geförderten Schwermineralkonzentraten müssen die Zielminerale (überwiegend Zirkon und Epidot) erst mechanisch abgetrennt und angereichert, anschließend chemisch aufgeschlossen sowie mittels umfangreicher Raffinations- und Metallurgie-Prozesse in die verwertbaren SEE-Oxide aufgetrennt werden. Es handelt sich dabei zwar um bekannte, weltweit praktizierte und beherrschbare Techniken, die aber wegen der dabei mitgewonnenen Uran- und Thorium-Oxidgehalte vermutlich auch einen erhöhten Aufwand zur Einhaltung von Strahlenschutzbestimmungen erforderlich machen könnten (ELSNER 2006, 2010). Die Gehalte dieser beiden problematischen Oxide sind in der Molasse und dem Quartär allerdings nicht so hoch wie im Norden Bayerns.

5.7 Zusätzliches Potenzial der abgetrennten Schwermineralkonzentrate

Die im Zuge der Untersuchung weiterhin festgestellten Schwermineral-Potenziale an Zirkon und Titan-Mineralen verdienen an dieser Stelle eine zusätzliche bzw. auch eine eingehendere Würdigung.

Der Wertstoff Zirkonium, der hier für die geochemische Bilanzierung als Oxid ZrO_2 verrechnet wird, stammt ausschließlich aus dem Silikatmineral Zirkon ($Zr SiO_4$).

Je nach Verwendungszweck kann Zirkon als Mineral (Nutzung als Feuerfestmaterial in der keramischen Industrie), chemisch umgesetzt als Oxid, sowie zur Herstellung von Zirkonium (oder zu seiner Weiterverarbeitung zu Chemikalien) genutzt werden. Bedingt durch dieses breite verwendungstechnische Potenzial ist prognostisch von einer Steigerung der weltweiten Nachfrage an Zirkon auszugehen. Dem entsprechend werden auch die weltweiten Produktionsmengen aller Voraussicht nach steigen. Als wichtigste Herkunftsländer mit erweiterbaren Fördermengen gelten nach ELSNER (2013) überwiegend Australien, Afrika (Republik Südafrika, Senegal, Kenia, Madagaskar), Sri Lanka, Thailand, Malaysia und Indonesien (SE-Asien), die USA und Kanada sowie China. Europäische Projekte existieren demnach derzeit nicht. Nach dieser Prognose jedoch, unter Berücksichtigung verschiedener globaler Szenarien, ist davon auszugehen, dass die vorhandenen weltweiten Projekte zur Bedarfsdeckung (bis 2020) ausreichen werden. Vor diesem aktuellen (und künftigen) Hintergrund muß das wirtschaftliche Potenzial von „bayerischem“ Zirkon entsprechend gewürdigt werden (ELSNER 2006, 2013).

Die ebenfalls in den Schwermineralkonzentraten und teilweise in großen Mengen auftretenden Titanminerale (überwiegend Anatas, Rutil und Ilmenit) könnten sich dagegen künftig ohne Einschränkung als potenzieller Wertstoff erweisen. Das für diese Potenzialberechnung bzw. für die großtechnische Nutzung verwendete Oxid TiO_2 liegt in dieser chemischen Form schon in den Titan-Mineralen Anatas und Rutil vor bzw. tritt im „Mischoxid“ Ilmenit neben FeO auf. Die chemisch-metallurgische Umsetzung dieser Minerale zu TiO_2 -Pigmenten nach dem modernen Chloridverfahren stellt eine praktikable und vorteilhafte Methode dar, da dabei keine unerwünschten bzw. schädlichen Stoffe entstehen bzw. freigesetzt werden (ELSNER 2006).

Titandioxid wird wegen seiner hervorragenden technischen Eigenschaften sowie seiner Nicht-Toxizität weltweit überwiegend als Weißpigment in der Farbenindustrie verwendet, nur ein untergeordneter Teil der Titanminerale wird metallurgisch zu Titanmetall (für Anwendungen als Legierungsbestandteil in Metallen für den Flugzeugbau bis zur Medizintechnik) verarbeitet (ELSNER 2006). Zur

Verwendung als Weißpigment müssen die abgetrennten Ti-Oxide allerdings bezüglich des Weißgrades gewisse Grundanforderungen erfüllen.

Trotz Erschließung und Nutzbarmachung großer Vorkommen in Australien sowie an der Ostküste Afrikas überschreitet die Nachfrage nach natürlichem Rutil das weltweite Angebot deutlich (ELSNER 2006). Eine Mitnutzung des vorhandenen „bayerischen“ Titandioxid-Potenzials aus Schwermineralkonzentraten ist daher angezeigt und erscheint aufgrund der beibehaltenden Mengen auch wirtschaftlich möglich.

Ein weiteres, aber in geringerem Maße auftretendes, potenziell nutzbares Mineral ist Granat. Die Gehalte liegen in den betrachteten Schwermineralkonzentraten teilweise bei bis zu 40 M.-%. Aufgrund der hohen Härte kann Granat unter anderem gut als Schleifmittel eingesetzt werden. Die möglichen Potenziale sind allerdings deutlich geringer als bei den zuvor genannten Ti- und Zr-Oxiden.

Die chemisch-metallurgische Auftrennung von Schwermineralkonzentraten hinsichtlich SEE sowie Zirkonia bzw. metallischem Zirkonium bedingt auch die unerwünschte Mitgewinnung von Uran und Thorium. Nach heutiger Auffassung ist bei beiden weniger von einem verwertbaren Potenzial als vielmehr von radioaktiven Abfallstoffen auszugehen, die ökologisch unerwünscht und problematisch bei Transport, Aufarbeitung und Deponierung bzw. Endlagerung sind. Ob deswegen im Zuge einer künftigen Nutzung von Schwermineral-Beifängen der erforderliche Aufwand zur Einhaltung von Strahlenschutzbestimmungen in Relation zu den Gewinnen bei Vermarktung vor allem von Zirkonium aber auch von SEE steht, muss erst durch weiterführende, betriebswirtschaftlich-strahlenschutzrechtlich orientierte Studien geklärt werden.

5.8 Anlagentechnik

Insgesamt befinden sich in den befahrenen Gewinnungsstellen 20 großtechnisch betriebene Aufbereitungsanlagen, davon fünf in der Molasse und 15 im Quartär mit jährlichen Abbaumengen > 100.000 t) sowie eine im Quartär, die u. a. im Nassabbau produziert. Teilweise werden auch zentrale Anlagen zur Aufbereitung des an mehreren Gewinnungsstellen geförderten Materials betrieben. Als jährliche Stoffdurchsätze bei den größeren Kies- und Sandwäschen werden Größenordnungen zwischen 100.000t und 700.000t angegeben.

Hauptsächlich kommen hierbei neben Schwertwäschern und Naßklassierungseinrichtungen auch Hydrozyklone zum Einsatz, wobei Schwerminerale generell unberücksichtigt bleiben.

Im Hinblick auf eine künftige Abtrennung von Schwermineralen kann hier nicht pauschal eine optimale verfahrenstechnische Strategie aufgezeigt werden. Bedingt durch unterschiedliche Zielsetzungen zur Aufreinigung bzw. Abtrennung der gewünschten Rohstoffe unterscheiden sich die vorhandenen Anlagen nach Bauart, Leistung und Funktion. Dabei spielen weiterhin auch die Art des Rohstoffes, die örtlich geologischen, betriebswirtschaftlichen und strategischen Maßgaben eine wesentliche Rolle. Deswegen kann nur der Betreiber vor Ort, vertraut mit den anlagentechnischen Gegebenheiten entscheiden, welche zusätzlichen Anlagenmodule technisch und betriebswirtschaftlich am geeignetsten sind, wenn Schwerminerale im großtechnischen Stil mitgewonnen werden sollen.

Nach heutigem Kenntnisstand sind Hydrozyklone bzw. Wendelscheider, die mit vorhandener Anlagentechnik gut kombinierbar sind und / oder elektrostatische Abtrennungsanlagen die geeignetsten und erprobtesten Anlagenbauteile zur Abtrennung von Schwermineralen.

6 Prognose

Die überwiegende Anzahl der untersuchten Betriebe operiert auf ausgewiesenen Rohstoff-Vorranggebieten bzw. auf genehmigten Abbauflächen mit entsprechenden Erweiterungspotenzialen, die vom rohstofflichen Standpunkt aus bis auf wenige Ausnahmen, eine mittel- bis langfristige Betriebssicherheit gewährleisten. Demzufolge können vor allem die größeren Gewinnungsstellen samt jeweiliger Aufbereitung, die dadurch über größere Zeitspannen (Jahrzehnte) abbauen können, als quasi ortsfeste Betriebe gewertet werden. Bleibt es bei den jetzigen Größenordnungen an Abbau- und Fördermengen und werden entsprechende Aufbereitungsanlagen nachgerüstet entsteht ein mittel- bis langfristig nutzbares, wenn auch überschaubares Potenzial an Schwermineralkonzentrationen, das, ausgehend von der jetzigen globalen Rohstoffsituation, eine gewisse wirtschaftliche Bedeutung über Jahrzehnte für Bayern erlangen könnte.

Eine künftige Wirtschaftlichkeit ist hierbei entscheidend abhängig von der weiteren Preisentwicklung für SEE (und anderer Oxide) auf den Weltmärkten und der betriebswirtschaftlichen Gesamtsituation und Perspektive einzelner Unternehmer bzw. von Unternehmensverbänden. Aus heutiger Sicht jedoch erscheint eine Beifang-Gewinnung, auch unter Investition in zusätzliche Gewinnungs- und Aufbereitungstechniken, sinnvoll. Dies trifft vor allem auf die „großen“ Abbauunternehmen zu.

Im Einzelfall ist dabei abzuklären, ob die zusätzliche (oder ausschließliche ?) Mitgewinnung von Titanoxiden das unternehmerische Risiko senken und den betriebswirtschaftlichen Nutzen sowie insgesamt die Rentabilität steigern könnte. Da die Technologie der Schwermineralabtrennung an einigen Betriebspunkten schon langjährig im Einsatz, technisch ausgereift und bewährt ist, kann auf dieses vorhandene Wissen bei der Konzeptionierung neu erforderlicher Anlagen bzw. Anlagenteile zurückgegriffen werden. Aus technischer Sicht ist eine Schwermineralabtrennung im großen Stil auf dieser Grundlage uneingeschränkt möglich.

Nach Abwägung o.g. Positiv- und Negativ-Kriterien sowie aus heutiger wirtschaftlicher Sicht kann daher eine Beifang-Gewinnung und ggf. eine Separation von Schwermineralen aus Schlammteichen sowie deren Weiterverarbeitung sinnvoll sein und im Sinne einer nachhaltigen Lagerstätten-Nutzung empfohlen werden.

7 Zusammenfassung

Im Zuge der Untersuchung konnten kurz- bis langfristig nutzbare Potenziale von Selten Erd Elementen und anderen gesuchten high-tech-Metalloxiden gefunden werden, die unter Berücksichtigung der aktuellen und vermutlich auch künftigen Weltmarktsituation sehr wahrscheinlich als fündig im Hinblick auf eine wirtschaftliche Gewinnung eingestuft werden können.

Literatur

- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996): Geologische Karte von Bayern, 1 : 500.000. – 4. Aufl., München.
- BOENIGK, W. (1983): Schwermineralanalyse. – 152 S., Enke, Stuttgart.
- DECKER, M. und BECKER, S. (2015): Projekt SEE III – Arbeitsbericht, 125 S., unveröffentlicht, LfU, Hof.
- DEER, W.A., HOWIE, R. A. und ZUSSMAN, J. (1980): An introduction to the rock forming minerals. – 528 S., London (Longman).
- DERA (2016): Rohstoffpreisliste, BGR, Hannover; (http://www.bgr.bund.de/EN/Themen/Min_rohstoffe/Produkte/Preisliste/cpl_16_01.pdf?__blob=publicationFile); Abfrage 25.02.2016.
- DOPPLER, G. (1989): Zur Stratigraphie der nördlichen Vorlandmolasse in Bayerisch-Schwaben. – Geologica Bavarica 94, S. 83-133; München.
- DOPPLER, G., FIEBIG, M., FREUDENBERGER, W., GLASER, S., MEYER, R., PÜRNER, T., ROHRMÜLLER, J. und SCHWERD, K. (2004): GeoBavaria – 600 Millionen Jahre Bayern. – 92 S., Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- DOPPLER, G., HEISSIG, K. und REICHENBACHER, B. (2005): Die Gliederung des Tertiärs im süddeutschen Molassebecken. – Newsl. Stratigr. 41, S. 359-375, Berlin.
- DOPPLER, G., KRÖMER, E., RÖGER, K., WALLNER, J., JERZ, H. und GROTTENTHALER, W. (2011): Quaternary Stratigraphy of Southern Bavaria. – E&G Quaternary Science Journal, Vol. 60, Number 2-3, S. 329-365, Berlin.
- EBERS, E., WEINBERGER, L. und DEL-NEGRO, W. (1966): Der pleistozäne Salzachvorlandgletscher. – Veröff. Ges. bayer. Landeskd., 19-21, 216 S., 47 Abb., 1 geol. Kt. 1:100.000, München.
- ELSNER, H. (2006): Bewertungskriterien für Industriemineralien, Steine und Erden, Teil 12: Schwerminerale. – Geol.Jb. Reihe H, Heft 13, 143 S., Hannover.
- ELSNER, H. (2010): Heavy minerals of economic importance. – Assessment Manual, 218 S., 31 Abb., 125 Tab., BGR, Hannover.
- ELSNER, H. (2011): Kritische Versorgungslage mit schweren Seltenen Erden – Entwicklung “Grüner” Technologien gefährdet ?. – Commodity top news, Nr. 36, 8 S., BGR, Hannover.
- ELSNER, H. (2013): Zircon – insufficient supply in the future ? – DERA Rohstoffinformationen, 14, 289 S., Berlin.
- ELLWANGER, D., WIELAND-SCHUSTER, U., FRANZ, M. und SIMON, T. (2011): The Quaternary of the southwestern German Alpine Foreland (Bodensee-Oberschwaben, Baden-Württemberg, Southwest Germany). – E&G Quaternary Science Journal, Vol. 60, Number 2-3, S. 306-328, Berlin.

- EVENSEN N.M., HAMILTON P.J., und O'NIONS R.K. (1978): Rare-earth abundances in chondritic meteorites – *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42, S. 1199-1212, Elsevier, Amsterdam.
- GLÜCKERT, G. (1974): Mindel- und Rißzeitliche Endmoränen des Iller- und Mindelgletschers. – *Eiszeitalter u. Gegenwart*, Vol. 25, S. 96-106, Öhringen/Württ.
- GRAUL, H. (1968): Führer zur zweitägigen Exkursion im nördlichen Rheingletschergebiet. – In: Beiträge zu den Exkursionen anlässlich der DEUQUA Tagung 1968 in Biberach a.d. Riß, *Heidelberger geogr. Arb.*, Vol 20, S. 31-75, 6 Abb., 2 Tab. 7 Kt, Heidelberg.
- GRIMM, W. D. (1965): Schwermineralgesellschaften in Sandschüttungen, erläutert am Beispiel der süddeutschen Molasse.- *Bayer. Akad.d. Wissenschaften*, Heft 121, 135 S., München.
- GRIMM, W. D. (1977): Erd- und Landschaftsgeschichte der Umgebung von Griesbach im Rottal. – Sonderdruck *Therme, KulturH. aus Griesbach, Rottal*.
- GRIMM, W. D, BLÄSIG, H., DOPPLER, G., FAKHRAI, M., GORONCEK, K., HINTERMAIER, G., JUST, J., KIECHLE, W. LOBINGER, W.H., LUDEWIG, H., MUZAVOR, S., PAKZAD, M., SCHWARZ und U., SIDIROPOULOS, T. (1979): Quartärgeologische Untersuchungen im Nordwestteil des Salzach-Vorlandgletschers (Oberbayern). – In: SCHLÜCHTER, C.: *Moraines and Varves*, S. 101-114, 1 geol. Kt. Ca. 1500000, Rotterdam.
- GROTTENTHALER, W. (1980): Geologische Karte von Bayern, 1:25.000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 7833 Fürstfeldbruck. – *Bayerisches Geologisches Landesamt*, 82 S., München.
- HEROLD, R. (1970): Sedimentpetrographische und mineralogische Untersuchungen an pelitischen Gesteinen der Molasse Niederbayerns. – *Dissertation*, 132 S., LMU, München.
- HENDERSON, P. (ed.) (1984): *Rare Earth Element Geochemistry*. – 510 S., Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
- JERZ, H. (1993): *Geologie von Bayern II. Das Eiszeitalter in Bayern. Erdgeschichte, Gesteine, Wasser, Boden* – 243 S., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- JERZ, H. (1995): XII. Bayern. – In: BENDA, L. [HRSG.]: *Das Quartär Deutschlands*. – 400 S., Gebrüder Borntraeger, Berlin.
- JERZ, H. (1996): Gesteinsfolge des Quartärs. – In: *Bayerisches Geologisches Landesamt [HRSG.]: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000*. – 4. Aufl., S. 141-187, München.
- JERZ, H., STEPHAN, W., STREIT, R. und WEINIG, H. (1975): Zur Geologie des Iller-Mindel-Gebietes. – *Geologica Bavarica* 74, S. 99-130, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- KNEBEL, C. (2004): Untersuchungen zum Einfluss Seltener Erd-Citrate auf Leistungsparameter beim Schwein und die ruminale Fermentation im künstlichen Pansen (RUSITEC). – *Dissertation*, 146 S., LMU, München.
- KUHLEMANN, J. und KEMPF, O. (2002): Post-Eocene evolution of the North Alpine Foreland Basin and its response to Alpine tectonics. – *Sedimentary Geology* 152, S. 45-78, Elsevier, Amsterdam.

- LEMCKE, K. (1988): Das bayerische Alpenvorland vor der Eiszeit. Erdgeschichte, Bau, Bodenschätze. – Geologie von Bayern, 1: 175 S., Stuttgart.
- LINHARDT, E. und 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. und GEBHARDT, A. (2014): Erkundungsprogramm Selten Erd Elemente (SEE), Teilprojekt I, SEE als Beifang sedimentärer Lagerstätten. – LfU im Auftrag des StMWIVT, 106 S., Hof.
- SCHÄFER, L. (1975): Die Altmoränen des diluvialen Isar-Loisachgletschers und ihr Verständnis aus der Kenntnis der Paareiszeit. – Mitt. Geogr. Ges. München, Vol. 60, S. 115-153, München.
- SCHÖNE, I. (2009): Untersuchungen zur Wirksamkeit von Seltenen Erden beim Ferkel und Darstellung der gesetzlichen Grundlagen hinsichtlich der Zulassung von Futtermittelzusatzstoffen. – Dissertation, 149 S., LMU, München.
- SCHÜLER, D. (2011): Hintergrundpapier Seltene Erden.- 7 S., Ökoinstitut, Berlin.
- SCHWERD, K., DOPPLER, G. und UNGER, H.J. (1996): Gesteinsfolge des Molassebeckens und der inneralpinen Tertiärbecken. – In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [HRSG.]: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1 : 500 000. – 4. Aufl., S. 141-187, München.
- SINN, P. (1972): Zur Stratigraphie und Paläogeographie des Präwürm im mittleren und südlichen Illergletscher-Vorland. – Heidelberger geogr. Arb., Vol. 37, 159 S., 34 Abb., 11 Tab., 5 Kt., 12 Prof., Heidelberg.
- Seltenerdmetalle 24: <http://www.seltenerdmetalle24.de/chartcenter/> Aufruf 11/2013.
- UNGER, H.J. (1989): Die Lithozonen der Oberen Süßwassermolasse Südostbayerns und ihre vermutlichen zeitlichen Äquivalente gegen Westen und Osten. – Geologica Bavarica, 94, S. 195-237, München.
- UNGER, H.J. (1997): Der Ortenburger Schotter am Nordrand der ostbayerischen Molasse. – Geologica Bavarica 102, S. 361-392, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- UNGER, H.J., FIEST, W. und NIEMEYER, A. (1990): Die Bentonite der ostbayerischen Molasse und ihre Beziehungen zu den Vulkaniten des Pannonischen Beckens. – Geol. Jb., D 96, S. 67-112, Hannover.
- UNGER, H.J. und NIEMEYER, A. (1985): Die Bentonite in Ostniederbayern. – Geol. Jb., D 71, 93 S., Hannover.
- WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. und WEINELT, W. (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern. – Geologica Bavarica 86, S. 3-506, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Vereinfachte stratigraphische Übersicht der Molasse-Ablagerungen im südbayerischen Raum (DOPPLER et al. 2004).	8
Abb. 2:	Vereinfachtes Profil des westlichen bayerischen Molassebeckens von N nach S (verändert nach KUHLEMANN und KEMPF 2002 und dem BAYERISCHEN GEOLOGISCHEN LANDESAMT 1996).	9
Abb. 3:	Einteilung der Oberen Süßwassermolasse Bayerns (DOPPLER et al. 2004).	10
Abb. 4:	Sedimenttransportrichtungen und Entwässerungsrichtung zur Zeit der OSM (Bade-nium/Sarmatium), gelbe Flächen spiegeln die durch OSM bedeckte Fläche wider (DOPPLER et al. 2004).	11
Abb. 5:	Stratigraphische Gliederung des Quartärs Südbayerns (verändert nach DOPPLER et al. 2011).	12
Abb. 6:	Maximale Ausdehnung der verschiedenen Vorlandgletscher (verändert nach DOPP- LER et al. 2011).	13
Abb. 7:	Übersicht der Untersuchungsgebiete.	15
Abb. 8:	Kiesgrube in der Oberen Serie bei Tattenhausen (Bildbreite etwa 1,5 m).	16
Abb. 9:	Kiesgrube in der Hangendserie bei Weidelsberg.	16
Abb. 10:	Aufschluss in der Geröllsandserie nahe Derching (Bildbreite ca. 10 m).	17
Abb. 11:	Konglomeratisch verbackene Kiese der Geröllsandserie, Kiesgrube nahe Ettelried.	17
Abb. 12:	Erkennbare Gradierung des Nördlichen Vollschotters, Kiesgrube in der Nähe von Luberg (Bildbreite ca. 10 m).	17
Abb. 13:	Charakteristische Sandlinsen innerhalb der Abfolge des Landshuter Schotters, Kiesgrube in der Nähe von Luberg (Bildbreite ca. 20 m).	17
Abb. 14:	Oberer Abschnitt des Haarschedler Schotters. Grube bei Iggenbach (Bildbreite ca. 5 m).	18
Abb. 15:	Unterer Abschnitt des Haarschedler Schotters bei Jederschwing (Bildbreite ca. 20 m).	18
Abb. 16:	Aufschluss Kiesgrube nahe Kößlarn im Quarzrestschotter.	19
Abb. 17:	Kiesgrube bei Walchsing im Ortenburger Schotter.	20
Abb. 18:	Schematische Übersicht über die glazialen Terrassenablagerungen des süddeut- schen Alpenvorlandes. Oben: (A) stellt die näheren (proximalen) Bereiche zu den Alpen dar, Unten: (B) die weiter entfernteren (distalen) Bereiche (verändert nach DOPPLER et al. 2011).	21
Abb. 19:	Typische Moräne und z. T. Schotter des Rheingletschers, Kiesgrube bei Maierhöfen.	22

Abb. 20:	Schlitzprobennahme.	24
Abb. 21:	Haufwerksprobennahme.	24
Abb. 22:	Vorabsiebung im Gelände.	24
Abb. 23:	Beprobung von Schlammteichen.	24
Abb. 24:	Aufbau des Siebturmes mit übereinander gestapelten Siebeinsätzen.	25
Abb. 25:	Schwereretrennung im Scheidetrichter.	26
Abb. 26:	Trennung von Schwermineralen (am Glasboden) und Leichtmineralen (obenauf schwimmend) nach dem Zentrifugiervorgang.	26
Abb. 27:	Schema zur Ermittlung der potenziell ausbringbaren Stoffgehalte aus Schwermineral-Konzentraten.	28
Abb. 28:	Probennahmepunkte aus dem tertiären Untersuchungsgebiet.	31
Abb. 29:	Kornsummenkurven der vier Molasse-Einheiten in den Fraktionen < 63 µm bis 2 mm. Dargestellt sind die arithmetischen Mittel der Kornsummenbänder.	32
Abb. 30:	Schwermineralgehalte der einzelnen Fraktionen im Molasseablagerungsraum.	32
Abb. 31:	Übersicht der mittleren Schwermineralausbeuten im gesamten Ablagerungsgebiet der Molasse, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000 t.	33
Abb. 32:	Leicht- und Schwermineralverteilung der Sandfraktion im Ablagerungsraum der Molasse.	34
Abb. 33:	Schwermineralzusammensetzung der Sandfraktion im Ablagerungsraum der Molasse.	34
Abb. 34:	Leicht- und Schwermineralverteilung der Schlufffraktion im Ablagerungsraum der Molasse.	34
Abb. 35:	Schwermineralzusammensetzung der Schlufffraktion im Ablagerungsraum der Molasse.	34
Abb. 36:	SEE Verteilungsmuster für die analysierten Sandfraktionen der Molasse.	35
Abb. 37:	SEE Verteilungsmuster für die analysierten Schlufffraktionen der Molasse.	35
Abb. 38:	Mittlere Ausbeute an Leichten (LREE) und Schweren (HREE) SEE-Oxiden in der Molasse, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000 t.	35
Abb. 39:	Mittlere Ausbeute an Zr- und Ti-Oxid im Molasseraum, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000 t.	36
Abb. 40:	Probennahmepunkte aus dem quartären Untersuchungsgebiet.	37
Abb. 41:	Kornsummenkurven der sieben Quartär-Einheiten in den Fraktionen < 63 µm bis 2 mm. Dargestellt sind die arithmetischen Mittel der Kornsummenbänder.	38

Abb. 42:	Schwermineralgehalte der einzelnen Fraktionen im Ablagerungsraum des Quartärs.	38
Abb. 43:	Übersicht der mittleren Schwermineralausbeuten im gesamten Ablagerungsgebiet des Quartärs, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000t.	39
Abb. 44:	Leicht- und Schwermineralverteilung der Sand-fraktion im Ablagerungsraum des Quartärs.	40
Abb. 45:	Schwermineralzusammensetzung der Sandfraktion im Ablagerungsraum des Quartärs.	40
Abb. 46:	Leicht- und Schwermineralverteilung der Schlufffraktion im Ablagerungsraum des Quartärs.	40
Abb. 47:	Schwermineralzusammensetzung der Schlufffraktion im Ablagerungsraum des Quartärs.	40
Abb. 48:	SEE Verteilungsmuster für die analysierten Sandfraktionen der quartären Ablagerungen.	41
Abb. 49:	SEE Verteilungsmuster für die analysierten Schlufffraktionen der quartären Ablagerungen.	41
Abb. 50:	Mittlere Ausbeuten an Leichten (LREE) und Schweren (HREE) SEE-Oxiden im Quartär, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000t.	41
Abb. 51:	Mittlere Ausbeute an Zr- und Ti-Oxid im Quartär, bezogen auf eine jeweilige Jahresförderleistung von 100.000t.	42
Abb. 52:	Schwermineralgehalte der einzelnen Fraktionen in Sedimenten Nordbayerns und den Molasse- und Quartärablagerungen Südbayerns.	44
Abb. 53:	Übersicht der Schwermineralausbeuten in Nordbayern, der Molasse und des Quartärs.	45
Abb. 54:	SEE Verteilungsmuster für die analysierten Sandfraktionen der Proben aus Nordbayern, der Molasse und des Quartärs.	46
Abb. 55:	SEE Verteilungsmuster für die analysierten Schlufffraktionen der Proben aus Nordbayern, der Molasse und des Quartärs.	46
Abb. 56:	Mittlere Ausbeute an Leichten (LREE) und Schweren (HREE) SEE-Oxiden in Nordbayern, der Molasse und des Quartärs Südbayerns.	46
Abb. 57:	Mittlere Ausbeute an Zr- und Ti-Oxid in Nordbayern, der Molasse und des quartären Ablagerungsgebietes Südbayerns.	47
Abb. 58:	Preisentwicklung ausgewählter Leichter Selten Erd Elemente (Oxide) (kompiliert nach SCHÜLER (2011), DERA (2016) und Seltenerdmetalle24).	50
Abb. 59:	Preisentwicklung ausgewählter Schwerer Selten Erd Elemente (Oxide) (kompiliert nach SCHÜLER (2011), DERA (2016) und Seltenerdmetalle24).	50
Abb. 60:	Boxplots.	66

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Probenübersicht.	29
Tab. 2:	Potenzielle Ausbeute an wirtschaftlich relevanten Oxiden aktiver Abbaue Südbayerns. Vergleichend sind die Tonnagen für die Gewinnungsstellen in Nordbayern angeführt (Grundlage: jeweils tatsächliche jährliche Förderleistung). n = Anzahl der jeweiligen Gewinnungsbetriebe.	51
Tab. 3:	Potenziell erzielbarer finanzieller Erlös der betrachteten Oxide und Schwerminerale. Berechnungsgrundlage sind hier die tatsächlich im Abbau befindlichen Gewinnungsstellen und die tatsächlich jährlich abgebauten Gesamtrohstoff-Mengen; Grundlage: BGR Rohstoffpreisliste, Stand 12/2015; n = Anzahl der Gewinnungsstellen.	52
Tab. 4:	Übersicht der aus aktiven Gewinnungsstellen gesamt gewinnbaren Oxidmengen pro Jahr auf Grundlage der tatsächlichen jeweiligen Jahresförderleistung, gegliedert nach stratigraphischer Einheit.	52
Tab. A-1:	Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) der Molasseablagerungen für Sand (Sp. = Spuren, n.n. = nicht nachgewiesen).	67
Tab. A-2:	Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) der Molasseablagerungen für Schluff (Sp. = Spuren, n.n. = nicht nachgewiesen).	68
Tab. A-3:	Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) der quartären Ablagerungen für Sand (Sp. = Spuren, n.n. = nicht nachgewiesen).	69
Tab. A-4:	Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) der quartären Ablagerungen für Schluff (Sp. = Spuren, n.n. = nicht nachgewiesen).	71
Tab. A-5:	Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse der Molasseablagerungen für Sand.	73
Tab. A-6:	Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse der Molasseablagerungen für Schluff.	74
Tab. A-7:	Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse der quartären Ablagerungen für Sand.	76
Tab. A-8:	Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse der quartären Ablagerungen für Schluff.	78
Tab. B-1:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus OSMj (pro 100.000t Gesamtrohstoff).	81
Tab. B-2:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus OSMm (pro 100.000t Gesamtrohstoff).	81
Tab. B-3:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Quarzrestschotter (pro 100.000t Gesamtrohstoff).	81

Tab. B-4:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ortenburger Schotter (pro 100.000t Gesamtrohstoff).	82
Tab. B-5:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Rheingletschers (pro 100.000t Gesamtrohstoff).	82
Tab. B-6:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Illergletschers (pro 100.000t Gesamtrohstoff).	82
Tab. B-7:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Lech-Wertachgletschers (pro 100.000 t Gesamtrohstoff).	82
Tab. B-8:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Isar-Loisach-gletschers (pro 100.000t Gesamtrohstoff).	83
Tab. B-9:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Inngletschers (pro 100.000t Gesamtrohstoff).	83
Tab. B-10:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Chiemseegletschers (pro 100.000t Gesamtrohstoff).	84
Tab. B-11:	Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Salzachgletschers (pro 100.000t Gesamtrohstoff).	84
Tab. C-1:	Aufstellung der mittleren potenziellen Schwermineral-Ausbeuten [t] aus Molasse-Ablagerungen, gruppenweise mit zusätzlichem Mittelwert für die gesamte Molasse (Basis: alle beprobten Gewinnungsstellen, jeweils durchschnittliche Jahresförderleistung von 100.000 t).	84
Tab. C-2:	Aufstellung der mittleren potenziellen Schwermineral-Ausbeuten [t] aus quartären Ablagerungen von Rhein- bis Inn-Gletscher, gruppenweise (Basis: jeweils alle beprobten Gewinnungsstellen, jeweils durchschnittliche Jahresförderleistung von 100.000 t).	84
Tab. C-3:	Aufstellung der mittleren potenziellen Schwermineral-Ausbeuten [t] aus quartären Ablagerungen von Chiemsee- und Salzach-Gletscher, gruppenweise mit zusätzlichem Mittelwert für das gesamte Quartär (Basis: alle beprobten Gewinnungsstellen, jeweils durchschnittliche Jahresförderleistung von 100.000 t).	85
Tab. D-1:	Aufstellung der mittleren prozentualen Schwermineral-Zusammensetzungen aus Molasse-Ablagerungen, gruppenweise nach Sand- und Schluff-Fraktionen mit Mittelwert für Molasse.	85
Tab. D-2:	Aufstellung der mittleren prozentualen Schwermineral-Zusammensetzungen aus quartären Ablagerungen von Rhein- bis Inn-Gletscher, gruppenweise nach Sand- und Schluff-Fraktionen.	85
Tab. D-3:	Aufstellung der mittleren prozentualen Schwermineral-Zusammensetzungen aus quartären Ablagerungen von Chiemsee- und Salzach-Gletscher, gruppenweise nach Sand- und Schluff-Fraktionen mit Mittelwert für das Quartär.	85

Tab. E-1: Aufstellung der mittleren potenziellen Oxid-Ausbeuten [kg] aus Molasse-Ablagerungen, gruppenweise mit zusätzlichem Mittelwert für die gesamte Molasse, bezogen auf eine Jahresförderleistung von 100.000 t;	86
Tab. E-2: Aufstellung der mittleren potenziellen Oxid-Ausbeuten [kg] aus quartären Ablagerungen, gruppenweise mit zusätzlichem Mittelwert für das gesamte Quartär, bezogen auf eine Jahresförderleistung von 100.000 t;	86

Erklärungen zur Statistik

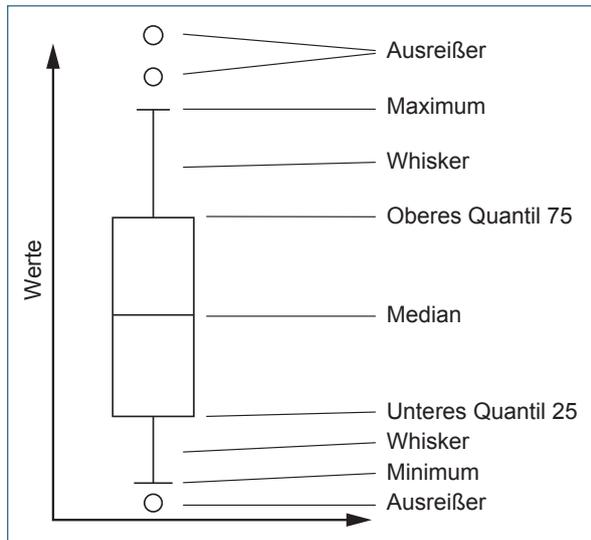
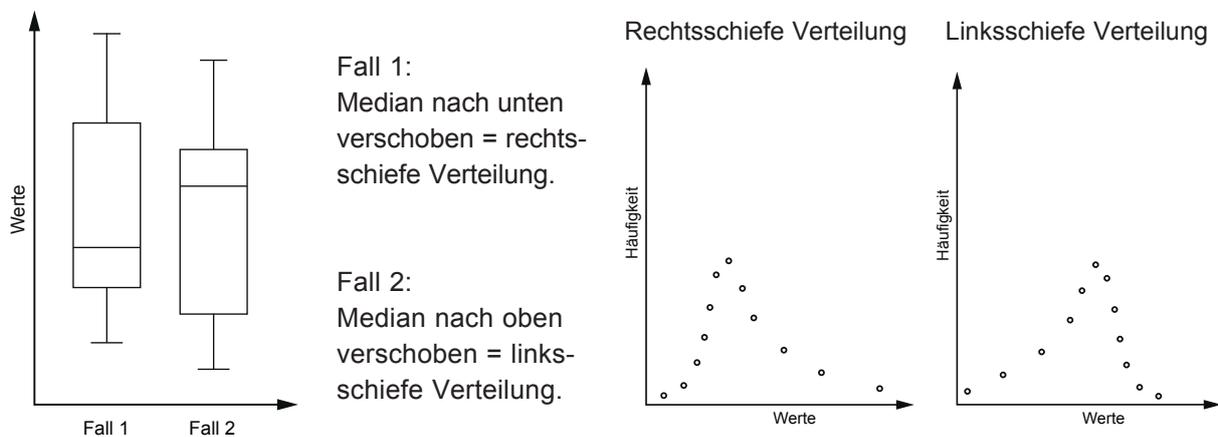


Abb. 60: Boxplots.

- In der Box zwischen dem 0,25-Quantil (unterer Abschluß) und dem 0,75-Quantil (oberer Abschluß) liegen 50% der mittleren Daten.
- Der Querstrich in der Box beschreibt den mittleren Datenwert (0,50 Quartil, Median).
- Die Differenz der Quartilwerte (0,25 und 0,75 bzw. Boxunter- und –oberseite) beschreibt den sog. Interquartilsabstand (IQA).
- Der Interquartilsabstand (IQA) bezeichnet das Maß der Daten-Streuung.
- Die Lagen der maximalen und minimalen Datenwerte der Datenpopulation (ober- und unterhalb der Box) werden jeweils durch die Querstriche am Ende der sog. Antennen (Whisker) angegeben.
- Demnach liegen 25 % der Fälle zwischen dem Oberen Quartil und dem Daten-Maximum, 25 % der Fälle zwischen dem Unteren Quartil und dem Daten-Minimum.
- Alle Werte mit einer Abweichung größer des 1,5-fachen IQA werden als Ausreißer in der Grafik wiedergegeben.

Daten-Verteilungen:



Anhang A

Tab. A-1: Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) der Molasseablagerungen für Sand (Sp. = Spuren, n.n. = nicht nachgewiesen).

Probe	Strati- graphie	Rutil	Anatas	Ilmenit	Granat	Amphibol	Epidot	Quarz	Plagio- klas	Glimmer	Chlorit	Turmalin	Staurolith	Andalusit	Zeolith	Fluor- Apatit	Zirkon	Monazit	Hämatit	Goethit
SEIII-AB-1	OBS	14	3	13	n.n.	20	28	9	6	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-AB-2	OBS	4	3	5	44	20	17	4	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.		n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-AH-1	QRS	26	6	2	n.n.	Sp.	n.n.	13	6	2	n.n.	12	22	7	n.n.	n.n.	3	n.n.	2	n.n.
SEIII-DD-1	OSMm	6	n.n.	4	56	n.n.	25	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.
SEIII-DD-2	OSMm	4	2	6	55	3	15	7	n.n.	3	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.
SEIII-DE-1	OSMm	4	2	7	50	Sp.	30	5	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	Sp.	n.n.	2	n.n.
SEIII-DE-2	OSMm	5	n.n.	5	51	11	16	4	n.n.	3	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-ER-1	OSMm	5	n.n.	5	39	24	10	11	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.
SEIII-ER-2	OSMm	5	n.n.	4	15	25	20	8	5	5	7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	8
SEIII-ER-3	OSMm	4	n.n.	6	43	19	20	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	Sp.	n.n.	1	n.n.
SEIII-ES-1	OSMm	5	n.n.	8	61	n.n.	14	8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.
SEIII-ES-2	OSMm	6	4	7	30	Sp.	28	10	n.n.	8	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3
SEIII-ES-3	OSMm	6	2	6	26	10	20	9	n.n.	7	7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-ES-4	OSMm	6	n.n.	7	51	Sp.	27	6	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	Sp.	n.n.	3	n.n.
SEIII-FH-1	OSMj	39	8	16	n.n.	n.n.	n.n.	24	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	8	Sp.	n.n.	n.n.
SEIII-IB-1	OSMj	25	7	11	n.n.	n.n.	n.n.	23	n.n.	16	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	10	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-JS-1	OSMj	19	5	47	n.n.	n.n.	n.n.	9	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	18	2	n.n.	n.n.
SEIII-JS-2	OSMj	25	7	28	5	n.n.	n.n.	17	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-KL-1	QRS	27	4	n.n.	n.n.	n.n.	6	20	n.n.	5	n.n.	10	20	6	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-KL-2	QRS	32	4	1	n.n.	n.n.	n.n.	24	3	2	n.n.	n.n.	32	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-KR-1	OSMm	5	1	6	25	19	24	4	3	2	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7	1	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-KT-1	OBS	8	3	11	14	20	33	6	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-KT-2	OBS	7	n.n.	10	18	29	23	7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	1	3
SEIII-LB-1	OSMm	8	1	4	55	17	6	3	n.n.	2	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-LB-2	OSMm	3	n.n.	4	50	36	5	3	n.n.	Sp.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-LB-3	OSMm	3	1	4	35	32	11	3	4	4	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-MS-1	OSMm	6	Sp.	Sp.	82	5	Sp.	7	n.n.	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-MS-2	OSMm	8	n.n.	10	75	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.
SEIII-ON-1	OSMm	4	n.n.	6	36	16	21	4	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7	1	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-ON-2	OSMm	5	n.n.	3	41	17	16	4	6	2	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-RR-1	OBS	3	1	7	52	24	n.n.	5	Sp.	3	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-RR-2	OBS	4	n.n.	5	64	Sp.	23	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-RR-3	OBS	6	n.n.	6	10	13	31	7	11	6	7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4
SEIII-SO-1	OSMj	26	3	9	n.n.	n.n.	8	12	n.n.	n.n.	n.n.	3	26	n.n.	n.n.	n.n.	9	3	n.n.	n.n.
SEIII-TH-1	OSMj	11	n.n.	7	n.n.	14	32	20	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	8	7
SEIII-TH-2	OSMj	8	3	9	n.n.	14	41	16	n.n.	8	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.

Probe	Strati- graphie	Rutil	Anatas	Ilmenit	Granat	Amphibol	Epidot	Quarz	Plagio- klas	Glimmer	Chlorit	Turmalin	Staurolith	Andalusit	Zeolith	Fluor- Apatit	Zirkon	Monazit	Hämatit	Goethit
SEEEIII-TH-3	OSMj	7	4	10	n.n.	27	37	9	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-US-1	OSMj	16	9	27	n.n.	n.n.	n.n.	27	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-US-2	OSMj	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	Sp.	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-VG-1	OBS	12	3	12	n.n.	17	31	10	6	8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-VG-2	OBS	8	2	17	n.n.	16	28	9	9	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	3
SEEEIII-VG-4	OBS	9	n.n.	8	4	13	25	12	14	9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6
SEEEIII-WA-2	OBS	5	1	6	32	20	19	5	3	5	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-WA-3	OBS	5	n.n.	7	49	13	17	4	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-WB-1	OSMj	8	2	9	n.n.	19	29	7	8	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	8	1	n.n.	n.n.	5
SEEEIII-WB-2	OSMj	10	2	8	n.n.	16	33	16	2	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4	4
SEEEIII-WM-1	OSMj	13	5	13	6	n.n.	25	12	7	7	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	Sp.	n.n.	6	n.n.
SEEEIII-WM-2	OSMj	5	n.n.	6	14	n.n.	43	9	n.n.	11	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	5
SEEEIII-WM-3	OSMj	6	Sp.	4	3	16	24	25	4	13	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.

Tab. A-2: Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) der Molasseablagerungen für Schluff (Sp. = Spuren, n.n. = nicht nachgewiesen).

Probe	Strati- graphie	Rutil	Anatas	Ilmenit	Granat	Amphi- bol	Epidot	Quarz	Plagio- klas	Amphi- bol	Epidot	Quarz	Glim- mer	Chlorit	Turma- lin	Stauro- lith	Anda- lusit	Zeolith	Fluor- Apatit	Zirkon	Monazit	Hämatit	Goethit
SEEEIII-AB-1	OBS	6	n.n.	2	n.n.	8	30	n.n.	5	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6	1	n.n.	n.n.	n.n.	38
SEEEIII-AB-2	OBS	4	n.n.	n.n.	4	34	10	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	41
SEEEIII-AH-1	QRS	26	9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	31	n.n.	n.n.	n.n.	20	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.	2	n.n.
SEEEIII-DD-1	OSMm	7	n.n.	6	24	n.n.	34	10	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	13	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-DD-2	OSMm	11	2	9	27	Sp.	36	n.n.	7	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	4	n.n.
SEEEIII-DE-1	OSMm	8	2	5	18	12	36	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	11	3	n.n.	2	n.n.	n.n.
SEEEIII-DE-2	OSMm	7	n.n.	3	12	18	30	n.n.	4	n.n.	2	12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	11	1	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEEEIII-ER-1	OSMm	5	2	5	16	32	28	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	5	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-ER-2	OSMm	2	3	n.n.	n.n.	16	16	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	61
SEEEIII-ER-3	OSMm	7	2	5	n.n.	41	28	n.n.	Sp.	n.n.	10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-ES-1	OSMm	7	2	6	31	11	26	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	11	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-ES-2	OSMm	9	n.n.	3	n.n.	n.n.	38	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6	1	n.n.	n.n.	n.n.	38
SEEEIII-ES-3	OSMm	9	1	14	32	n.n.	36	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-ES-4	OSMm	6	n.n.	n.n.	15	n.n.	44	n.n.	5	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	18	2	n.n.	n.n.	n.n.	3
SEEEIII-FH-1	OSMj	23	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	16	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	16	26	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-IB-1	OSMj	22	9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	15	n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	34
SEEEIII-JS-1	OSMj	9	5	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	7	9	35	n.n.	n.n.	n.n.	20	5	n.n.	n.n.	9
SEEEIII-JS-2	OSMj	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	98
SEEEIII-KR-1	OSMm	10	2	7	32	n.n.	33	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	4	n.n.	n.n.	5	n.n.
SEEEIII-KT-1	OBS	3	n.n.	n.n.	n.n.	14	14	n.n.	11	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	49

Probe	Stratigraphie	Rutil	Anatas	Ilmenit	Granat	Amphibol	Epidot	Quarz	Plagioklas	Amphibol	Epidot	Quarz	Glimmer	Chlorit	Turmalin	Staurolith	Andalusit	Zeolith	Fluorapatit	Zirkon	Monazit	Hämatit	Goethit
SEEEIII-KT-2	OBS	5	n.n.	2	10	8	16	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	17	1	n.n.	n.n.	n.n.	37
SEEEIII-LB-1	OSMm	5	2	2	14	38	24	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	8	2	n.n.	n.n.	n.n.	2
SEEEIII-LB-2	OSMm	5	1	2	12	35	25	n.n.	3	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	9	2	n.n.	n.n.	n.n.	3
SEEEIII-LB-3	OSMm	5	1	1	10	46	17	n.n.	2	3	3	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7	2	n.n.	n.n.	n.n.	1
SEEEIII-MS-1	OSMm	4	n.n.	1	n.n.	n.n.	25	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	12	2	n.n.	n.n.	n.n.	53
SEEEIII-MS-2	OSMm	7	1	8	26	9	22	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	11	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	9	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-ON-1	OSMm	10	1	8	23	24	28	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-ON-2	OSMm	6	1	7	27	23	31	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-RR-3	OBS	17	n.n.	n.n.	5	Sp.	48	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7	9	n.n.	n.n.	n.n.	14
SEEEIII-SO-1	OSMj	32	7	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	15	n.n.	4	n.n.	23	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	16	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-TH-1	OSMj	7	2	6	n.n.	15	55	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	4	4
SEEEIII-TH-2	OSMj	7	2	3	2	9	54	n.n.	6	5	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	5
SEEEIII-TH-3	OSMj	12	2	4	3	26	44	n.n.	3	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-US-1	OSMj	9	1	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	69
SEEEIII-US-2	OSMj	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	95
SEEEIII-VG-1	OBS	6	1	3	3	3	32	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	10	4	n.n.	n.n.	n.n.	33
SEEEIII-VG-2	OBS	4	n.n.	2	n.n.	n.n.	40	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	48
SEEEIII-VG-3	OBS	7	n.n.	5	2	16	38	n.n.	8	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-VG-4	OBS	8	1	4	3	10	40	n.n.	7	6	8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4	3	n.n.	n.n.	n.n.	6
SEEEIII-WA-1	OBS	5	n.n.	1	7	39	24	n.n.	5	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	8	1	n.n.	n.n.	n.n.	3
SEEEIII-WA-2	OBS	9	1	2	7	29	16	n.n.	8	7	7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7	1	n.n.	n.n.	n.n.	6
SEEEIII-WA-3	OBS	7	1	3	29	18	20	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	11	1	n.n.	n.n.	n.n.	6
SEEEIII-WB-1	OSMj	7	n.n.	3	n.n.	n.n.	35	n.n.	5	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	16	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	14
SEEEIII-WB-2	OSMj	13	2	7	4	Sp.	62	n.n.	4	n.n.	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4	2	n.n.	n.n.	3
SEEEIII-WM-1	OSMj	16	4	11	n.n.	n.n.	51	n.n.	5	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	4	Sp.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-WM-2	OSMj	11	2	7	n.n.	n.n.	42	n.n.	4	n.n.	33	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-WM-3	OSMj	14	3	7	7	n.n.	44	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	15	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Tab. A-3: Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) der quartären Ablagerungen für Sand (Sp. = Spuren, n.n. = nicht nachgewiesen).

Probe	Stratigraphie	Rutil	Anatas	Ilmenit	Granat	Amphibol	Epidot	Klinopyroxen	Quarz	Plagioklas	Glimmer	Chlorit	Andalusit	Sillimanit	Zeolith	Fluorapatit	Zirkon	Magnetit	Hämatit	Goethit	Dolomit	Calcit
SEEEIII-QAB-1	CHS	2	n.n.	1	13	28	16	4	6	9	5	12	n.n.	n.n.	n.n.	3	1	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEEEIII-QAB-2	CHS	3	n.n.	1	13	32	17	n.n.	7	10	1	12	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEEEIII-QAH-1	ILO	5	1	2	23	15	28	n.n.	8	4	n.n.	4	n.n.	8	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QAS-1	LWE	8	2	n.n.	11	n.n.	15	n.n.	15	n.n.	13	13	n.n.	n.n.	12	n.n.	2	n.n.	n.n.	3	n.n.	6
SEEEIII-QAU-1	ILO	2	1	2	12	37	18	n.n.	7	8	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	1	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEEEIII-QBB-1	LWE	3	2	n.n.	34	6	20	4	12	2	3	6	3	n.n.	n.n.	3	n.n.	1	n.n.	1	n.n.	n.n.

Probe	Strati- graphie	Rutil	Anatas	Ilmenit	Granat	Amphi- bol	Epidot	Klino- pyroxen	Quarz	Plagio- klas	Glimmer	Chlorit	Anda- lusit	Silli- manit	Zeolith	Fluor- apatit	Zirkon	Magnetit	Hämatit	Goethit	Dolomit	Calcit
SEEEIII-QBB-2	LWE	5	2	2	32	8	20	n.n.	8	5	n.n.	8	n.n.	7	n.n.	4	0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QBN-1	ILO	5	2	3	22	19	20	3	9	5	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	3	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QBR-1	INN	3	1	n.n.	20	30	17	n.n.	7	7	3	6	n.n.	3	n.n.	2	0	1	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEEEIII-QBR-2	INN	4	n.n.	3	21	22	24	n.n.	8	6	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QBR-3	INN	3	n.n.	4	22	24	17	3	7	8	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	3	1	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QBR-4	INN	3	1	2	12	21	29	n.n.	7	10	3	10	n.n.	n.n.	n.n.	2	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QDK-1	ILL	8	4	3	22	8	23	n.n.	12	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	10	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QDK-2	ILL	5	3	n.n.	18	11	30	4	11	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	11	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QDL-1	LWE	3	2	n.n.	11	23	15	n.n.	12	6	6	19	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QDL-2	LWE	5	2	n.n.	13	24	12	n.n.	8	8	3	9	n.n.	9	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.
SEEEIII-QDS-1	ILL	3	3	n.n.	22	6	37	n.n.	11	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	8	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QDS-2	ILL	4	3	n.n.	22	6	27	4	7	2	3	11	n.n.	n.n.	n.n.	9	1	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QEH-1	LWE	7	5	n.n.	15	n.n.	18	n.n.	14	n.n.	n.n.	14	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	23	n.n.	2
SEEEIII-QEL-1	RHN	3	n.n.	n.n.	8	30	16	n.n.	9	12	4	11	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	1	n.n.	4	n.n.	n.n.
SEEEIII-QES-1	CHS	2	1	n.n.	3	32	15	6	7	9	n.n.	11	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	10	n.n.	n.n.
SEEEIII-QFB-1	INN	3	n.n.	1	7	28	10	2	8	9	7	18	n.n.	n.n.	n.n.	6	0	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QFB-2	INN	3	1	2	4	27	7	n.n.	9	7	9	25	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QGA-1	INN	3	1	3	14	29	13	3	7	8	5	10	n.n.	n.n.	n.n.	4	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QGA-2	INN	3	n.n.	1	19	29	24	n.n.	8	7	1	6	n.n.	n.n.	n.n.	3	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QGB-1	SAL	3	n.n.	1	n.n.	n.n.	34	5	8	13	9	23	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEEEIII-QGB-2	SAL	2	n.n.	n.n.	n.n.	31	28	5	5	8	5	10	n.n.	n.n.	n.n.	4	1	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.
SEEEIII-QGM-1	LWE	15	4	2	27	n.n.	14	n.n.	11	n.n.	3	14	n.n.	n.n.	n.n.	5	2	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.
SEEEIII-QGM-2	LWE	10	6	n.n.	28	n.n.	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	28	n.n.	4
SEEEIII-QGR-1	RHN	10	5	n.n.	30	21	n.n.	n.n.	13	n.n.	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.
SEEEIII-QGR-2	RHN	8	3	n.n.	18	11	11	n.n.	9	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	5	1	n.n.	n.n.	27	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHF-1	ILO	3	1	1	9	30	14	n.n.	10	10	4	8	n.n.	7	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHF-2	ILO	3	1	2	8	33	14	n.n.	7	11	3	8	n.n.	7	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHF-3	ILO	2	1	1	8	32	13	n.n.	8	11	5	7	n.n.	6	n.n.	4	1	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHF-5	ILO	2	n.n.	n.n.	8	30	17	n.n.	8	10	3	9	n.n.	10	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHF-6	ILO	2	n.n.	2	5	29	14	n.n.	9	12	6	13	n.n.	6	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHF-7	ILO	2	n.n.	n.n.	3	41	18	n.n.	6	7	2	13	n.n.	n.n.	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHF-8	ILO	2	1	n.n.	4	30	16	2	8	10	4	9	n.n.	10	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHF-9	ILO	1	n.n.	n.n.	3	48	9	2	4	16	1	9	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHF-10	ILO	4	1	2	10	25	14	4	9	10	5	9	n.n.	7	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHM-1	ILL	10	7	n.n.	11	n.n.	n.n.	n.n.	17	8	6	9	n.n.	n.n.	15	n.n.	n.n.	n.n.	7	8	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHS-1	INN	3	n.n.	1	17	31	18	n.n.	7	10	1	8	n.n.	n.n.	n.n.	3	1	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHS-2	INN	4	n.n.	2	12	27	18	n.n.	8	10	3	10	n.n.	n.n.	n.n.	5	1	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEEEIII-QHS-4	INN	1	1	n.n.	n.n.	35	16	n.n.	11	11	10	11	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QIZ-1	SAL	2	n.n.	n.n.	2	37	23	5	5	12	3	10	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Probe	Stratigraphie	Rutil	Anatas	Ilmenit	Granat	Amphibol	Epidot	Klinopyroxen	Quarz	Plagioklas	Glimmer	Chlorit	Andalusit	Sillimanit	Zeolith	Fluorapatit	Zirkon	Magnetit	Hämatit	Goethit	Dolomit	Calcit
SEIII-QIZ-2	SAL	2	n.n.	n.n.	2	43	19	7	5	11	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QKG-1	ILO	1	n.n.	n.n.	7	26	17	2	8	10	7	18	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QKG-2	ILO	3	1	2	11	23	19	n.n.	8	10	5	11	n.n.	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QLA-1	ILO	2	n.n.	2	13	37	14	1	8	9	2	6	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEIII-QMH-1	RHN	2	2	n.n.	10	20	n.n.	n.n.	7	14	2	9	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	29	n.n.
SEIII-QMH-2	RHN	2	1	n.n.	12	33	15	n.n.	12	14	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QMS-1	LWE	12	6	4	28	n.n.	n.n.	n.n.	17	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.	33	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QNA-1	CHS	2	n.n.	n.n.	11	32	27	n.n.	5	7	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	2	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEIII-QNH-1	SAL	3	n.n.	2	n.n.	22	26	5	6	8	7	17	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEIII-QOG-1	ILL	7	2	n.n.	21	n.n.	17	n.n.	15	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	33	n.n.	n.n.
SEIII-QOG-2	ILL	8	4	n.n.	11	n.n.	24	n.n.	13	n.n.	6	10	n.n.	n.n.	10	n.n.	2	n.n.	n.n.	8	n.n.	4
SEIII-QOM-1	LWE	6	2	n.n.	17	20	15	n.n.	10	5	4	7	n.n.	11	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.
SEIII-QOM-2	LWE	4	3	1	20	12	17	n.n.	8	6	2	9	5	7	n.n.	4	1	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.
SEIII-QOS-1	SAL	2	n.n.	n.n.	3	33	30	3	6	8	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	2	1	2	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEIII-QOS-2	SAL	3	n.n.	2	n.n.	18	28	8	9	9	4	13	n.n.	n.n.	n.n.	5	0	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.
SEIII-QPE-1	ILO	4	1	n.n.	11	25	17	n.n.	11	13	2	9	n.n.	n.n.	n.n.	4	1	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.
SEIII-QPE-2	ILO	4	2	n.n.	16	24	18	n.n.	12	8	5	6	n.n.	n.n.	n.n.	3	1	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.
SEIII-QSB-1	ILL	5	n.n.	n.n.	13	8	18	n.n.	9	4	4	27	n.n.	n.n.	n.n.	9	n.n.	2	n.n.	2	n.n.	n.n.
SEIII-QSC-1	RHN	4	2	n.n.	8	26	23	n.n.	8	11	4	8	n.n.	n.n.	n.n.	3	2	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.
SEIII-QSC-2	RHN	4	1	n.n.	9	27	15	4	7	16	1	8	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.
SEIII-QSG-1	ILO	3	n.n.	2	42	12	15	n.n.	5	n.n.	6	13	n.n.	n.n.	n.n.	1	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QWO-1	INN	4	n.n.	4	33	20	25	n.n.	7	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3	1	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QWW-1	INN	4	n.n.	5	26	24	19	n.n.	7	5	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	4	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QWW-2	INN	2	n.n.	2	16	30	21	n.n.	7	8	1	11	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QZE-1	INN	3	1	1	13	30	17	n.n.	8	10	2	11	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEIII-QZE-2	INN	2	0	2	15	25	24	n.n.	8	8	3	9	n.n.	n.n.	n.n.	3	0	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.

Tab. A-4: Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse (M.-%) der quartären Ablagerungen für Schluff (Sp. = Spuren, n.n. = nicht nachgewiesen).

Probe	Stratigraphie	Rutil	Anatas	Ilmenit	Granat	Amphibol	Epidot	Klinopyroxen	Quarz	Plagioklas	Glimmer	Chlorit	Sillimanit	Astrophyllit	Zeolith	Fluorapatit	Zirkon	Magnetit	Hämatit	Goethit	Dolomit	Calcit
SEIII-QAB-1	CHS	4	n.n.	1	5	33	28	n.n.	4	5	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	7	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QAB-2	CHS	5	n.n.	n.n.	n.n.	36	24	1	4	7	1	10	n.n.	n.n.	n.n.	9	3	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEIII-QAH-1	ILO	7	2	n.n.	10	15	32	n.n.	10	5	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	10	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QAU-1	ILO	4	1	1	6	34	29	n.n.	6	6	n.n.	5	n.n.	n.n.	4	3	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QBN-1	ILO	5	n.n.	n.n.	7	24	20	n.n.	5	n.n.	n.n.	10	n.n.	15	n.n.	8	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	3
SEIII-QBR-1	INN	5	2	1	6	29	20	n.n.	9	4	1	13	n.n.	n.n.	n.n.	8	3	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QBR-3	INN	3	n.n.	n.n.	6	35	23	3	5	5	n.n.	16	n.n.	n.n.	n.n.	4	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Probe	Strati- graphie	Rutil	Anatas	Ilmenit	Granat	Amphi- bol	Epidot	Klino- pyroxen	Quarz	Plagio- klas	Glimmer	Chlorit	Silli- manit	Astro- phyllit	Zeolith	Fluor- apatit	Zirkon	Magnetit	Hämatit	Goethit	Dolomit	Calcit
SEIII-QBR-4	INN	6	n.n.	2	7	29	19	n.n.	5	5	n.n.	13	n.n.	n.n.	n.n.	9	3	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QDK-2	ILL	7	5	2	24	15	18	n.n.	7	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	14	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QDL-1	LWE	7	5	n.n.	8	21	17	n.n.	11	6	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	2	9	3
SEIII-QDL-2	LWE	3	n.n.	n.n.	1	35	35	4	3	3	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	6	1	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEIII-QDS-1	ILL	5	7	n.n.	14	12	18	n.n.	8	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	9	17	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QEL-1	RHN	5	5	n.n.	4	42	20	n.n.	7	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	10	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QES-1	CHS	4	2	n.n.	2	36	23	5	5	5	Sp.	12	n.n.	n.n.	n.n.	6	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QFB-1	INN	6	n.n.	5	8	33	15	n.n.	5	5	n.n.	17	n.n.	n.n.	n.n.	7	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QFB-2	INN	7	2	4	9	32	8	n.n.	6	5	2	17	n.n.	n.n.	n.n.	9	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QGA-1	INN	4	n.n.	2	n.n.	24	12	n.n.	4	5	2	39	n.n.	n.n.	n.n.	8	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QGA-2	INN	5	2	2	7	28	25	5	4	4	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	9	1	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEIII-QGB-2	SAL	4	n.n.	n.n.	n.n.	26	34	4	2	6	3	11	n.n.	n.n.	n.n.	9	0	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.
SEIII-QGR-1	RHN	16	9	n.n.	7	10	22	n.n.	10	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	9	4	n.n.	4	3	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-1	ILO	4	2	3	12	37	14	n.n.	5	n.n.	n.n.	10	n.n.	n.n.	n.n.	10	2	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-2	ILO	4	n.n.	1	8	44	10	3	3	6	n.n.	11	n.n.	n.n.	n.n.	9	0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-3	ILO	3	n.n.	3	13	41	15	1	4	5	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	7	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-4	ILO	3	n.n.	2	9	44	18	n.n.	5	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	10	1	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-5	ILO	4	1	1	8	42	10	4	3	4	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	10	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-6	ILO	3	n.n.	n.n.	8	43	14	2	4	n.n.	n.n.	12	n.n.	n.n.	3	11	0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-7	ILO	4	n.n.	n.n.	6	36	20	n.n.	4	5	1	9	3	n.n.	n.n.	9	1	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-8	ILO	3	n.n.	1	7	34	27	4	5	4	n.n.	6	n.n.	n.n.	3	5	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-9	ILO	2	1	n.n.	3	63	12	4	2	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-10	ILO	5	1	2	12	38	15	n.n.	6	n.n.	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	10	n.n.	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.
SEIII-QHF-11	ILO	2	n.n.	n.n.	n.n.	60	18	5	2	n.n.	n.n.	10	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QHS-1	INN	5	3	2	3	31	15	n.n.	7	5	n.n.	18	n.n.	n.n.	n.n.	10	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QHS-2	INN	8	2	2	n.n.	35	28	n.n.	6	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	11	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QHS-3	INN	3	1	n.n.	5	34	15	n.n.	7	9	1	10	n.n.	n.n.	n.n.	11	2	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.
SEIII-QHS-4	INN	3	n.n.	n.n.	2	43	17	4	6	4	6	10	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QIZ-1	SAL	3	2	n.n.	4	23	42	10	4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7	1	n.n.	4	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QIZ-2	SAL	3	2	n.n.	n.n.	47	26	4	2	5	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	5	0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QKG-1	ILO	2	n.n.	1	7	25	42	n.n.	4	8	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QKG-2	ILO	3	n.n.	2	4	34	30	3	4	9	n.n.	3	n.n.	n.n.	n.n.	6	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QMH-2	RHN	5	3	n.n.	12	36	18	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	15	3	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QNA-1	CHS	4	n.n.	n.n.	3	39	23	3	2	7	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	7	1	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.
SEIII-QNH-1	SAL	5	n.n.	n.n.	n.n.	30	14	n.n.	3	6	7	27	n.n.	n.n.	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	4	n.n.	n.n.
SEIII-QOS-1	SAL	4	1	n.n.	2	28	42	n.n.	4	6	3	6	n.n.	n.n.	n.n.	2	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QOS-2	SAL	5	1	n.n.	n.n.	33	34	n.n.	3	4	1	13	n.n.	n.n.	n.n.	4	0	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.
SEIII-QSC-1	RHN	16	9	n.n.	6	21	16	n.n.	9	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	11	6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEIII-QSC-2	RHN	7	7	n.n.	4	26	18	n.n.	9	n.n.	n.n.	13	n.n.	n.n.	n.n.	12	3	n.n.	n.n.	3	n.n.	n.n.

Probe	Stratigraphie	Rutil	Anatas	Ilmenit	Granat	Amphibol	Epidot	Klinopyroxen	Quarz	Plagioklas	Glimmer	Chlorit	Sillimanit	Astrophyllit	Zeolith	Fluorapatit	Zirkon	Magnetit	Hämatit	Goethit	Dolomit	Calcit
SEEEIII-QSG-1	ILO	8	2	4	19	14	35	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	10	3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QWO-1	INN	5	1	1	7	32	29	n.n.	7	4	n.n.	5	n.n.	n.n.	n.n.	8	1	n.n.	n.n.	1	n.n.	n.n.
SEEEIII-QWW-1	INN	5	1	1	7	33	19	2	5	7	n.n.	9	n.n.	n.n.	n.n.	9	2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QWW-2	INN	4	1	2	n.n.	43	31	n.n.	3	n.n.	n.n.	7	n.n.	n.n.	n.n.	7	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QZE-1	INN	7	n.n.	3	6	30	18	n.n.	4	4	n.n.	14	n.n.	n.n.	n.n.	11	2	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.
SEEEIII-QZE-2	INN	6	n.n.	2	7	31	21	8	5	5	n.n.	6	n.n.	n.n.	n.n.	9	1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Tab. A-5: Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse der Molasseablagerungen für Sand.

Element Probe	Stratigraphie	Sc ppm	Y ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	TiO ₂ %	Zr ppm
SEEEIII-AB-1	OBS	51	292	343	677	78,9	293	57,3	8,45	44,8	7,1	44,4	9,5	29,6	4,6	31,4	4,9	21,29	5957
SEEEIII-AB-2	OBS	70	242	232	457	52,2	192	37,3	5,25	32,2	6,1	43,8	10,1	30,4	4,66	31,7	4,71	7,742	1572
SEEEIII-AH-1	QRS	29	316	255	510	61,1	225	39,8	3,37	35,2	6,2	44,2	9,9	35,2	5,83	43,4	7,21	39,55	16770
SEEEIII-DD-1	OSMm	80	263	123	241	27,8	104	21,5	4,53	20,6	4,4	34,7	8,5	27,6	4,55	30,8	4,59	9,767	1126
SEEEIII-DD-2	OSMm	85	270	170	329	37,3	139	27	5,4	23,7	5	37,4	9	28,9	4,52	29,9	4,63	10,56	1381
SEEEIII-DE-1	OSMm	81	278	179	351	40,8	150	29,8	5,34	26,9	5,5	38,8	8,8	27,6	4,25	28	4,23	10,17	1628
SEEEIII-DE-2	OSMm	78	258	163	315	36,2	135	26,7	4,93	24,8	4,8	36,2	8,2	24,6	3,81	25,4	3,73	9,659	1224
SEEEIII-ER-1	OSMm	67	222	169	327	37,7	145	28,5	5,53	25,8	5,2	35,4	8	24	3,68	24,8	3,79	9,811	1005
SEEEIII-ER-2	OSMm	52	169	116	242	28	106	21,3	4,44	20,8	3,9	27,3	6,1	18,7	2,82	19	2,84	7,188	955
SEEEIII-ER-3	OSMm	74	220	154	305	34,3	129	25,2	4,9	22,5	4,5	32	7,1	21,5	3,4	22,5	3,38	9,669	1072
SEEEIII-ES-1	OSMm	82	252	120	234	27	101	20,8	4,32	20,2	4,4	34	8,1	25,7	4	27	3,94	10,38	977
SEEEIII-ES-2	OSMm	68	219	147	289	32,9	123	25,1	5,04	22,3	4,4	31,4	7,2	22,4	3,57	23,2	3,45	9,98	1144
SEEEIII-ES-3	OSMm	66	244	214	413	48,8	184	37,5	7,31	32,8	5,8	37,4	8,3	24,9	3,82	25,2	3,7	13,58	1672
SEEEIII-ES-4	OSMm	76	259	177	340	39,8	150	29,9	5,31	26	5,2	37,9	8,8	27,8	4,49	30,4	4,63	12,11	2772
SEEEIII-FH-1	OSMj	78	987	1810	3630	423	1570	272	10,8	177	25	149	30,4	93,3	14,6	96,8	14,9	39,72	26840
SEEEIII-IB-1	OSMj	62	953	1740	3590	383	1420	242	9,21	185	26	153	30	101	15	104	16,1	41,96	24950
SEEEIII-JS-1	OSMj	92	1378	4140	8040	918	3480	568	13,8	360	44,4	239	47,1	136	19,1	124	19,2	42,81	30280
SEEEIII-JS-2	OSMj	77	710	1260	2520	283	1040	182	8,95	136	19,7	118	24,2	75,8	11,5	79,3	12,2	43,53	16990
SEEEIII-KL-1	QRS	64	246	231	439	51,5	187	35,3	6,45	30,2	5,5	35,1	8,1	25,5	3,89	26,7	4,39	43,58	6869
SEEEIII-KL-2	QRS	39	204	225	447	51,3	190	35,6	6,76	28,6	5	31,2	6,5	22,3	3,66	25,9	4,28	48,08	8063
SEEEIII-KR-1	OSMm	68	285	238	459	54	202	41,1	6,66	35,1	6,5	45,1	10	29,9	4,51	30,2	4,55	10,64	1520
SEEEIII-KT-1	OBS	64	325	281	575	63,4	233	44,6	6,23	35,4	6,2	42,1	9,4	29,9	4,81	32,9	5,08	17,1	4632
SEEEIII-KT-2	OBS	69	344	350	703	80,4	301	56,9	7,38	45,8	7,9	51,7	11,7	36,8	5,61	38,7	5,74	13,83	3432
SEEEIII-LB-1	OSMm	82	260	149	288	33,7	124	24,8	4,65	25,5	5,4	41	9,4	28,2	4,18	28,3	4,24	7,802	1088
SEEEIII-LB-2	OSMm	82	252	172	335	38,7	142	28,9	5,21	25,9	5,2	38	8,4	25,3	3,82	25,6	3,74	7,97	1442
SEEEIII-LB-3	OSMm	80	255	128	249	28,6	105	21,4	4,24	22,2	4,9	37,2	8,4	25,5	3,92	26,2	3,87	7,245	1173
SEEEIII-MS-1	OSMm	86	240	114	251	26,3	101	20,9	4,68	22,1	4,8	37,4	8,8	28,1	4,45	29,8	4,52	7,723	1204

Element Probe	Stratigraphie	Sc ppm	Y ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	TiO ₂ %	Zr ppm
SEEEIII-MS-2	OSMm	84	280	178	341	40,2	150	28,9	4,99	26,8	5,4	40,5	9,8	31,2	4,81	33	5,06	11,2	3243
SEEEIII-ON-1	OSMm	80	263	177	342	39,4	144	28	4,8	26,2	5,2	38,1	8,7	27,3	4,14	28,4	4,24	10,43	2105
SEEEIII-ON-2	OSMm	87	251	144	283	32,5	118	23,7	4,08	22	4,9	36	8,1	25,4	3,93	26,5	3,99	8,687	1277
SEEEIII-RR-1	OBS	91	340	278	540	62,7	229	42,4	4,57	34,9	6,5	47,1	10,8	33	5,29	35,1	5,33	11,11	3711
SEEEIII-RR-2	OBS	100	379	245	487	55,1	200	37,9	3,8	34,9	7,5	53,3	12,4	39,1	6,21	41,4	6,2	8,136	2645
SEEEIII-RR-3	OBS	60	333	380	770	89	327	64,2	7,75	53	8,9	54,6	11,6	34,8	5,14	33,6	5	10,35	1914
SEEEIII-SO-1	OSMj	46	935	1320	2650	294	1090	196	9,51	156	23,2	142	30,1	98,2	15,2	102	16,2	44,18	25900
SEEEIII-TH-1	OSMj	52	207	305	524	69,4	251	48,6	8,28	35,7	5,5	33,8	6,8	20,6	3,11	20,8	3,16	16,2	2448
SEEEIII-TH-2	OSMj	51	194	287	541	66,6	244	46,7	8,66	34,8	5,4	32,9	6,8	20,6	3,07	21	3,15	18,02	2596
SEEEIII-TH-3	OSMj	55	229	234	461	54,5	202	41,8	7,53	34	5,9	36,4	7,4	22,4	3,32	21,5	3,23	16,83	1672
SEEEIII-US-1	OSMj	51	261	361	823	87,1	332	61,9	6,04	48,6	7,7	44,8	8,5	27,6	4,16	29,9	4,47	25,73	2560
SEEEIII-US-2	OSMj	37	108	132	293	33,1	126	24,9	2,64	21,1	3,3	21	4,3	13,3	2,07	14,6	2,16	5,335	1007
SEEEIII-VG-1	OBS	48	250	298	622	71,6	265	53,2	7,43	40,2	6,3	38,2	7,8	23,1	3,46	22,9	3,43	19,5	3429
SEEEIII-VG-2	OBS	54	544	833	1630	198	723	131	9,1	94,6	13,2	84	17,8	56,3	8,68	59,4	9,02	25,41	13250
SEEEIII-VG-4	OBS	71	237	175	381	42,6	163	34,3	6,24	33,5	6,2	40,7	8,1	26	4,05	28,1	4,27	13,79	1768
SEEEIII-WA-2	OBS	83	290	222	430	50	184	35,1	5,26	29,6	5,7	40,9	9,4	29,4	4,62	31,4	4,59	10,72	1878
SEEEIII-WA-3	OBS	89	301	197	379	44,8	164	32,2	5,16	30,1	5,9	44,1	10,2	31,7	4,7	32,6	4,77	10,16	1723
SEEEIII-WB-1	OSMj	45	225	262	526	59,3	223	46,1	8,6	36	6	36	7,4	21,6	3,26	20,8	3,09	15,68	1876
SEEEIII-WB-2	OSMj	47	227	335	652	76,2	277	54,2	9,52	40,7	6	35,5	7,3	21,8	3,29	21,7	3,28	18,7	2946
SEEEIII-WM-1	OSMj	49	220	237	477	55,1	205	42	7,72	34,6	5,8	36,7	7,7	23,1	3,62	24,2	3,56	21,49	2919
SEEEIII-WM-2	OSMj	65	234	170	367	38,3	143	29,7	5,93	27,6	5	35,3	7,9	24,9	3,93	26,5	3,98	12,93	1530
SEEEIII-WM-3	OSMj	48	219	201	421	46,9	181	37,7	7,87	32,1	5,5	34,2	7	21,1	3,1	19,9	2,98	14,46	1179

Tab. A-6: Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse der Molasseablagerungen für Schluff.

Element Probe	Stratigraphie	Sc ppm	Y ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	TiO ₂ %	Zr ppm
SEEEIII-AB-1	OBS	80	412	470	973	109	413	84,7	14,9	70,9	11,7	73,4	14,9	45,4	7,18	47,7	7,72	8,81	4960
SEEEIII-AB-2	OBS	50	235	283	601	66,6	253	54,9	8,93	47,2	7,7	47	9,4	28,2	4,22	28,1	4,56	5,543	3028
SEEEIII-AH-1	QRS	47	1009	256	496	59,1	230	51,1	8,97	68,5	17,1	145	34,1	116	20	146	27	38,78	46290
SEEEIII-DD-1	OSMm	60	407	464	912	104	410	84,4	15,5	69,7	11,4	74,3	15	46,3	7,44	51,2	8,97	13,88	7221
SEEEIII-DD-2	OSMm	74	458	580	1070	134	492	94,5	16,6	74,8	11,3	72,5	15,9	48,4	7,32	50	8,19	17,09	8395
SEEEIII-DE-1	OSMm	69	378	503	996	116	437	88,3	15,1	73,3	11,7	70,3	13,8	41,3	6,32	42	6,86	10,53	4847
SEEEIII-DE-2	OSMm	60	378	519	1040	120	452	92,3	16,4	75,1	11,6	72,1	14	41,7	6,31	42,5	6,77	11,42	6023
SEEEIII-ER-1	OSMm	61	325	548	1080	124	477	97,6	15,5	71,1	10,7	64,7	12,3	37	5,85	40,7	7,15	11,6	3371
SEEEIII-ER-2	OSMm	33	169	204	429	46,8	182	40,1	7,03	33,7	5,5	34,8	6,7	20,2	3,06	21,6	3,64	3,931	2058
SEEEIII-ER-3	OSMm	74	321	430	14,5	102	391	75,9	13	62,8	9,2	55,7	11,3	34,6	4,98	34,7	5,15	11,54	6754
SEEEIII-ES-1	OSMm	69	409	448	883	101	386	81,1	13,3	61,2	10	63,5	12,6	39	6,09	43	7,52	14,28	8881

Element Probe	Stratigraphie	Sc ppm	Y ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm	TiO ₂ %	Zr ppm
SEIII-ES-2	OSMm	48	316	382	777	89,2	340	69,7	12,6	57,7	9,4	58,7	11,7	35,5	5,57	37,4	6,02	9,676	4442
SEIII-ES-3	OSMm	65	500	629	1190	148	547	106	16,2	78,1	11,9	73,2	16	48,9	7,64	53,4	8,71	20,07	13000
SEIII-ES-4	OSMm	53	400	515	1020	118	458	96,5	16,6	76,5	12,4	78,6	15,5	46,6	7,46	52	8,83	10,27	7530
SEIII-FH-1	OSMj	120	1329	2580	5530	604	2230	412	28,3	279	39,8	227	45,3	139	22,4	160	27,2	29,23	47650
SEIII-IB-1	OSMj	83	1181	2620	5910	602	2240	429	29,2	275	39,8	234	43,9	134	21,2	150	26,4	25,52	34230
SEIII-JS-1	OSMj	114	2257	8880	17200	1890	7060	1180	33,8	690	90,8	466	81	235	34,9	242	41,6	24,66	59970
SEIII-JS-2	OSMj	101	885	1750	3660	412	1500	277	25,5	193	27,5	160	31,8	97,3	15,4	107	17,8	25,17	25610
SEIII-KR-1	OSMm	73	573	792	1550	191	701	134	19,6	98,1	14,3	89,8	19	59,3	9,25	63,8	10,2	13,44	6556
SEIII-KT-1	OBS	83	324	269	680	63,9	239	54,5	9,29	50,3	9	61,7	12,8	38,2	6,18	42,1	6,57	4,332	3195
SEIII-KT-2	OBS	75	356	352	798	82,8	328	73,6	12,1	63,4	11,3	75,2	14,4	43,3	6,74	45,4	7,51	5,199	2931
SEIII-LB-1	OSMm	72	385	550	1100	127	477	96,8	16,3	77,2	11,8	71,6	14,3	42,4	6,53	44	7,22	10,5	5580
SEIII-LB-2	OSMm	66	394	565	1110	128	491	102	17	78	12,5	76,6	14,6	43,9	7,02	47,5	8,15	10,15	7264
SEIII-LB-3	OSMm	70	372	526	1050	121	460	93,8	15,7	72,5	11,4	68,7	13,4	40,5	6,22	42,3	6,88	10,18	6487
SEIII-MS-1	OSMm	89	369	323	727	76,9	297	64,7	11,9	59,9	10,5	71,6	14,8	46	7,01	48	7,51	7,547	5002
SEIII-MS-2	OSMm	69	482	837	1630	188	727	142	22,2	103	15,5	91,5	17,9	55,6	9,18	65,6	11,8	15,03	11700
SEIII-ON-1	OSMm	67	476	750	1440	166	616	115	16,8	87,7	13,2	79,7	17,1	52,1	7,91	56,3	9,03	15,76	6562
SEIII-ON-2	OSMm	72	468	629	1170	144	544	106	16,3	76,3	11,7	71	14,8	46,2	7,01	47,9	7,57	14,43	5310
SEIII-RR-3	OBS	52	495	557	1070	130	492	98,8	13,9	82,5	12,9	80,8	16,8	49,9	7,25	48,6	7,72	9,9	5886
SEIII-SO-1	OSMj	69	1606	3160	6480	732	2770	529	42,4	347	50,1	292	56	176	28,6	206	37,6	37,64	68950
SEIII-TH-1	OSMj	71	507	745	1340	172	636	121	18,4	87,4	12,7	77,7	16	47,4	7,29	49,2	7,82	10,83	10510
SEIII-TH-2	OSMj	74	394	590	1120	136	511	103	17	82,1	12,8	76,7	15,2	45,2	7,15	48,6	7,64	9,744	7466
SEIII-TH-3	OSMj	60	534	785	1510	192	717	134	21,2	105	15,7	90,8	18,6	56,1	8,36	58,2	9,07	21,07	9196
SEIII-US-1	OSMj	80	505	488	1070	119	454	95,7	11,7	82	14,2	92,6	18,9	57,9	9,42	64,1	10,4	9,05	5059
SEIII-US-2	OSMj	36	170	118	250	31,4	123	27,9	4,56	27,8	5,2	34,5	7,2	22,3	3,63	23,8	3,77	1,88	2152
SEIII-VG-1	OBS	64	348	396	927	93,5	359	76,8	12,4	65	11	67,2	13,5	40,8	6,62	44,9	7,3	8,334	6426
SEIII-VG-2	OBS	81	349	397	850	92	344	70,7	10,6	60,2	9,9	63,9	13,1	40,5	6,57	45,3	7,46	6,46	6086
SEIII-VG-3	OBS	88	290	369	775	87,1	328	65,5	9,55	57,3	9,1	55,8	11,3	34,7	5,28	37,1	5,95	9,632	5052
SEIII-VG-4	OBS	82	430	459	946	106	398	82,6	12,1	69,9	11,8	73,8	15,2	48,4	7,76	54,8	9,24	10,77	5879
SEIII-WA-1	OBS	57	397	407	832	94,4	358	76,1	14	71,9	11,5	70	14	40,8	5,99	39,9	6,25	7,595	2306
SEIII-WA-2	OBS	88	286	371	756	87,9	334	69,8	11,4	55,6	8,7	53,9	10,4	31,3	4,73	31,2	5	8,499	3814
SEIII-WA-3	OBS	68	391	488	1010	113	422	85,8	14,4	70,3	11,4	71,2	14,4	43,2	6,65	45,5	7,28	10,95	5839
SEIII-WB-1	OSMj	101	325	410	829	95	356	73,2	12,6	59,7	9,5	58,3	11,5	34,2	5,25	35,1	5,52	8,077	4533
SEIII-WB-2	OSMj	65	622	941	1820	225	846	162	26,2	126	17,5	106	21,5	64,2	9,26	64,1	10,1	17,61	9426
SEIII-WM-1	OSMj	62	615	898	1700	199	738	143	20,4	109	16,7	97,9	21,1	63,8	9,94	70	10,9	24,74	12990
SEIII-WM-2	OSMj	88	388	400	1190	94,9	359	70	11,5	61,7	9,8	63,4	13,5	44,3	6,33	44,6	7,02	12,47	8243
SEIII-WM-3	OSMj	63	583	738	1480	172	657	132	24,3	110	17,4	107	21,1	62,4	9,55	63,1	10,3	20,51	7364

Tab. A-7: Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse der quartären Ablagerungen für Sand.

Element Probe	Stratigraphie	TiO ₂ %	Sc ppm	Y ppm	Zr ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm
SEIII-QAB-1	CHS	5,836	56	176	1224	223	436	47,3	172	32,7	5,11	29,2	4,9	30,9	6,6	19,5	3,01	20,3	3,15
SEIII-QAB-2	CHS	5,961	55	166	1280	205	394	42,6	152	28,1	4,49	25,2	4,5	28,8	5,9	17,9	2,71	18,8	2,71
SEIII-QAH-1	ILO	8,636	61	197	1030	145	293	33	122	25	4,48	26,1	4,7	32,4	7,2	21,8	3,35	23,3	3,57
SEIII-QAS-1	LWE	8,56	60	163	6260	126	271	32,7	124	27,6	4,49	25,9	5,1	32,6	7,1	21,8	3,4	23,1	3,8
SEIII-QAU-1	ILO	6,476	53	150	740	137	268	31,4	121	26,2	4,78	23,4	4,3	29,2	5,9	18	2,87	19,1	3,1
SEIII-QBB-1	LWE	6,712	77	243	832	123	244	27,4	103	20,7	3,94	24,2	5	38,2	8,6	26,3	4,1	28	4,2
SEIII-QBB-2	LWE	7,197	70	196	1706	124	253	28,3	105	21,5	4,11	22,7	4,3	32,5	7,1	21,8	3,33	22,9	3,56
SEIII-QBN-1	ILO	4,776	33	98	767	81	165	18,6	68,1	14,1	2,69	13,8	2,6	17,4	3,8	11,7	1,8	12,1	1,83
SEIII-QBR-1	INN	7,736	61	233	2756	247	479	52,2	188	35,1	5,03	32,9	5,8	38,2	8,3	25,8	3,99	26,9	4,13
SEIII-QBR-2	INN	8,31	66	218	3328	292	562	60,8	219	39,5	5,06	31,6	5,9	40	8,6	26,5	4,22	28,4	4,62
SEIII-QBR-3	INN	8,48	64	256	4431	328	640	69,6	254	45,5	5,32	36,8	6,8	46,8	9,9	31,1	4,89	32,8	5,32
SEIII-QBR-4	INN	8,266	52	236	3407	282	548	59,8	218	41,9	5,68	39,3	6,6	43,8	9,2	29,2	4,35	29,9	4,77
SEIII-QDK-1	ILL	8,938	56	246	3902	107	229	26,5	106	26,4	4,3	31,6	6,2	43,8	9,2	27,4	4,19	27,3	4,26
SEIII-QDK-2	ILL	7,799	52	250	2432	117	254	30,5	119	29,4	4,8	33,5	6,5	44	9	27,5	4,02	27,3	4,23
SEIII-QDL-1	LWE	7,142	52	190	2919	152	311	36,3	136	27,6	3,95	28,1	5,3	33,3	7,1	21,8	3,37	22,4	3,43
SEIII-QDL-2	LWE	8,302	53	204	1942	159	321	37	148	32,8	4,61	29,8	6	39,7	8,1	25,3	4,05	27,5	4,47
SEIII-QDS-1	ILL	7,526	55	231	2743	101	216	25,1	97,6	24,2	3,68	28,1	5,7	39,7	8,2	24,6	3,67	25,7	3,84
SEIII-QDS-2	ILL	7,793	57	248	2850	109	235	28	109	27,9	4,29	32,6	6,4	43,9	8,9	26,2	3,96	26	3,99
SEIII-QEH-1	LWE	11,68	41	181	3421	174	335	40,7	157	34,5	5,99	29,7	5,2	36,1	7,4	23,2	3,65	24,9	4,22
SEIII-QEL-1	RHN	6,722	49	143	1676	157	325	36,4	138	27,2	4,56	24,6	4,2	26,8	5,4	16,7	2,48	16,7	2,7
SEIII-QES-1	CHS	6,314	42	100	1594	108	212	24	90,3	18,3	3,83	18	3	18,8	3,9	11,9	1,78	12,1	1,83
SEIII-QFB-1	INN	8,109	48	162	657	179	359	40,8	153	32,2	6,64	30,2	4,8	30,5	5,9	17,8	2,57	17,3	2,63
SEIII-QFB-2	INN	9,34	51	169	814	214	430	49,5	182	36,7	7,87	35,1	5,6	34,4	6,9	20,4	2,92	20,1	3,02
SEIII-QGA-1	INN	8,555	59	194	1291	380	728	79,7	294	55,3	9,12	39,7	6,6	39,4	7,6	23,2	3,53	24,8	3,96
SEIII-QGA-2	INN	7,343	61	190	1313	285	551	60,5	208	36,7	5,33	30,2	5,7	37,5	8,1	24,7	3,9	25,8	4,2
SEIII-QGB-1	SAL	4,623	57	121	881	242	475	52,8	194	36,7	6,75	27,5	4,2	25,4	5	14,7	2,17	14,5	2,24
SEIII-QGB-2	SAL	4,634	61	127	734	272	548	60,4	222	41,6	7,84	31,5	4,3	24,3	4,6	13,7	2,01	13,4	1,96
SEIII-QGM-1	LWE	16,66	69	342	10600	262	537	62,6	234	47,6	6,12	46,3	8,6	57,3	12,8	40,5	6,32	44,9	7,38
SEIII-QGM-2	LWE	11,22	51	196	2087	145	295	34	124	26,7	4,56	27,3	5,1	36,7	8,1	25,3	3,88	27,1	4,3
SEIII-QGR-1	RHN	11,11	48	231	2426	232	483	56,9	210	42,9	5,51	39,2	7,2	46	9,8	29,4	4,6	31,5	5,2
SEIII-QGR-2	RHN	9,527	50	249	7522	264	538	61,5	234	46,5	4,97	38,4	7	46,1	10	31,8	5,05	34,8	5,73
SEIII-QHF-1	ILO	9,396	56	162	666	178	352	40,8	156	33,7	6	28,7	5,1	32,9	6,5	19,2	2,92	20,6	3,23
SEIII-QHF-2	ILO	3,338	28	70	314	71,6	145	16,4	62,8	12,9	2,43	12,5	2,1	13,4	2,7	7,9	1,14	8	1,21
SEIII-QHF-3	ILO	7,237	53	142	693	152	307	35,3	130	27	5,21	25,6	4,2	26,4	5,6	16,2	2,33	15,9	2,39
SEIII-QHF-4	ILO	7,475	53	135	734	122	245	28,2	106	23	4,72	22,4	3,8	24,7	5,1	15,5	2,37	14,9	2,3
SEIII-QHF-5	ILO	6,651	49	148	716	156	316	35,4	133	27,2	4,53	25,8	4,1	26,7	5,4	15,7	2,38	16	2,5
SEIII-QHF-6	ILO	6,712	53	152	603	175	349	39,6	148	30,8	5,17	27,4	4,9	30,2	6,2	18,3	2,67	17,3	2,74

Element Probe	Stratigraphie	TiO ₂ %	Sc ppm	Y ppm	Zr ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm
SEEEIII-QHF-7	ILO	5,626	59	237	771	246	509	59	231	51,2	7,7	46,2	8,1	49,4	9,2	25,9	3,82	24,8	3,7
SEEEIII-QHF-8	ILO	5,122	48	163	371	148	303	34,5	137	31,2	5,14	28,2	5	31,8	6,2	17,6	2,68	16,9	2,7
SEEEIII-QHF-9	ILO	3,208	48	111	336	99,5	201	22,6	83,7	18,6	3,24	19	3,4	21,1	4,2	12,1	1,75	11,2	1,69
SEEEIII-QHF-10	ILO	10,24	57	171	556	185	362	41	159	34,7	6,34	29,5	5,3	33,4	6,8	20,2	3,15	19,9	3,31
SEEEIII-QHM-1	ILL	10,29	36	129	1952	128	264	32,1	120	26,6	5,52	26,4	4,8	29,3	6,1	17,7	2,7	17,8	2,8
SEEEIII-QHS-1	INN	7,476	62	205	1820	316	621	69,4	242	42,8	5,57	35	6,3	40	8,5	25,6	4	26,8	4,3
SEEEIII-QHS-2	INN	7,903	58	172	1724	343	658	70,6	241	41,3	5,95	32,6	5,7	35,5	7,3	21,2	3,2	21,9	3,5
SEEEIII-QHS-4	INN	3,424	49	173	864	200	401	44,8	163	34,6	5,31	32,6	5,9	35,7	7,1	20,2	3,1	20,4	3,1
SEEEIII-QIZ-1	SAL	4,732	52	112	855	212	399	42,8	147	26,5	4,28	21,9	3,3	20,6	4	11,6	1,77	11,9	1,8
SEEEIII-QIZ-2	SAL	4,789	51	107	1113	220	417	44,9	155	27,6	4,56	22,4	3,3	20,6	4,1	12,1	1,87	12,2	1,84
SEEEIII-QKG-1	ILO	5,267	54	163	574	133	274	31	120	25,7	4,95	25,8	4,4	28,1	5,9	17,9	2,76	18,6	2,72
SEEEIII-QKG-2	ILO	7,297	60	187	467	167	340	38,5	146	29,8	6,01	30,1	5	32,9	6,7	20,1	3,09	20,9	3,19
SEEEIII-QLA-1	ILO	5,571	54	150	601	128	257	30,2	115	24,3	4,25	24	4,3	28,2	5,9	17,8	2,65	18,3	2,83
SEEEIII-QMH-1	RHN	3,778	39	126	1240	112	223	25,8	94,4	19,5	2,98	18,8	3,3	22,9	4,9	14,6	2,26	15,1	2,34
SEEEIII-QMH-2	RHN	5,287	57	140	1118	104	211	24	86,6	17,9	3,28	18,9	3,5	25,3	5,4	16,8	2,61	17,5	2,66
SEEEIII-QMS-1	LWE	11,42	48	195	2321	148	298	34,8	130	27,3	4,23	27,4	5,2	36,7	8,1	25,4	3,78	26	4,2
SEEEIII-QNA-1	CHS	5,706	62	153	980	204	401	44,7	166	30,5	5,27	26,9	4,5	27,9	5,7	16,9	2,53	17,5	2,73
SEEEIII-QNH-1	SAL	5,693	62	134	813	238	481	54,9	199	39,5	7,96	32,1	4,8	27,2	5,2	14,9	2,19	13,8	2,05
SEEEIII-QOG-1	ILL	9,502	52	172	2306	123	254	29,5	115	24,3	4,36	23,3	4,7	33,1	7,2	22,4	3,47	23,4	3,66
SEEEIII-QOG-2	ILL	13,15	55	179	1802	152	318	37,7	142	29,3	5,74	28,1	5,6	37,4	8	24,2	3,7	25,2	3,9
SEEEIII-QOM-1	LWE	8,944	51	163	1560	123	246	28,6	113	25,4	4,66	23,3	4,4	30,6	6,4	19,8	3,22	21,9	3,68
SEEEIII-QOM-2	LWE	6,754	63	186	844	120	241	27,2	99,8	21,1	3,9	23,1	4,2	31,2	6,9	21	3,26	22,3	3,49
SEEEIII-QOS-1	SAL	5,149	56	157	1064	291	575	63,8	228	43,1	6,58	33,1	4,8	28,7	5,6	16,1	2,38	15,9	2,35
SEEEIII-QOS-2	SAL	3,26	26	80	1118	188	383	42,8	163	29,8	5,64	21,1	2,8	15,5	2,9	8,2	1,14	7,5	1,2
SEEEIII-QPE-1	ILO	8,61	54	197	2288	209	419	47	175	34,1	4,54	30	5,6	38,2	8,1	25,8	3,96	26,8	4,36
SEEEIII-QPE-2	ILO	11,69	57	265	5066	247	502	58,2	209	41,3	5,23	38,5	6,8	44,5	10,1	32,4	4,94	33,6	5,52
SEEEIII-QSB-1	ILL	7,516	48	262	2783	128	270	31,8	123	29,9	4,91	35,2	6,6	44,7	9,4	27,7	4,28	27,6	4,27
SEEEIII-QSC-1	RHN	8,132	54	207	3302	216	445	50,8	196	40,8	5,6	35	6,2	40,6	8,5	25,6	3,96	27,3	4,57
SEEEIII-QSC-2	RHN	6,941	50	175	2788	204	416	47,4	178	36	4,94	30,9	5,4	34,9	7,3	21,9	3,47	23,7	3,82
SEEEIII-QSG-1	ILO	7,396	80	226	2024	159	314	36,1	129	25,2	4,5	25,3	5,8	42,5	9,5	29,1	4,5	30,2	4,8
SEEEIII-QWO-1	INN	3,515	37	114	1017	113	222	23,9	85,4	15,7	2,49	15,1	2,8	19,9	4,4	13,4	2,11	14,4	2,23
SEEEIII-QWW-1	INN	9,26	63	226	2062	323	630	69,7	242	43,4	6,22	35,7	6,6	42,8	9,3	28,7	4,45	31	4,95
SEEEIII-QWW-2	INN	5,647	59	173	749	241	470	50	175	32	4,94	28,6	4,9	32	6,7	20,7	3,13	21,5	3,31
SEEEIII-QZE-1	INN	7,642	57	172	1766	318	611	67,1	233	42	5,8	32,7	5,7	35,5	7,3	21,5	3,3	22,3	3,5
SEEEIII-QZE-2	INN	7,756	58	176	1692	257	501	55,3	193	35,8	5,69	30,5	5,7	36,5	7,7	22,6	3,5	23,7	3,8

Tab. A-8: Tabellarische Aufstellung der geochemischen Ergebnisse der quartären Ablagerungen für Schluff.

Element Probe	Stratigraphie	TiO ₂ %	Sc ppm	Y ppm	Zr ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm
SEEEIII-QAB-1	CHS	7,783	64	390	4706	480	996	112	427	88,6	13,7	74,9	11,6	71,3	14,1	41,7	6,22	43,6	6,94
SEEEIII-QAB-2	CHS	7,071	72	331	3643	368	745	87,6	328	67,3	11,6	62,7	10	60,5	12,2	36,6	5,26	35,9	5,86
SEEEIII-QAH-1	ILO	12,86	62	515	7234	643	1280	148	569	115	16,7	93,3	16	100	20,2	61,3	9,56	65,3	10,6
SEEEIII-QAU-1	ILO	9,005	73	362	6051	452	906	104	398	79	11,7	64,5	10,8	68,8	14	43,4	6,85	47,5	7,95
SEEEIII-QBN-1	ILO	10,1	88	396	5771	494	993	116	445	90,2	12,8	71,3	12,1	73,8	14,7	44,7	6,92	47,4	7,69
SEEEIII-QBR-1	INN	11,12	61	529	7304	712	1450	172	638	128	15,7	107	17,8	104	20,9	61,4	9,5	66,7	11,1
SEEEIII-QBR-3	INN	7,239	64	479	4039	627	1270	146	557	112	13,6	89,7	15,1	92,4	18,1	55,3	8,67	59	9,84
SEEEIII-QBR-4	INN	11,48	68	674	5652	952	1990	223	846	166	17,1	131	21,3	129	26	79,8	12,5	86	14,4
SEEEIII-QDK-2	ILL	11,5	50	576	3845	562	1170	138	515	113	14,5	103	18,7	112	21,8	63,1	9,7	65,5	10,6
SEEEIII-QDL-1	LWE	10,11	50	469	3922	536	1070	124	474	103	13,2	83,2	14	86,2	17,5	53	8,35	58,2	10,1
SEEEIII-QDL-2	LWE	5,566	67	266	1867	382	764	88,3	344	72,6	14,4	56	8,8	53,3	10	28,8	4,22	27,5	4,51
SEEEIII-QDS-1	ILL	10,25	63	472	8644	390	808	94,7	356	80	10,2	74,3	14,1	88,4	18	53,7	8,2	54,8	9
SEEEIII-QEL-1	RHN	11,09	60	429	2475	439	904	109	410	87,2	12,3	77,5	13,4	84	17,3	52,3	8,1	57	9,5
SEEEIII-QES-1	CHS	7,365	61	278	2513	315	643	76,1	286	59,5	10,7	54,6	9,4	56,5	11,3	33	5	33,7	5,5
SEEEIII-QFB-1	INN	9,644	54	316	4683	393	788	90,6	348	72,7	13,3	60,2	10,2	62,7	12,4	36,9	5,7	38,2	6,27
SEEEIII-QFB-2	INN	12,12	57	380	8189	497	980	111	428	86,3	15,6	69,2	11,6	71,9	14,5	45,3	7,28	49,6	8,41
SEEEIII-QGA-1	INN	8,615	61	415	3388	553	1120	130	479	95,2	18,6	82,6	12,8	75,1	14,9	43,7	6,29	41,9	6,39
SEEEIII-QGA-2	INN	9,578	63	372	5152	400	802	93,5	345	72,4	13,1	65,9	10,6	66	13,6	41,7	6,25	43	7,14
SEEEIII-QGB-2	SAL	4,848	64	235	1816	345	710	80,5	311	63,5	12,8	52,1	7,8	45,8	8,6	25,2	3,54	23	3,46
SEEEIII-QGR-1	RHN	16,52	55	793	17780	917	1850	216	826	165	18	137	22,9	148	30,4	96,7	15,3	108	18,1
SEEEIII-QHF-1	ILO	9,759	67	356	6428	491	988	111	423	83,7	13,3	70	10,5	63,6	12,9	39,3	6,05	42,3	6,69
SEEEIII-QHF-2	ILO	7,237	66	314	3364	383	769	89,3	345	70,5	11,7	58,9	10,2	62,5	12,2	36,7	5,64	38,2	6,06
SEEEIII-QHF-3	ILO	8,462	64	311	5250	441	889	101	379	75,8	12,4	64,1	9,5	56,4	11,3	34,2	5,09	35,5	5,68
SEEEIII-QHF-4	ILO	7,547	67	301	2736	342	675	77,8	304	64,8	10,9	53,4	8,9	55,6	11,2	31,5	4,94	34,1	5,57
SEEEIII-QHF-5	ILO	7,804	63	343	4945	423	846	97,3	376	78,2	11,5	63,6	10,8	66,4	13,2	40,1	6,12	41,9	7,03
SEEEIII-QHF-6	ILO	6,984	65	298	3348	386	773	87,5	341	71,1	10,9	57,6	9,8	58,4	11,5	34,9	5,32	35,3	5,7
SEEEIII-QHF-7	ILO	6,322	66	361	2770	388	787	91,3	341	70,6	11,6	65,9	11	67,6	13,4	39,9	5,88	40,5	6,24
SEEEIII-QHF-8	ILO	6,165	64	316	3223	339	681	79	307	65,9	10,2	55,3	9,6	60,5	11,9	35,1	5,37	35,6	5,84
SEEEIII-QHF-9	ILO	3,773	59	209	1016	182	381	44,7	171	38,4	6,23	36,7	6,4	40	7,8	23,2	3,44	22,7	3,61
SEEEIII-QHF-10	ILO	9,399	64	330	4494	481	949	109	414	84	13,7	69,1	11,5	68,5	13,4	40,4	6,22	41,9	6,82
SEEEIII-QHF-11	ILO	3,335	57	159	1181	138	287	33,2	133	30,3	5,11	28,6	5,1	32,6	6,2	18,3	2,72	17,7	2,77
SEEEIII-QHS-1	INN	9,996	67	473	5016	541	1090	124	477	99	14,4	82,4	14,5	88,3	17,5	54,1	8,25	55,6	9,08
SEEEIII-QHS-2	INN	10,96	62	397	3797	483	976	114	425	85,8	14,8	75,2	13,2	78,8	15,9	46,9	7,1	48,6	7,9
SEEEIII-QHS-3	INN	7,389	62	314	3794	341	687	78,3	297	63,4	9,79	56,3	10	62,1	12,2	36	5,62	36,8	5,95
SEEEIII-QHS-4	INN	4,588	60	323	1942	291	599	68,5	258	59	9,28	55,6	9,7	58,5	11,6	35,5	5,3	35,8	5,7
SEEEIII-QIZ-1	SAL	6,052	58	323	3055	295	602	69,6	269	59,3	9,88	57,9	9,4	58,3	11,8	35,1	5,25	36,2	5,61
SEEEIII-QIZ-2	SAL	5,157	57	225	2408	201	415	48,2	191	42,3	8,23	41,8	6,6	41,2	8,3	24	3,55	23,7	3,72

Element Probe	Stratigraphie	TiO ₂ %	Sc ppm	Y ppm	Zr ppm	La ppm	Ce ppm	Pr ppm	Nd ppm	Sm ppm	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm	Lu ppm
SEEIII-QKG-1	ILO	5,441	74	268	2345	302	611	68,8	271	56,3	10,9	49,4	8,6	52,7	10,3	30,8	4,58	30,8	4,9
SEEIII-QKG-2	ILO	3,069	37	169	519	181	376	42,1	164	33,7	6,46	30,8	4,9	30,4	6,1	18,2	2,71	18,4	2,84
SEEIII-QMH-2	RHN	10,59	63	529	2339	601	1230	147	541	112	13,5	98,1	16,9	102	20,7	61,4	9,5	66	11,3
SEEIII-QNA-1	CHS	6,376	62	273	3829	280	575	66,3	256	53,8	9,45	49,4	7,8	49,1	9,8	29,5	4,32	29,4	4,7
SEEIII-QNH-1	SAL	4,596	60	199	1440	294	592	67,9	263	54,2	11,6	46,3	6,7	39,2	7,6	21,4	3,04	20,1	3,02
SEEIII-QOS-1	SAL	6,257	72	324	3804	436	864	99,8	377	75,9	13,6	61,3	10,6	65	12,7	37,5	5,56	37	5,97
SEEIII-QOS-2	SAL	6,379	59	383	2482	581	1170	135	501	100	19,5	82,6	12,6	74	14,2	41,4	5,75	39,1	6,15
SEEIII-QSC-1	RHN	19,09	79	1149	30310	1650	3370	381	1390	271	24,4	215	35,6	208	42,9	132	20,6	148	25,1
SEEIII-QSC-2	RHN	13,09	62	681	12660	807	1740	197	735	148	16,3	128	21,4	127	26,4	78,6	12,4	88,1	14,9
SEEIII-QSG-1	ILO	13,57	65	531	8445	755	1490	172	653	129	17,6	102	16,8	104	21,1	64,8	9,94	70,2	11,5
SEEIII-QWO-1	INN	9,112	64	423	5522	456	922	105	405	85,4	13,5	72,4	12,5	77,2	15,5	46,8	7,24	49,3	7,91
SEEIII-QWW-1	INN	11,49	66	430	5889	529	1050	120	449	90,2	13	74,3	12,7	79,4	16,2	49,8	8,04	56,4	9,43
SEEIII-QWW-2	INN	8,2	63	372	1886	389	783	91,8	339	70,4	11,8	63,5	10,9	65,6	13,1	38,6	5,8	39,7	6,6
SEEIII-QZE-1	INN	11,67	59	381	3478	449	899	106	388	77,7	13,7	69,6	12,3	73,7	15,4	45,8	6,8	46,8	7,8
SEEIII-QZE-2	INN	11,05	60	372	7243	405	820	92,4	354	73,4	12,8	63,4	11,2	71,3	14,1	43,2	6,87	46,8	7,77

Anhang B

Tab. B-1: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus OSMj (pro 100.000t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEElII-FH-1	2.416	206	5.435	52.613
SEElII-IB-1	2.647	243	5.495	61.056
SEElII-JS-1	68.137	4.468	79.526	798.358
SEElII-JS-2	1.346	129	2.698	44.986
SEElII-SO-1	2.742	284	8.125	70.594
SEElII-TH-1	1.033	112	1.330	50.435
SEElII-TH-2	3.215	375	4.678	143.199
SEElII-TH-3	2.620	330	2.483	163.164
SEElII-US-1	401	49	409	19.810
SEElII-US-2	402	56	421	13.083
SEElII-WB-1	787	95	857	34.809
SEElII-WB-2	1.216	129	1.524	61.376
SEElII-WM-1	655	84	1.080	47.784
SEElII-WM-2	97	12	213	2.701
SEElII-WM-3	6.971	914	8.422	238.078

Tab. B-2: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus OSMm (pro 100.000t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEElII-DD-1	526	90	476	26.763
SEElII-DD-2	1.964	299	1.712	92.246
SEElII-DE-1	1.740	252	1.732	70.650
SEElII-DE-2	1.754	253	1.558	73.982
SEElII-ER-1	13.011	1.926	8.835	587.033
SEElII-ER-2	586	90	590	21.504
SEElII-ER-3	5.343	763	4.327	260.391
SEElII-ES-1	5.894	956	5.475	320.969
SEElII-ES-2	962	141	912	45.751
SEElII-ES-3	9.130	1.238	10.782	473.928
SEElII-ES-4	4.300	662	7.226	229.121
SEElII-KR-1	1.227	176	930	46.762
SEElII-LB-1	1.649	271	1.310	59.504
SEElII-LB-2	3.931	569	3.919	133.708
SEElII-LB-3	7.821	1.256	7.667	280.264
SEElII-MS-1	1.654	303	1.609	67.994
SEElII-MS-2	7.285	1.142	13.829	337.708
SEElII-ON-1	3.175	465	4.022	140.032
SEElII-ON-2	1.733	265	1.519	73.931

Tab. B-3: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Quarzrestschotter (pro 100.000t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEElII-DD-1	379	84	4.080	40.922
SEElII-DD-2	270	35	851	36.727
SEElII-ON-2	158	21	730	32.234

Tab. B-4: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ortenburger Schotter (pro 100.000 t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEIII-AB-1	3.048	372	6.495	163.608
SEIII-AB-2	1.029	153	861	30.360
SEIII-WA-1	3.597	516	2.550	62.201
SEIII-WA-2	680	93	662	26.508
SEIII-WA-3	1.051	160	1.011	40.985
SEIII-VG-1	464	54	726	24.931
SEIII-VG-2	2.415	250	5.382	74.698
SEIII-VG-3	4.652	611	8.042	113.580
SEIII-VG-4	3.369	521	4.027	172.305
SEIII-KT-1	576	73	1.094	28.687
SEIII-KT-2	1.087	140	1.317	38.593
SEIII-RR-1	6.107	789	9.451	209.596
SEIII-RR-2	3.923	589	4.482	102.121
SEIII-RR-3	1.317	163	930	33.310

Tab. B-5: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Rheingletschers (pro 100.000 t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEIII-QEL-1	71	11	66	2.067
SEIII-QGR-1	143	22	250	4.766
SEIII-QGR-2	59	9	209	1.960
SEIII-QMH-1	60	9	77	1.747
SEIII-QMH-2	96	15	88	3.071
SEIII-QSC-1	441	59	997	9.344
SEIII-QSC-2	91	13	163	2.493

Tab. B-6: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Illergletschers (pro 100.000 t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEIII-QDK-1	50	11	154	2.613
SEIII-QDK-2	401	70	485	11.179
SEIII-QDS-1	148	29	350	6.243
SEIII-QDS-2	88	18	196	3.977
SEIII-QHM-1	11	2	19	754
SEIII-QOG-1	30	5	59	1.811
SEIII-QOG-2	21	4	27	1.471
SEIII-QSB-1	59	12	118	2.370

Tab. B-7: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Lech-Wertachgletschers (pro 100.000 t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEIII-QAS-1	12	2	63	640
SEIII-QAS-2	Schwermineralgehalt zu gering für Analyse			
SEIII-QBB-1	126	23	79	4.698
SEIII-QBB-2	38	6	52	1.619
SEIII-QDL-1	127	19	166	3.089
SEIII-QDL-2	1.029	132	746	17.960
SEIII-QEH-1	13	2	31	785
SEIII-QGM-1	25	4	114	1.332

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEIII-QGM-2	16	3	25	1.002
SEIII-QMS-1	15	3	25	928
SEIII-QOM-1	70	12	96	4.061
SEIII-QOM-2	70	12	50	2.979

Tab. B-8: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Isar-Loisachgletschers (pro 100.000t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEIII-QAH-1	609	87	816	15.732
SEIII-QAU-1	44	6	53	1.309
SEIII-QBN-1	555	77	762	15.659
SEIII-QHF-1	696	100	397	31.524
SEIII-QHF-2	431	61	278	15.402
SEIII-QHF-3	5.384	738	3.796	210.009
SEIII-QHF-4	877	131	624	42.376
SEIII-QHF-5	11.354	1.548	12.590	301.982
SEIII-QHF-6	2.442	337	1.278	80.610
SEIII-QHF-7	6.389	925	5.133	102.675
SEIII-QHF-8	4.900	713	4.509	99.822
SEIII-QHF-9	1.796	271	829	42.100
SEIII-QHF-10	3.206	455	1.661	145.303
SEIII-QHF-11	3.716	593	3.458	72.340
SEIII-QKG-1	875	132	538	24.144
SEIII-QKG-2	424	63	137	14.947
SEIII-QLA-1	54	9	28	1.940
SEIII-QPE-1	126	19	171	4.778
SEIII-QPE-2	47	7	115	1.974
SEIII-QSG-1	789	136	1.081	27.444

Tab. B-9: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Inngletschers (pro 100.000t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEIII-QBR-1	277	37	396	7.710
SEIII-QBR-2	557	69	869	16.082
SEIII-QBR-3	5.393	683	9.406	132.966
SEIII-QBR-4	4.238	581	6.276	111.093
SEIII-QFB-1	686	96	494	25.641
SEIII-QFB-2	3.628	504	2.850	140.504
SEIII-QGA-1	1.054	112	559	25.250
SEIII-QGA-2	970	122	768	25.495
SEIII-QHS-1	320	38	273	7.604
SEIII-QHS-2	514	54	400	13.192
SEIII-QHS-3	1.567	231	2.197	31.690
SEIII-QHS-4	4.291	646	2.867	64.432
SEIII-QWO-1	802	115	996	20.481
SEIII-QWW-1	2.007	252	1.888	58.025
SEIII-QWW-2	556	71	267	12.596
SEIII-QZE-1	859	102	751	22.311
SEIII-QZE-2	515	68	615	15.394

Tab. B-10: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Chiemseegletschers (pro 100.000t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEIII-QAB-1	594	74	483	14.381
SEIII-QAB-2	472	59	426	12.670
SEIII-QES-1	539	78	805	22.106
SEIII-QNA-1	318	39	237	8.354

Tab. B-11: Ausbeute an SEE- sowie Zr- und Ti-Oxiden für Einzelproben aus Ablagerungen des Salzachgletschers (pro 100.000t Gesamtrohstoff).

Probe	LREE-Oxide [kg]	HREE-Oxide [kg]	Zr-Oxid [kg]	Ti-Oxid [kg]
SEIII-QGB-1	1.016	104	527	20.476
SEIII-QGB-2	945	90	391	16.621
SEIII-QIZ-1	398	43	282	9.263
SEIII-QIZ-2	340	36	293	8.060
SEIII-QNH-1	879	95	418	20.677
SEIII-QOS-1	1.059	119	877	17.561
SEIII-QOS-2	1.338	128	1.063	22.428

Anhang C

Tab. C-1: Aufstellung der mittleren potenziellen Schwermineral-Ausbeuten [t] aus Molasse-Ablagerungen, gruppenweise mit zusätzlichem Mittelwert für die gesamte Molasse (Basis: alle beprobten Gewinnungsstellen, jeweils durchschnittliche Jahresförderleistung von 100.000 t).

[t]	OSMj	OSMm	Quarzrestschotter	Ortenburger Schotter	Molasse gesamt
Fraktionen:	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff
Minimal	68,18 / 14,62	244,11 / 4,38	60,35 / 7,22	118,92 / 10,16	60,35 / 4,38
Median	225,54 / 24,76	856,52 / 46,21	66,40 / 11,08	338,88 / 18,75	412,92 / 33,65
Mittelwert	395,44 / 89,40	1.656,84 / 75,09	68,59 / 20,30	590,90 / 188,07	912,41 / 103,78
Maximal	1.781,26 / 740,86	5.682,83 / 242,54	79,02 / 42,59	1.882,22 / 1.055,21	5.682,83 / 1.055,21
Proben-Anzahl	15 / 15	19 / 19	3 / 3	12 / 12	49 / 49

Tab. C-2: Aufstellung der mittleren potenziellen Schwermineral-Ausbeuten [t] aus quartären Ablagerungen von Rhein- bis Inn-Gletscher, gruppenweise (Basis: jeweils alle beprobten Gewinnungsstellen, jeweils durchschnittliche Jahresförderleistung von 100.000 t).

[t]	Rhein-Gletscher	Iller-Gletscher	Lech-Wertach-Gletscher	Isar-Loisach-Gletscher	Inn-Gletscher
Fraktionen:	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff
Minimal	15,98 / 2,73	7,23 / 2,01	4,56 / 0,87	13,54 / 2,08	91,37 / 3,53
Median	34,08 / 5,07	30,25 / 6,87	14,56 / 3,88	377,61 / 70,22	273,24 / 38,50
Mittelwert	38,87 / 6,27	38,05 / 12,12	25,25 / 24,79	667,37 / 339,17	503,97 / 96,61
Maximal	77,24 / 15,76	82,66 / 40,56	69,64 / 233,97	2.801,33 / 2.159,82	1.499,60 / 630,68
Proben-Anzahl	7 / 7	8 / 8	12 / 12	19 / 20	16 / 17

Tab. C-3: Aufstellung der mittleren potenziellen Schwermineral-Ausbeuten [t] aus quartären Ablagerungen von Chiemsee- und Salzach-Gletscher, gruppenweise mit zusätzlichem Mittelwert für das gesamte Quartär (Basis: alle beprobten Gewinnungsstellen, jeweils durchschnittliche Jahresförderleistung von 100.000 t).

[t]	Chiemsee-Gletscher	Salzach-Gletscher	Quartär gesamt
Fractionen:	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff
Minimal	132,87 / 11,76	141,57 / 0,99	4,56 / 0,87
Median	204,54 / 19,00	331,75 / 24,56	158,65 / 18,08
Mittelwert	205,65 / 26,60	313,81 / 37,56	337,57 / 123,11
Maximal	280,64 / 56,63	566,48 / 111,69	2.801,33 / 2.159,82
Proben-Anzahl	4 / 4	7 / 7	73 / 75

Anhang D

Tab. D-1: Aufstellung der mittleren prozentualen Schwermineral-Zusammensetzungen aus Molasse-Ablagerungen, gruppenweise nach Sand- und Schluff-Fractionen mit Mittelwert für Molasse.

[t]	OSMj	OSMm	Quarzrestschotter	Ortenburger Schotter	Molasse gesamt
Fractionen:	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff
Minimal	22,8 / 33,1	17,4 / 37,7	4,4 / 10,8	23,9 / 35,9	19,9 / 34,2
Median	31,7 / 18,6	10,9 / 12,7	34,1 / 22,5	17,2 / 9,1	20,3 / 14,2
Mittelwert	10,1 / 22,3	1,7 / 9,1	0,5 / 0,8	1,4 / 23,4	4,1 / 16,1
Maximal	35,3 / 26,0	69,9 / 40,5	61,0 / 66,0	57,5 / 31,6	55,8 / 35,4
Proben-Anzahl	15 / 15	19 / 19	3 / 3	12 / 12	49 / 49

Tab. D-2: Aufstellung der mittleren prozentualen Schwermineral-Zusammensetzungen aus quartären Ablagerungen von Rhein- bis Inn-Gletscher, gruppenweise nach Sand- und Schluff-Fractionen.

[t]	Rhein-Gletscher	Iller-Gletscher	Lech-Wertach-Gletscher	Isar-Loisach-Gletscher	Inn-Gletscher
Fractionen:	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff
Minimal	15,9 / 16,1	28,5 / 36,0	15,0 / 33,9	20,4 / 48,3	22,9 / 29,4
Median	6,4 / 18,6	9,6 / 12,7	10,3 / 7,5	4,5 / 14,2	5,2 / 7,6
Mittelwert	6,5 / 2,3	8,5 / 0,0	9,1 / 1,3	0,7 / 0,0	0,8 / 0,5
Maximal	71,2 / 48,3	53,4 / 51,4	65,6 / 57,4	74,4 / 37,5	71,2 / 62,4
Proben-Anzahl	7 / 5	8 / 2	11 / 2	19 / 17	16 / 16

Tab. D-3: Aufstellung der mittleren prozentualen Schwermineral-Zusammensetzungen aus quartären Ablagerungen von Chiemsee- und Salzach-Gletscher, gruppenweise nach Sand- und Schluff-Fractionen mit Mittelwert für das Quartär.

[t]	Chiemsee-Gletscher	Salzach-Gletscher	Quartär gesamt
Fractionen:	Sand / Schluff	Sand / Schluff	Sand / Schluff
Minimal	22,3 / 33,8	30,0 / 38,0	21,6 / 31,8
Median	3,0 / 4,9	3,0 / 5,0	6,1 / 7,5
Mittelwert	3,7 / 1,0	1,8 / 1,8	3,7 / 0,9
Maximal	71,7 / 60,3	65,1 / 55,2	68,6 / 59,8
Proben-Anzahl	4 / 4	7 / 6	72 / 52

Anhang E

Tab. E-1: Aufstellung der mittleren potenziellen Oxid-Ausbeuten [kg] aus Molasse-Ablagerungen, gruppenweise mit zusätzlichem Mittelwert für die gesamte Molasse, bezogen auf eine Jahresförderleistung von 100.000 t;

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	97	12	213	2701
Median	1.346	129	2.483	52.613
Mittelwert	6.312	499	8.180	120.136
Maximal	68.137	4.468	79.526	798.358
Proben-Anzahl	15	15	15	15

E-1-1: Gruppe OSMj

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	526	90	476	21.504
Median	1.964	303	1.732	92.246
Mittelwert	3.878	585	4.128	175.907
Maximal	13.011	1.926	13.829	587.033
Proben-Anzahl	19	19	19	19

E-1-2: Gruppe OSMm

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	158	21	730	32.234
Median	201	26	734	34.510
Mittelwert	246	44	1.848	35.889
Maximal	379	84	4.080	40.922
Proben-Anzahl	3	3	3	3

E-1-3: Gruppe Quarzrestschotter

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	464	54	662	24.931
Median	1.866	207	1.933	51.593
Mittelwert	2.380	320	3.359	80.106
Maximal	6.107	789	9.451	209.596
Proben-Anzahl	14	14	14	14

E-1-4: Gruppe Ortenburger Schotter

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	97	12	213	2.701
Median	1.740	252	1.732	62.201
Mittelwert	3.969	455	4.974	124.969
Maximal	68.137	4.468	79.526	798.358
Proben-Anzahl	51	51	51	51

E-1-5: Mittelwert Molasse

Tab. E-2: Aufstellung der mittleren potenziellen Oxid-Ausbeuten [kg] aus quartären Ablagerungen, gruppenweise mit zusätzlichem Mittelwert für das gesamte Quartär, bezogen auf eine Jahresförderleistung von 100.000 t;

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	59	9	66	1.747
Median	91	13	163	2.493
Mittelwert	137	20	264	3.635
Maximal	441	59	997	9.344
Proben-Anzahl	7	7	7	7

E-1-6: Gruppe Rhein-Gletscher

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	11	2	19	754
Median	54	11	136	2.492
Mittelwert	101	19	176	3.802
Maximal	401	70	485	11.179
Proben-Anzahl	8	8	8	8

E-1-7: Gruppe Iller-Gletscher

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	12	2	25	640
Median	38	6	63	1.619
Mittelwert	140	20	132	3.554
Maximal	1.029	132	746	17.960
Proben-Anzahl	11	11	11	11

E-1-8: Gruppe Lech-Wertach-Gletscher

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	44	6	28	1.309
Median	832	132	789	29.484
Mittelwert	2.236	320	1.913	62.603
Maximal	11.354	1.548	12.590	301.982
Proben-Anzahl	20	20	20	20

E-1-9: Gruppe Isar-Loisach-Gletscher

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	277	37	267	7.604
Median	859	112	768	25.250
Mittelwert	1.661	222	1.875	42.969
Maximal	5.993	683	9.406	140.504
Proben-Anzahl	17	17	17	17

E-1-10: Gruppe Inn-Gletscher

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	318	39	237	8.354
Median	505	67	455	13.525
Mittelwert	481	63	488	14.378
Maximal	594	78	805	22.106
Proben-Anzahl	4	4	4	4

E-1-11: Gruppe Chiemsee-Gletscher

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	340	36	550	16.441
Median	945	95	418	17.561
Mittelwert	854	88	550	16.441
Maximal	1.338	128	1.063	22.428
Proben-Anzahl	7	7	7	7

E-1-12: Gruppe Salzach-Gletscher

[t]	LREE-Oxide	HREE-Oxide	Zr-Oxid	Ti-Oxid
Minimal	11	2	19	640
Median	493	65	398	13.786
Mittelwert	1.137	156	1.090	30.407
Maximal	11.354	1.548	12.590	301.982
Proben-Anzahl	74	74	74	74

E-1-13: Mittelwert Quartär