



Erkundung von hochreinem Dolomit – High Purity Dolomite (HPD)



geologie



Erkundung von hochreinem Dolomit – High Purity Dolomite (HPD)

**Heimischer Dolomitstein als begehrter Rohstoff für
die Industrie**

Bearbeiter:
C. Eicke, M. Miehlbradt, E. Linhardt

123 Seiten, 73 Abbildungen, 28 Tabellen, Augsburg 2020

Impressum

Erkundung von hochreinem Dolomit – High Purity Dolomite (HPD)

Herausgeber:

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

Konzept/Text:

LfU, Referat 105: Corinna Eicke, Martin Miehlbradt, Elmar Linhardt, Referat 101: Tobias Rocktäschel, Referat 102: Martin Nowak, Dietmar Jung

Bearbeitung:

LfU, Referat 105: Corinna Eicke, Martin Miehlbradt, Elmar Linhardt

Bildrechte:

Alle Bilder LfU außer:
Activation Laboratories Ltd., Kanada: Abb. 25

Druck:

JOH. WALCH GmbH & Co. KG
Im Gries 6
86179 Augsburg

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

Mai 2020, 1. Auflage: 500 Exemplare

Stand:

Mai 2020

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbenden 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 Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation 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 Projekthinhalte	6
2.2	Naturräumlicher Überblick des Untersuchungsgebiets	6
2.3	Geologischer Überblick des Untersuchungsgebiets	8
2.3.1	Stratigrafie der Weißjuragruppe im Untersuchungsgebiet	13
2.3.2	Das Mineral Dolomit und der Prozess der Dolomitisierung	16
2.3.3	Verwitterung und Landschaftsmorphologie	17
2.4	Abbau und Verwendung von Dolomitstein in Deutschland und Bayern	20
2.5	Dolomitstein-Kategorien für diese Studie	22
2.6	Anforderungen an den potenziellen Dolomitstein-Rohstoff im Zielgebiet	24
3	Durchgeführte Arbeiten/Methodik	25
3.1	Vorerkundung im Gesamt-Untersuchungsgebiet	25
3.1.1	Digitale Betrachtungen für die Vorerkundung	25
3.1.2	Geländebefahrung und Probenahme der Vorerkundung	25
3.2	Entwicklung einer kontaminationsarmen Standard-Aufbereitung von Gesteinsproben	28
3.3	Analytik und Auswertung der Vorerkundungsproben	29
3.4	Rohstoffgeologische Auswertung der Vorerkundung	32
3.5	Bohrungen im Untersuchungsgebiet auf Grundlage der Vorerkundung	34
3.5.1	Auswahl der Bohransatzpunkte für die Detailerkundung	34
3.5.2	Erstellung geologischer Profilschnitte durch die Erkundungsgebiete	35
3.5.3	Lithofazielle und petrografische Bohrkernaufnahme	35
3.5.4	Gesteinsaufbereitung der Bohrkernproben und deren Analyse	35
3.6	Farbwertbestimmung der pulverförmigen Proben	36
3.7	Geophysikalische Erkundung mittels hochauflösender Geoelektrik	37
3.8	Abschätzung des Rohstoffpotenzials	39
4	Ergebnisse	41
4.1	Ergebnisse der Vorerkundung	41
4.1.1	Ergebnisse der Geochemie	41
4.1.2	Ergebnisse der Mineralogie	43
4.1.3	Auswahl der Erkundungsgebiete und Bewertung nach Raumordnungskriterien	44
4.2	Ergebnisse der Rohstoff-Bohrungen	44
4.2.1	Bohrkernaufnahme der Rohstoff-Bohrungen und Detailansichten der Bohrkerne mit Betrachtung deren Geochemie-Ergebnissen	45
4.2.2	Beschreibung der Bohrungen hinsichtlich Lithologie, Mineralogie und Geochemie	55
4.2.3	Geologische und lithostratigrafische Einheiten der Gesteine	57
4.3	Ergebnisse der Farbwertbestimmung	60
4.4	Geophysikalische Erkundung mittels hochauflösender Geoelektrik und Ergebnisse der Multielektrodenmessung	63
4.5	Kubaturberechnung der Rohstoffkörper	69
5	Auswertung	71
5.1	Potenzialgebiete nach Vorerkundungsergebnissen	71
5.2	Steckbriefe der Rohstoffvorkommen	72
5.3	Empfehlung für weiterführende Detailerkundung	80

6	Diskussion der Erkundungsergebnisse	81
7	Zusammenfassung	83
8	Literaturverzeichnis	84
	Verzeichnis der Abbildungen	88
	Verzeichnis der Tabellen	92
	Glossar	94
	Anhang	99

1 Zielsetzung

Hochreiner Dolomit (englisch: high purity dolomite – abgekürzt HPD) spielt wegen seiner begrenzten Vorkommen und der hohen Anforderung an seine chemisch-mineralogische Zusammensetzung eine besondere Rolle. Der magnesiumreiche Rohstoff Dolomit gilt einerseits als Massenrohstoff, andererseits als Industriemineral und dient einer Vielzahl von Produkten als Ausgangsrohstoff beziehungsweise als Füll- oder Zuschlagstoff. Er wird unter anderem in der Glas-, Kunststoff-, Düngemittel-, Futtermittel-, Nahrungsmittel-, pharmazeutischen- und chemischen Industrie sowie in der Metallurgie verwendet. Von entscheidender Bedeutung ist die großtechnisch-industrielle Verwendung des Dolomitsteins als Hochtemperaturwerkstoff (feuerfestes Material), Flussmittel und Zuschlagstoff. Der Rohstoff ist seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert fest mit der Eisen- und Stahlproduktion verknüpft, denn er dient als Schlackenbildner und ersetzt Branntkalk (CaO). Als Magnesiumoxid(MgO)-Lieferant verbessert er die Fließfähigkeit der Hochofenschlacke bei der Rohstahlherstellung und verlängert die Lebensdauer der Feuerfestauskleidung, weil Schmelz-, Brenn- und Gießaggregate mit basischen Massen (enthalten ebenfalls Dolomit) feuerfest ausgekleidet sind (HIGHLEY et al. 2006). Andere bedeutende Bereiche sind die Glasindustrie sowie die Landwirtschaft, wo sich Dolomitstein unter anderem als Bodenverbesserungsmittel bewährt. Die Glasindustrie stellt die höchsten Ansprüche an das Gestein: hier wird Dolomitstein als MgO-Lieferant für Glaswolle und Flachglas (Floatglas) sowie zur Stabilisierung der Glasphase und Erhöhung der Glasbeständigkeit eingesetzt (KREY 1999).

Weiterhin wird Dolomitstein in der Bauwirtschaft in Form von gebrochenen, gebrannten oder ungebrannten Gesteinskörnungen verwendet. Bei weniger hochtechnischen Anwendungen darf Dolomitstein Verunreinigungen aufweisen, bei anderen industriellen Anwendungen sollte er rein oder hochrein sein (HIGHLEY et al. 2006). Aus hochreinem Dolomitstein kann zudem Magnesiumoxid und daraus reines Magnesium gewonnen werden. Primäres Magnesium-Metall wird größtenteils in China hergestellt, derzeit gibt es keinen europäischen Erzeuger (SCHMITZ 2019). Magnesium zählt zu den Hochtechnologiemetallen. Dieses wird als Leichtbauwerkstoff im Flug- und Fahrzeugbau und für die Herstellung von LCD-Displays sowie weiterer Zukunftstechnologien eingesetzt. Unternehmen in technischen, Magnesium oder Dolomit verarbeitenden Bereichen sind auf eine zuverlässige Rohstoffversorgung angewiesen. Magnesium liegt derzeit auf Platz 23 der Elemente mit hohem Versorgungsrisiko und damit in der Gruppe der hohen Gefährdungsklasse (BIHK 2015, HILLEBRAND 2016, VBW 2019).

Im Sinne einer mittel- bis langfristig gesicherten Versorgung mit diesem Rohstoff, könnten zukünftig neue, bislang nicht berücksichtigte Vorkommen zur Deckung eines steigenden Bedarfs der in Bayern ansässigen Produktionsfirmen, aber auch für den Export in die umliegenden Bundesländer und Nachbarstaaten an Bedeutung gewinnen und die vorhandene Nachfrage abdecken.

Ziel des durchgeführten Erkundungsprogramms ist das Auffinden nutzbarer Dolomitstein-Vorkommen in ausgewählten Bereichen der Mittleren Fränkischen Alb, die hinsichtlich Qualität und Quantität eine potenzielle Eignung für einen – aus heutiger Sicht – wirtschaftlichen Abbau besitzen. Da die Produktionsprozesse zum Beispiel bei der Glasherstellung eine permanente Versorgungssicherheit an Rohstoffen voraussetzen, sollen im Rahmen dieser Untersuchungskampagne, neben der maßgeblichen Qualitätsanalyse und besonders der möglichen rohstofflichen Verfügbarkeit, auch sekundäre Restriktionen, wie beispielsweise die Homogenität oder die infrastrukturelle Anbindung einer potenziellen Lagerstätte, zumindest im groben Maßstab, geprüft werden.

2 Sachstand

Im folgenden Kapitel werden die planerischen und naturwissenschaftlichen Grundlagen der Erkundungskampagne vorgestellt.

2.1 Projektanlass und Projektinhalt

Hochreiner Dolomit gilt als Hochtechnologie-Industriemineral, hier lohnen sich selbst höhere Kosten im Abbau und während des Transportwegs, sodass dieser Rohstoff über weitere Strecken gewinnbringend verkauft werden kann. Weniger reiner Dolomitstein, der ähnlich wie Kalkstein als Baumaterial genutzt wird, ist ein Rohstoff minderer Qualität. Dieser gilt als Massenrohstoff, der nur bei geringen Transportweiten rentabel abbaubar und vermarktbar ist (HIGHLEY et al. 2006). Daher ergibt sich die Notwendigkeit, den heimischen Rohstoff Dolomitstein näher zu explorieren.

Die aus rohstoffgeologischer Sicht unzureichende Wissensdichte über die Geochemie von Dolomitstein in der Fränkischen Alb (die einzige Arbeit darüber ist von SCHRÖDER 1965), verbunden mit einer zunehmenden Verknappung der vorhandenen Vorkommen in Qualitäten, die eine Verwertbarkeit in der Glasindustrie gewährleisten, ist Anlass für die vorliegende Rohstofferkundung. Mit Sondermitteln und im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi) wurden der Problemstellung entsprechend potenzielle Vorkommen von hochreinem Dolomitstein erkundet und untersucht. Durch das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) – Referat 105 – Wirtschaftsgeologie, Bodenschätze – wurden hierbei zunächst umfassend Literatur- und Archivdaten recherchiert und bewertet, Geländebefahrungen, Erkundungsbohrungen und Probenahmen mit anschließender Aufbereitung und Analytik durchgeführt und die Befunde im Anschluss mineralogisch-petrografisch, geochemisch, geophysikalisch und rohstoffgeologisch zusammengefasst und bewertet.

Sämtliche raumbezogenen, stratigrafisch-petrografischen, sowie mineralogischen Daten der Untersuchungen wurden, nach erfolgter Bemusterung und Beprobung, in das Bodeninformationssystem (BIS) des LfU eingepflegt. Sie können bei Bedarf über die Datenstelle des LfU angefragt werden. Die gesamte HPD-Erkundungskampagne erfolgte Unternehmer-neutral und „im Vorfeld der Wirtschaft“, ohne eine Firma oder einen Grundeigentümer zu bevorzugen.

2.2 Naturräumlicher Überblick des Untersuchungsgebiets

Das Untersuchungsgebiet dieser Studie liegt im Naturraum Fränkische Alb. Dieses bis zu über 600 m über NN hohe Gebiet gehört zum Südwestdeutschen Schichtstufenland und liegt etwa mittig im nördlichen Teil Bayerns. Von Lichtenfels erstreckt sich die Fränkische Alb in nord-südlicher Richtung bis Regensburg und in einem Bogen nach Westen bis hin zum Nördlinger Ries, wo sie in die Schwäbische Alb übergeht (vergleiche Abb. 1).

Der Fokus der Untersuchungen liegt auf der Mittleren Frankenalb und auf dem südlichen Bereich der Nördlichen Frankenalb in den Regierungsbezirken Oberfranken, Mittelfranken und Oberpfalz. Landschaftlich geprägt ist die, südlich der bekannten Fränkischen Schweiz mit ihren spektakulären Felsformationen liegende Region von Albhochflächen, vereinzelt Felsfreistellungen und diversen kuppenförmigen Hügeln. Diese Dolomit-Kuppenalb wird auch als Hersbrucker Alb oder Flächenalb bezeichnet. Aufgrund des verkarstungsanfälligen Gebirges treten dort diverse Karsterscheinungen wie Höhlen oder Dolinen auf. Oberflächengewässer sind selten. Die wenigen, größeren Flüsse Pegnitz, Vils, schwarze Laber, Schwarzach und Lauterach entwässern die Region, durch die sich die europäische Hauptwasserscheide zieht.



Abb. 1: Topografische Karte der Fränkischen Alb mit Hauptwasserscheide.

Große Bereiche der Dolomitekuppen und die sie umgebenden sandigen Kreideböden werden von Privat- beziehungsweise Staatswaldungen eingenommen. Ackerbau ist im Frankenjura überwiegend auf die Bereiche der Wannsen und Trockentäler zwischen den Kuppen begrenzt und wird in größerem Ausmaß erst im Osten in Bereichen der Kreidebedeckung angetroffen (GLA 1964). Die Region der Mittleren Frankenalb gehört zur Metropolregion Nürnberg und besitzt mit den Autobahnen A3, A6 und A9 einen guten Anschluss an die großräumige und überregionale Infrastruktur.

2.3 Geologischer Überblick des Untersuchungsgebiets

Nordbayern besteht überwiegend aus mesozoischen Gesteinen des sogenannten Schichtstufenlandes (Abb. 2). Das Zusammenspiel selektiver Erosion harter und weicher Gesteinsserien mit den überregionalen Schichtlagerungsverhältnissen schuf die charakteristischen Reliefstufen der heutigen fränkischen Landschaft. Für die vorliegende Studie sind vor allem die Gesteine des Jura von Belang.

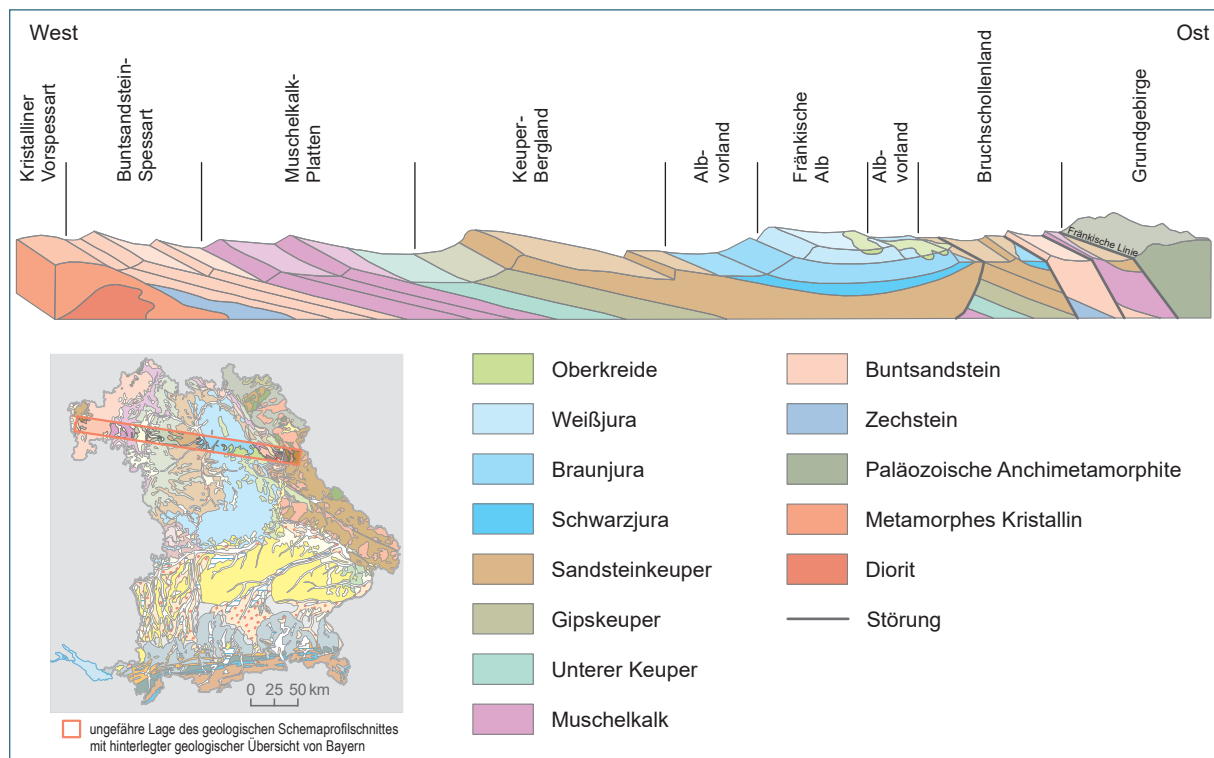


Abb. 2: Geologisches Blockmodell Nordbayerns: Geologischer Schnitt durch Nordbayern, erkennbar ist das Relief des Schichtstufenlandes, das durch die unterschiedliche Verwitterungsanfälligkeit der Gesteinsschichten entsteht.

Die Sedimente des Jura wurden im Germanischen Becken abgelagert, das im Unter- und Mitteljura durch das Vindelizische Land vom Sedimentationsraum der Tethys getrennt war. Spätestens mit Beginn des Oberen Jura wurde diese Schwellenregion überflutet und das Germanische Becken damit ein Teilbecken am Nordrand der Tethys (KOCH 2011, MESCHÉDE 2015). Die fast ausschließlich marine Schichtenfolge des Jura wird in Mitteleuropa in drei Gruppen untergliedert, die auf Grund ihrer Gesteinszusammensetzung und charakteristischer Gesteinsfarben als Schwarzjura-Gruppe („Lias“), Braunjura-Gruppe („Dogger“) und Weißjura-Gruppe („Malm“) bezeichnet werden.

Die Schwarzjura-Gruppe besteht überwiegend aus schwarzen und blaugrauen, meist feinkörnigen Gesteinen, die sich im überwiegend flachmarinen Randmeer des Germanischen Beckens – teils unter Sauerstoffabschluss – gebildet haben.

Die darüber folgende Braunjura-Gruppe besteht zunächst ebenfalls noch aus dunklen Tonsteinen (Opalinuston), die von feinkörnigen Sandsteinen mit lokal verbreiteten Eisenerzflözen (Eisensandstein) überlagert werden. Der meist geringmächtige mittlere und obere Braunjura zeichnet sich durch eine

größere Vielfalt an Gesteinen aus, deren Spektrum von Sandsteinen über Oolithkalksteinen bis zu Tonsteinen reicht.

Die anschließende Weißjura-Gruppe tritt auf als fossilreiche, gebankte hellgraue bis weiße Kalk- und Mergelsteine sowie mächtige Schwamm- und Riffkalke, die im Rahmen einer sekundären Alteration teilweise in Dolomitstein umgewandelt wurden. Der in diesem Bericht untersuchte Dolomitstein befindet sich in der Weißjura-Gruppe der Fränkischen Alb. Sie bildet den oberen Teil und den jüngsten Abschluss der Jura-Ablagerung.

Im Oberen Jura war der überwiegende Teil Deutschlands von einem ausgedehnten tropischen Schelfmeer bedeckt (Abb. 3A), das durch eine durchgehende Landverbindung (mitteldeutsche Schwelle) in ein Nord- und in ein Süddeutsches Becken geteilt wurde (MESCHÉDE 2015). Im Bereich des Süddeutschen Beckens entwickelte sich eine Carbonatplattform, die durch Schwellen untergliedert war. An diesen untermeerischen Erhebungen bildeten sich massige Riffe, die aus Kieselschwämmen mit Algen- und Bakterienkrusten bestanden und morphologisch flache Kuppeln auf dem Meeresboden bildeten. Das Riffgebiet im Bereich der Fränkischen Alb, die Fränkische Hauptriffzone, verlief von Egloffstein in südöstlicher Richtung über Velden nach Kastl (Abb. 3B) und vereinigte sich dort mit dem Parsberger Riff (KAULICH et al. 2000). Im Laufe des Weißjura dehnte sich die Fränkische Hauptriffzone immer weiter aus.

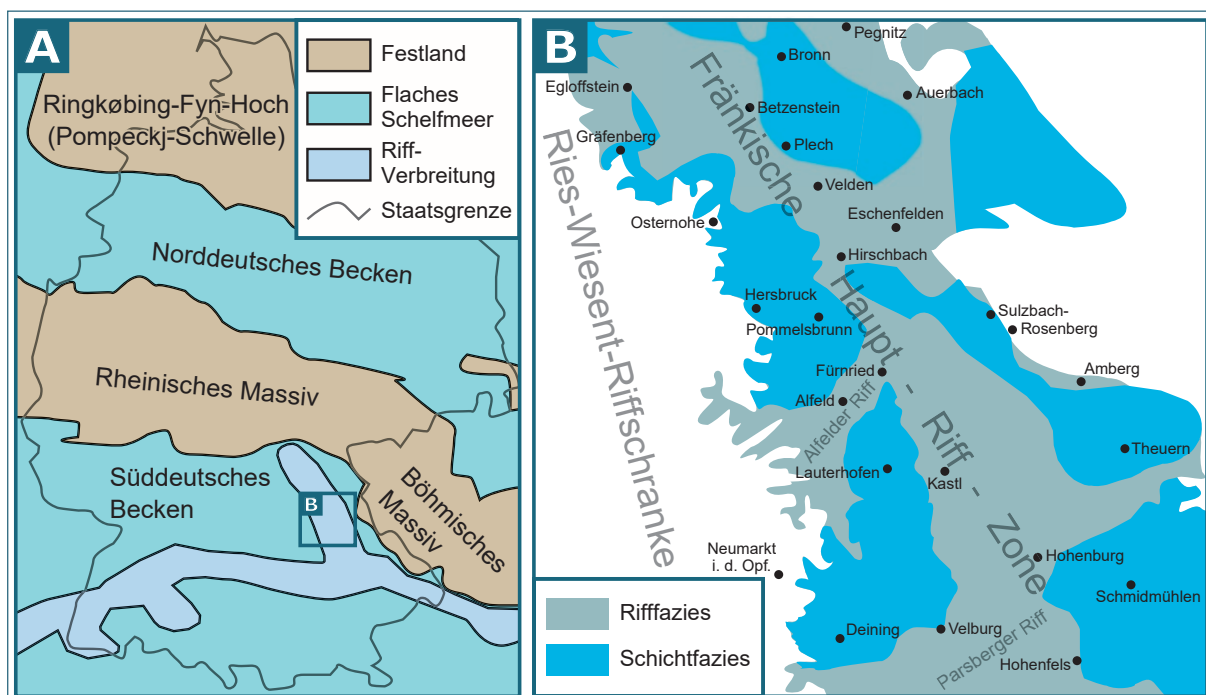


Abb. 3: (A) Paläogeografische Rekonstruktion Deutschlands zur Zeit des Oberen Jura (verändert nach MESCHÉDE 2015). (B) Rekonstruktion der Ausbildung des Weißjura-γ im Gebiet der Fränkischen Alb (verändert nach GLA 1983A und KAULICH et al. 2000).

Am Ende des Oberen Jura kam es zu einer Regression des Meeresspiegels, sodass große Teile des Süddeutschen Beckens trockenfielen. Als sich das Meer zurückzog, waren die kalkigen Gesteine zum größten Teil bereits zu Dolomitstein umgewandelt worden (HOFBAUER 2013). Die nun nicht mehr von Wasser bedeckte Carbonatplattform war infolgedessen der Verkarstung unter tropischen Bedingungen ausgesetzt (MESCHÉDE 2015).

Während der Unterkreide wurden die über 200 m mächtigen Kalk- und Dolomitgesteine des Fränkischen Weißjura in tropischem Klima stark angelöst und verkarstet (KAULICH et al. 2000). Lösungsdolinen entstanden an der Oberfläche. An Klüften und Schichtfugen in den wassererfüllten Bereichen des Weißjura formierten sich Druckröhren. Allmählich senkte sich der Karstwasserspiegel ab. Dadurch bildeten sich im Untergrund aus den ehemaligen Druckröhren Gravitationsgerinne mit offenem Wasserspiegel und luftgefüllten Hohlräumen (Abb. 4).

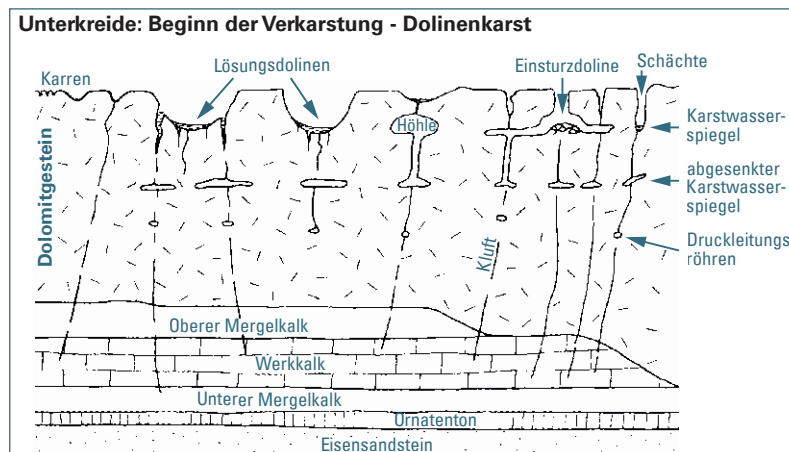


Abb. 4: Die Landschaftsentwicklung während der Unterkreide führt zur Entstehung von Lösungsdolinen und Druckröhren im Untergrund (verändert nach KAULICH et al. 2000).

An der Erdoberfläche bildeten sich durch den weiteren Fortschritt der Verkarstung Dolomittürme mit dazwischenliegenden, schmalen Karstgassen. Später entstanden breitere Canyons (Abb. 5, KAULICH et al. 2000).

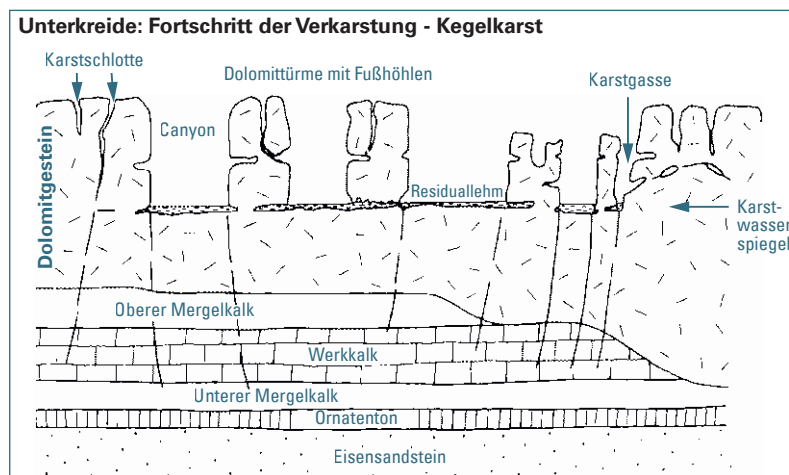


Abb. 5: Das Fortschreiten der Verkarstung führt allmählich zur Bildung von Kegelkarst (verändert nach KAULICH et al. 2000).

Die starke Auflösung des Kalk- und Dolomitsteins bis zum Karstwasserspiegel im tropischen Klima der Unterkreide führte nach KAULICH et al. (2000) zur Entstehung von steilem Kegelkarst (Abb. 6) mit größeren dazwischenliegenden, lehmgefüllten Senken (Poljen).

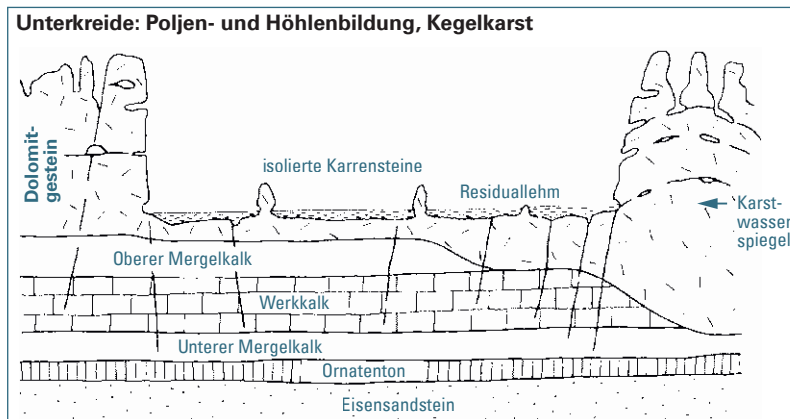


Abb. 6: Lehmerfüllte Senken (Poljen) entstanden zwischen steilem Kegelkarst im tropischen Klima der Unterkreide (verändert nach KAULICH et al. 2000).

Die fortgeschrittene Verkarstung des Gebiets war bereits weitgehend ausgebildet, bevor die Überdeckung des Juras durch klastische Sedimente der Kreidezeit stattfand. Im Laufe der weiteren Kreidezeit kam es zu einer kompletten Auffüllung des damals vorhandenen Karstreliefs mit Flusssedimenten (Schutzfels-Schichten) und anschließend mit marinen Sanden und Tonen aus der Meerestransgression des Golfs von Regensburg (Abb. 7, KAULICH et al. 2000). Relikte dieser Sedimente können heute, in bestimmten Bereichen der östlichen Fränkischen Alb, auf einer groben Linie zwischen Bayreuth und Regensburg, kartiert werden: die Jura-Ablagerung wurde hier nach einer Zeit der Erosion und Abtragung diskordant von kreidezeitlicher Überdeckung überlagert und ist gegenwärtig noch vorhanden. Es wurde damals überwiegend klastisches Material sedimentiert, das jetzt teilweise noch auf und als lehmig-sandige Spaltenfüllungen in dem verkarsteten Jura vorliegt.

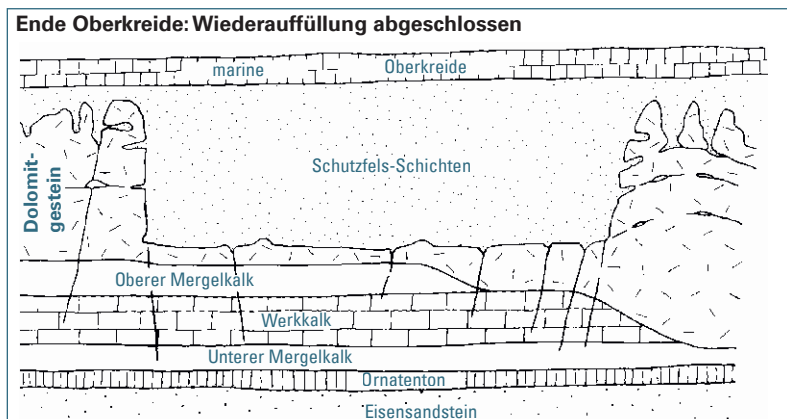


Abb. 7: In der Kreidezeit kommt es zur kompletten Auffüllung des alten Karstreliefs mit klastischen Sedimenten (verändert nach KAULICH et al. 2000).

Im Paläogen erfolgte eine erneute Abtragung. Bei andauerndem subtropischen Klima bildete sich eine Rumpffläche (KAULICH et al. 2000). Die Kuppen des alten Karstreliefs wurden nach und nach wieder freigelegt, wodurch eine erneute Verkarstung ermöglicht wurde (Abb. 8).

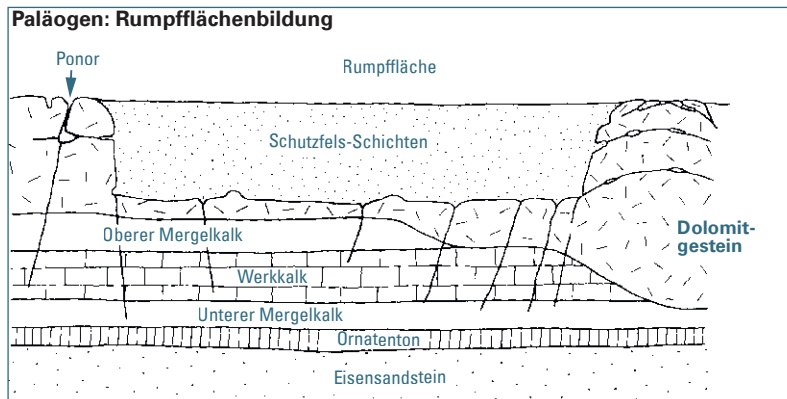


Abb. 8: Im Paläogen bildete sich in dem Gebiet bei anhaltendem subtropischen Klima eine Rumpffläche aus (verändert nach KAULICH et al. 2000).

Im Neogen entstanden die ersten hochgelegenen Flusssysteme in breiten Talzügen. Schrittweise sank der Karstwasserspiegel weiter ab und führte zur Bildung neuer Höhlen in den Weißjura-Gesteinen (KAULICH et al. 2000). Sie folgen oft alten Abflusswegen des unterkreidezeitlichen Karsts (Abb. 9).

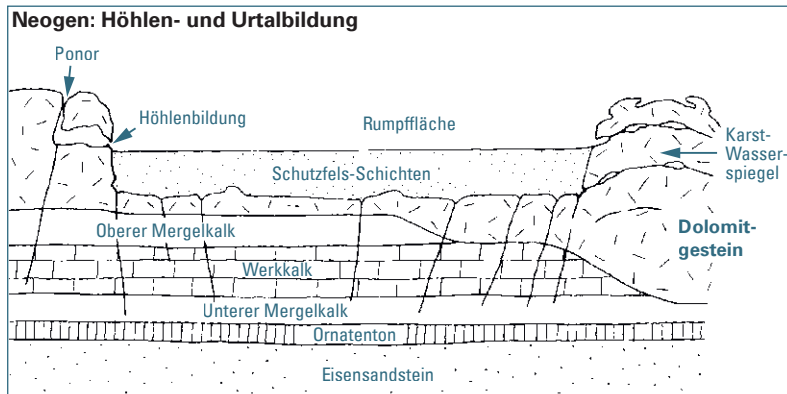


Abb. 9: Im Neogen entstanden in breiten Talzügen die ersten hochgelegenen Flusssysteme (verändert nach KAULICH et al. 2000).

Im Quartär wurden die kreidezeitlichen Poljen wieder teilweise freigelegt. Es entstanden hochgelegene Vorläufer des Pegnitztals und seiner Zuflüsse (KAULICH et al. 2000). In Vertiefungen, wie Karstschlotten, blieben Kreide-Sedimente erhalten (Abb. 10).

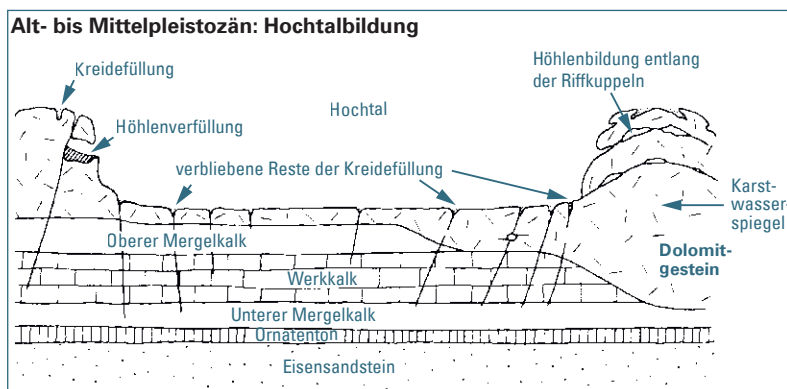


Abb. 10: Teilweise Freilegung der kreidezeitlichen Poljen und Hochtalbildung während des Quartärs (verändert nach KAULICH et al. 2000).

In der Weichsel-Würm-Kaltzeit kam es schließlich zur Eintiefung der heutigen Flusstäler und zu Herausbildung der Kuppenalb, wie sie im Untersuchungsgebiet anzutreffen ist. Manche Höhlendächer stürzten ein. Es entstanden die heutigen Höhlenruinen. Frostschutt aus Weißjura-Gestein wanderte

die Hänge hinunter (Hangschutt). Mit der weiteren Absenkung des Karstwasserspiegels entstanden jüngere Höhlensysteme (Abb. 11, KAULICH et al. 2000).

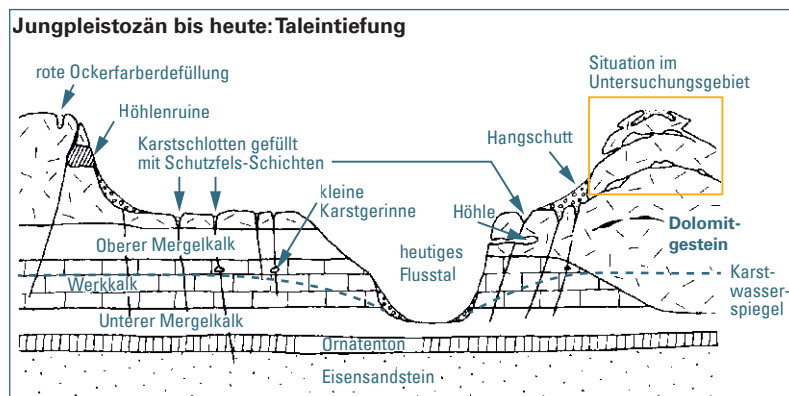


Abb. 11: Eintiefung der heutigen Flusstäler und weitere geomorphologischen Prozesse (verändert nach KAULICH et al. 2000; die Darstellung des rezenten Karstwasserspiegels stammt aus GLA 1995).

Alte Fließsysteme wurden mit erneuter Freilegung des verkarstungsfähigen Untergrunds wieder reaktiviert, sodass heute das Niederschlagswasser innerhalb kürzester Zeit in zahllosen Hohlräumen versickert. Das Karstwasser-Niveau in der Fränkischen Alb liegt derzeit bei etwa 400 m NN, alle höher liegenden Talabschnitte sind daher zu Trockentälern geworden (GLA 1964).

2.3.1 Stratigrafie der Weißjura im Untersuchungsgebiet

Die Gesteine des Weißjura der Fränkischen Alb (Abb. 12) erstrecken sich heute von der Südlichen Frankenalb (Nördlinger Ries bis Kelheim/Regensburg) über die Mittlere Frankenalb (Parsberg bis Hersbruck) bis zum nördlichen Ende der Frankenalb (Region Lichtenfels).

Der im Rahmen der vorliegenden Rohstofferkundung untersuchte Dolomitstein aus der Weißjura-Gruppe der Mittleren und Nördlichen Frankenalb wird stratigrafisch der bis zu 600 m mächtigen Weißjura-Gruppe zugeordnet (NIEBUHR & PÜRNER 2014). Dabei muss zwischen verschiedenen geschichteten und massigen Formationen unterschieden werden. Manche Formationen (wie die Pottenstein-Formation) sind dolomitisiert, andere nicht (vergleiche Abb. 13). Bei den massig und ungeschichtet erscheinenden Gesteinen der Frankenalb-Formation handelt es sich im Wesentlichen um die dolomitisierten Faziestypen der Massenkalk (Riffkalk, Frankenalb-Formation). Diese Frankenalb-Formation wurde in Anlehnung an den 1868 von Carl Wilhelm Gümbel beschriebenen „Frankendolomit“ benannt und fasst massigen Kalk- und Dolomitstein ohne Bezug auf seine stratigrafische Zugehörigkeit innerhalb der bayerischen Weißjura-Gruppe zusammen (NIEBUHR & PÜRNER 2014). Der Dolomitstein der Frankenalb wurde sekundär (frühdiagenetisch) gebildet. Makroskopisch ist der Dolomitstein ein fein- bis mittelkörniges Gestein, das aufgrund der vorwiegend rhomboedrischen Kristalle auch oft als „zuckerkörnig“ beschrieben wird (GLA 1984). Im Untersuchungsgebiet können die dolomitisierten Riffkörper sogar Mächtigkeiten von bis zu 230 m erreichen (GLA 1983A, GLA 1984). Die Entstehung der Riffkörper begann nach dem Ende der Braunjura-Gruppe. Die Riffentwicklung setzte bereichsweise ein, zwischen den Riffschranken wurden währenddessen geschichtete Kalke abgelagert. Die Hartmannshof-Formation startet mit einer basalen Glaukonitbank und einer Mergelknollenlage, die Ammoniten führt. Die aus gebankten Mergeln und Kalken bestehende Hartmannshof-Formation ist die älteste Einheit der Weißjura-Gruppe in der Mittleren Frankenalb (NIEBUHR & PÜRNER 2014).

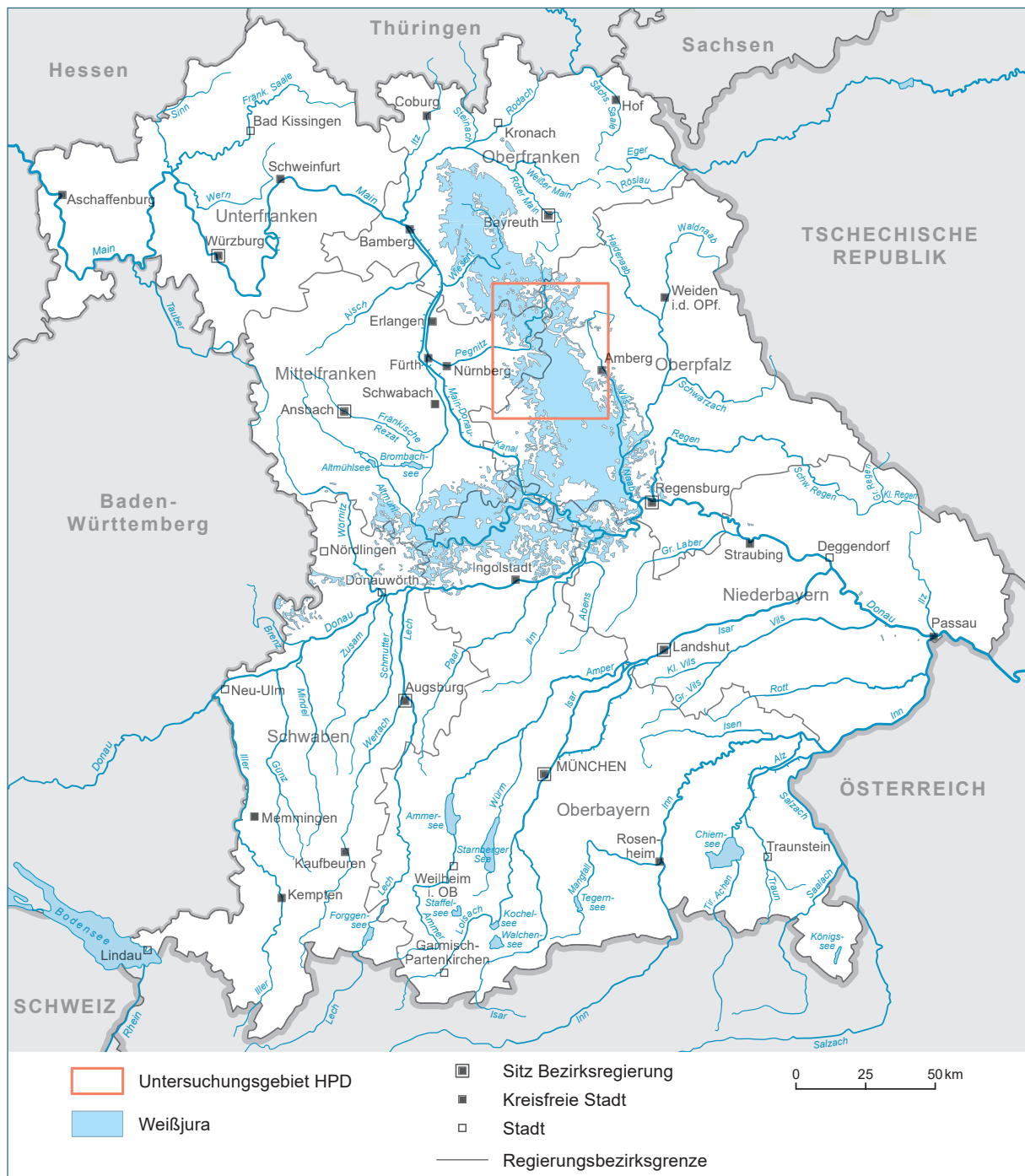


Abb. 12: Übersichtskarte von Bayern mit Ausstrich der Weißjura-Gruppe und Lage des Untersuchungsgebietes.

Die anschließende Arzberg-Formation ist aus hellgelben, splittrigen Bankkalken aufgebaut. Sie wird von Mergelhorizonten (Zonen der Platynota-Mergel an der Basis und der Crusoliensis-Mergel am Top) begrenzt, die sich lateral gut verfolgen lassen. Es folgen im südlicheren Bereich der Mittleren Frankenalb die Treuchtlingen-Formation und im nördlichen Bereich die dolomitisierte Pottenstein-Formation (NIEBUHR & PÜRNER 2014). Im oberen Abschnitt der Pottenstein-Formation verzahnen sich Hornstein-reiche Bankdolomite der Viehhofen-Subformation (sehr ebenmäßige Schichtflächen, zahlreiche Kieselknollen) mit laminierten Bank- und Plattendolomiten der Bronn-Subformation (GLA 1983A, NIEBUHR & PÜRNER 2014). Gudden und Treibs (GLA 1964) beschreiben die fossilarmen Gesteine als innerhalb kürzesten Abständen wechselnd bläulich- bis gelblichgrau und kavernös-porig.

Vierorts finden sich im Gestein zahlreiche, teils perlschnurartig angeordnete, meist aber regellos verteilte, unregelmäßig-fladenförmige, rein weiße, flache Kieselknollen. Sie sehen bereits mehlig-feinkörnig zersetzt aus und sind doch allseitig von frischem Dolomitstein umgeben. Dünnschliffe zeigen darin Reste organischer verkieselter Strukturen (Schwammnadeln und Foraminiferen). Außer diesen finden sich herausgewitterte, nicht zersetzte, sehr harte Verkieselungen. Diese bestehen aus einer dichten, subkristallinen Quarzgrundmasse (weißen bis gelblichweiß) mit länglichen-stäbchenförmigen bis rundlichen und verkieselten Einschlüssen (hell- bis bräunlichgrau). Damit unterscheiden sie sich von den meist dunklen, achatartig konzentrisch aufgebauten Verkieselungen, die als Jura-Hornsteine bekannt sind (GLA 1964).

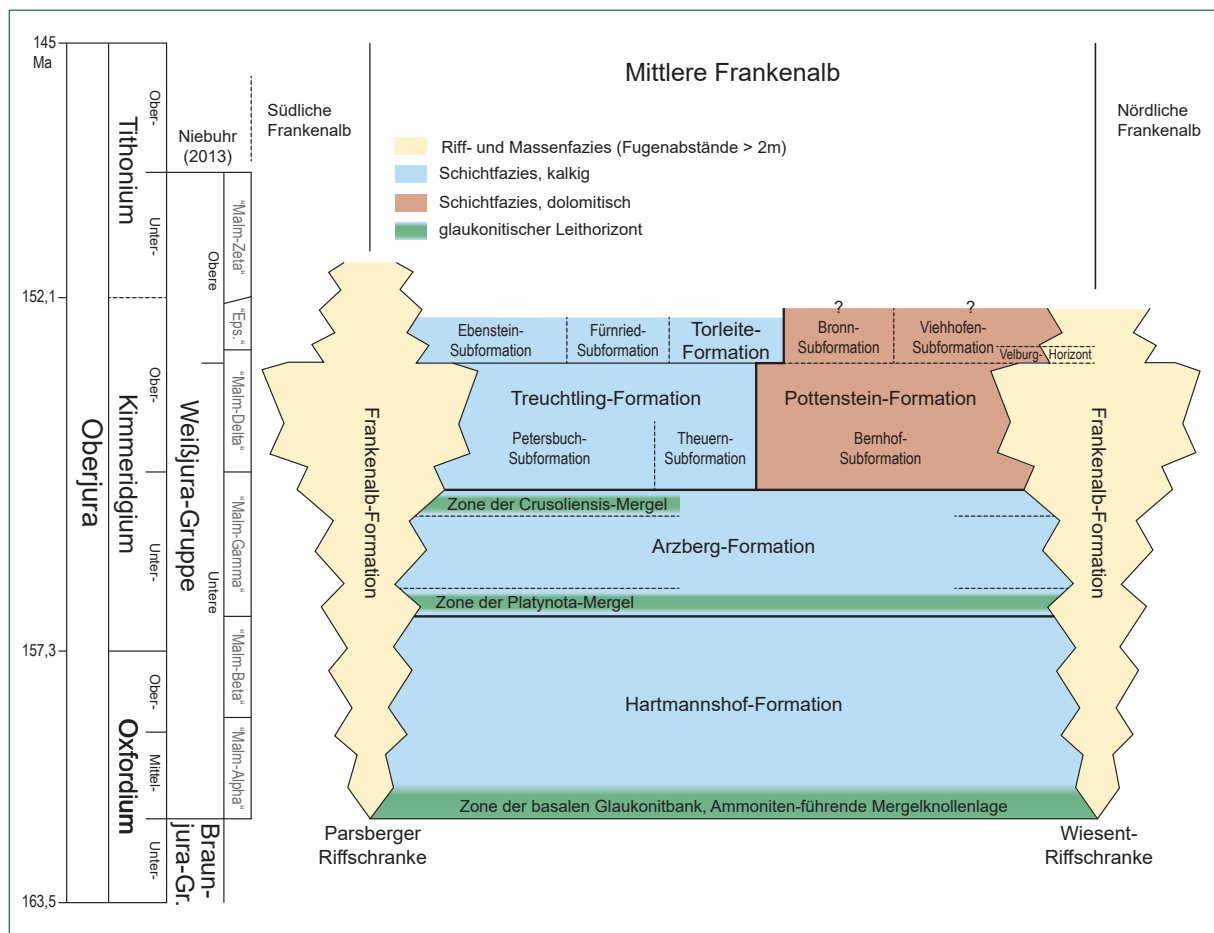


Abb. 13: Fazies-Schema der Stratigrafie der Weißjura-Gruppe der mittleren Frankenalb zwischen der Parsberger und der Wiesent-Riffschranke. Abbildung verändert nach NIEBUHR & PÜRNER (2014).

Die Untere Weißjura-Gruppe wird von der Oberen durch die Torleite-Transgression getrennt (vergleiche Abb. 13). Für die Untere Weißjura-Gruppe ist die fortschreitende laterale Ausdehnung der Schwamm-Mikrobalit-Riffe der Riffschranken charakteristisch, die zu einer Vereinheitlichung des Sedimentationsraums führt. Das jähe Ende des Riffwachstums nach einer Änderung in den Umwelt- und Ablagerungsbedingungen bewirkt, dass die Riffschranken nicht mehr als Fazies trennende Bauten fungieren. Es bilden sich flächendeckend „Wannen“ mit Schichtfazies innerhalb und auf der Massenfazies. Im gesamten Bereich der Frankenalb inklusive der ehemaligen Riffschranken-Areale entstehen mikritische Bank- und Plattenkalke der Torleite-Formation. Sie stellen damit die stratigrafisch älteste Füllung der Wannen auf der Massenfazies dar. Die basalen Bankkalke der Fürnried-Subformation datieren in das mittlere Ober-Kimmeridgium (NIEBUHR & PÜRNER 2014).

2.3.2 Das Mineral Dolomit und der Prozess der Dolomitisierung

Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) ist ein Doppelsalz aus Magnesiumcarbonat und Calciumcarbonat. Das ideale molare Verhältnis von Calcium zu Magnesium beträgt ca. 1 : 1, es kann jedoch, je nach geologischer Situation, stark schwanken (CORRENS 1968, OKRUSCH & MATTHES 2014, SICIUS 2016).

Ein Gestein, das zu mindestens 95 % aus dem Mineral Dolomit besteht, wird Dolomitstein genannt (FROOLOVA 1959, VOLA et al. 2013). Neben Dolomitstein aus dem Spessart (Zechstein-Dolomit) und der kalkalpinen Zone (Ramsau-Dolomit, Wetterstein-Dolomit, Haupt-Dolomit), stellt Dolomitstein der Fränkischen Alb („Franken-Dolomit“) den in Bayern flächenmäßig am häufigsten vorkommenden Dolomitstein dar. Sowohl zwischen den genannten überregionalen Einheiten, als auch zwischen kleinräumigen Vorkommen einer Formation, existieren jedoch große Unterschiede hinsichtlich der Gesteinseigenschaften.

Dolomitstein besitzt ein richtungsloses, oft ungleichkörniges Gefüge und einen muscheligen-spröden Bruch. Im Vergleich zu Kalkstein zeigt Dolomitstein bei Kontakt mit verdünnter Salzsäure (10-prozentige HCl) keine bis fast keine beziehungsweise nur eine verzögerte Reaktion (VINX 2011). Dolomitstein wird selten primär sedimentiert, sondern meist sekundär aus carbonatischem Locker-Sediment oder schon verfestigtem Carbonatgestein gebildet. Dieser Vorgang wird als Dolomitisierung bezeichnet. Eine frühdiagenetische Dolomitisierung findet kurz nach der Sedimentation noch nicht verfestigter carbonatischer Sedimente statt. Die häufigere spätdiagenetische Dolomitisierung entsteht nach der diagenetischen Verfestigung eines Carbonatgesteins unter Einwirkung magnesiumreicher Porenwässer. Als mögliche Magnesium-Quelle für die Dolomitisierung wird chemisch modifiziertes Meerwasser angenommen (FLÜGEL 2010). Kam es in einer späteren Phase zu einer Dolomitrekristallisation, so können hierfür deszendente meteorische Wässer verantwortlich sein. Als Bildungszeitraum der Dolomitisierung wird oberes Tithonium bis Übergang Oberjura/Unterkreide angenommen (REINHOLD 1998).

Die Dolomitisierung wirkte von seitlich und oben kommend in das Gestein ein und erfasste dabei bevorzugt wasserwegsame Bereiche. Im Gestein enthaltene Fossilien werden bei diesen Prozessen meist zersetzt und die überwiegend feinkörnigen Calcitkristalle (meist im Bereich zwischen 0,001–0,01 mm, mit Ausnahmen nach oben, vor allem bei Schalenresten) werden in gröbere Dolomitkristalle (in der Regel zwischen 0,063–0,2 mm) umgewandelt (CORRENS 1968, VINX 2011, HOFBAUER 2013). Für die Verwitterungsanfälligkeit des Dolomitsteins nachteilige texturielle Eigenschaften der Ausgangsgesteine, wie zum Beispiel Hohlräume oder Drucklösungs-Suturen, werden bei der Dolomitisierung nicht geschlossen oder überwachsen (HOFBAUER 2013). Die Anzahl der Wegsamkeiten nimmt durch die Kornvergrößerung sogar noch weiter zu. Die so geschaffene Permeabilität ist einer der wesentlichen Gründe dafür, dass der Dolomitstein trotz einer chemisch geringeren Löslichkeit im Vergleich zum Calcit, eher zur Zersetzung neigt (KOCH 2011, HOFBAUER 2013). Besonders gut wird dieser Zusammenhang dadurch illustriert, dass sich die meisten Höhlen der Nördlichen und Mittleren Frankenalb in Dolomitgestein befinden (HOFBAUER 2013).

Die allgemein stark schwankende Porosität und Permeabilität des Dolomitgesteins ist wahrscheinlich teilweise bedingt durch Gefüge-Eigenschaften des kalkigen Ausgangsmaterials (zum Beispiel lokal aneinandergrenzende Schwämme und Schwammreste in unterschiedlichen Abbaustadien, an den Grenzen kommt es zur Ausbildung von Drucklösungs-Fugen, HOFBAUER 2013). Poröse Bereiche im Gestein können aber auch durch spätere Prozesse, wie Dedolomitisierung, Lösung oder Entkalkung und Ausspülung der Rückstände entstehen. Weiterhin kann es zu einer allgemeinen Vergrusung des Gesteins kommen. Farblich variiert das Dolomitgestein von flächig homogenem Grau über brekziös wirkende, durch die „wolkgig-diffuse“ bis scharf begrenzte Verteilung von eisenhaltigen Mineralen

(wahrscheinlich Goethit) hervorgerufene braun-graue Fleckgefüge, bis hin zu einheitlichem Beige, ockerfarbenen und blaugrauen Farbtönen.

Aufgrund ihrer primären Porosität und des Fehlens gering durchlässiger Mergellagen sind vor allem die Schwamm- und Riffkalke vom Prozess der Dolomitisierung betroffen. Von den Riffkörpern reicht die Dolomitisierung teilweise in die umgebenden Kalksteine der Schichtfazies hinein. Inhomogenitäten, sowohl kleinräumig als auch großräumig, können zu einer unterschiedlich starken Dolomitisierung führen und damit entscheidend für die Wertigkeit eines potenziellen Vorkommens sein. Schichtkalke sind auf Grund der Barrierewirkung ihrer häufig vorkommenden Mergelzwischenlagen oft nur teilweise dolomitisiert (EXLER 1955, GLA 1984).

2.3.3 Verwitterung und Landschaftsmorphologie

Da Dolomitstein zu den relativ leicht löslichen Carbonaten gehört, wird er in geologischen Zeiträumen von der Erosion stark angegriffen. Lösungserscheinungen werden landläufig überwiegend als Verkarstung bezeichnet, sind aber ein komplexes Zusammenspiel aus physikalischer (mechanischer) Verwitterung und chemischen Lösungsvorgängen. Nach HOFBAUER (2013) ist der Formenschatz der Frankenalb nicht allein auf Verkarstungsprozesse zurückzuführen, sondern auch auf physikalische Verwitterungseffekte wie Abschuppung, Waben- und Lochverwitterung, Gefügezerstörung an Sickerwasseraustritten und Salzverwitterung, die es auch bei anderen, nicht verkarstungsfähigen Gesteinen gibt.

Das Dolomitgestein der Frankenalb ist – selbst unverwittert und „frisch“ – ein sehr poröses Gestein, seine Porosität und Permeabilität kann sich auf engstem Raum ohne Übergangsbereiche ändern (HOFBAUER 2013). In großräumigen Aufschlüssen – wie beispielsweise in Tagebauen – sind die Verwitterungsprozesse deutlich erkennbar (Abb. 14). Es zeigt sich, dass – selbst bei hundert Meter mächtigen Gesteinspaketen – die Auswirkung von chemischer und physikalischer Verwitterung gut sichtbar sind (Abb. 14A–G). An freigelegten Felsen zeigen sich zudem Verwitterungsstrukturen wie Waben- und Lochverwitterung, die denen eines schwach zementierten Sandsteins ähneln; oftmals lässt sich Dolomitstein auch ähnlich leicht zerreiben (HOFBAUER 2013).

Landschaftsprägende, großräumige Verwitterungserscheinungen sind beispielsweise Felsfreistellungen (Abb. 15), Höhlen, Dolinen, Erdfälle, versickernde Bäche und Trockentäler (VINX 2011). Im stark zerklüfteten und verkarsteten Weißjura sind unvermittelt unter der geringmächtigen Überdeckung mit jüngeren Erdschichten auftauchende Kuppen oder schmale Rippen typisch. In den Zwischenräumen können Kreide-Sedimente aus Ton, feinem und grobem Sand eingelagert sein. Gelegentlich treten Erdfälle auf, die sich durch Einstürze unterirdischer Hohlräume bis an die Erdoberfläche fortsetzen können. Für einen Abbau des Gesteins stellen abrupt auftauchende, häufig Lehm gefüllte Karstschlotten ungewollte Verunreinigungen dar, die die Reinheit des Rohstoffs stark herabsetzen und unter erheblichem Aufwand vor der Aufbereitung entfernt werden müssen (GLA 1964, GLA 1984).

Ein häufig vorkommendes Verwitterungsprodukt des Dolomitsteins ist Dolomitsand, beziehungsweise Dolomitasche (Abb. 16). Dafür verantwortlich sind saure Sicker- und Grundwässer, die einzelne Dolomitkristalle angreifen und – beginnend von ihren Korngrenzen aus – lösen. Dabei entstehen die rauen Oberflächen der Dolomitkristalle, die mit der Zeit immer kleiner werden. Es kommt zu einer Vergrößerung des Intergranularraums und folglich zu einer Schwächung des Kornverbandes (LEMPE 2012). Bei der Verwitterung zerfällt das Gestein zu hellgelbem Dolomitsand, während herausgewitterte Verkieselungen oft in großer Zahl an der Erdoberfläche liegen. Stellenweise findet sich in Spalten und Karsthohlformen ein rotbrauner, ebenfalls Hornstein führender Verwitterungslehm, bisweilen auch in größerem Ausmaß an der Erdoberfläche (GLA 1964).

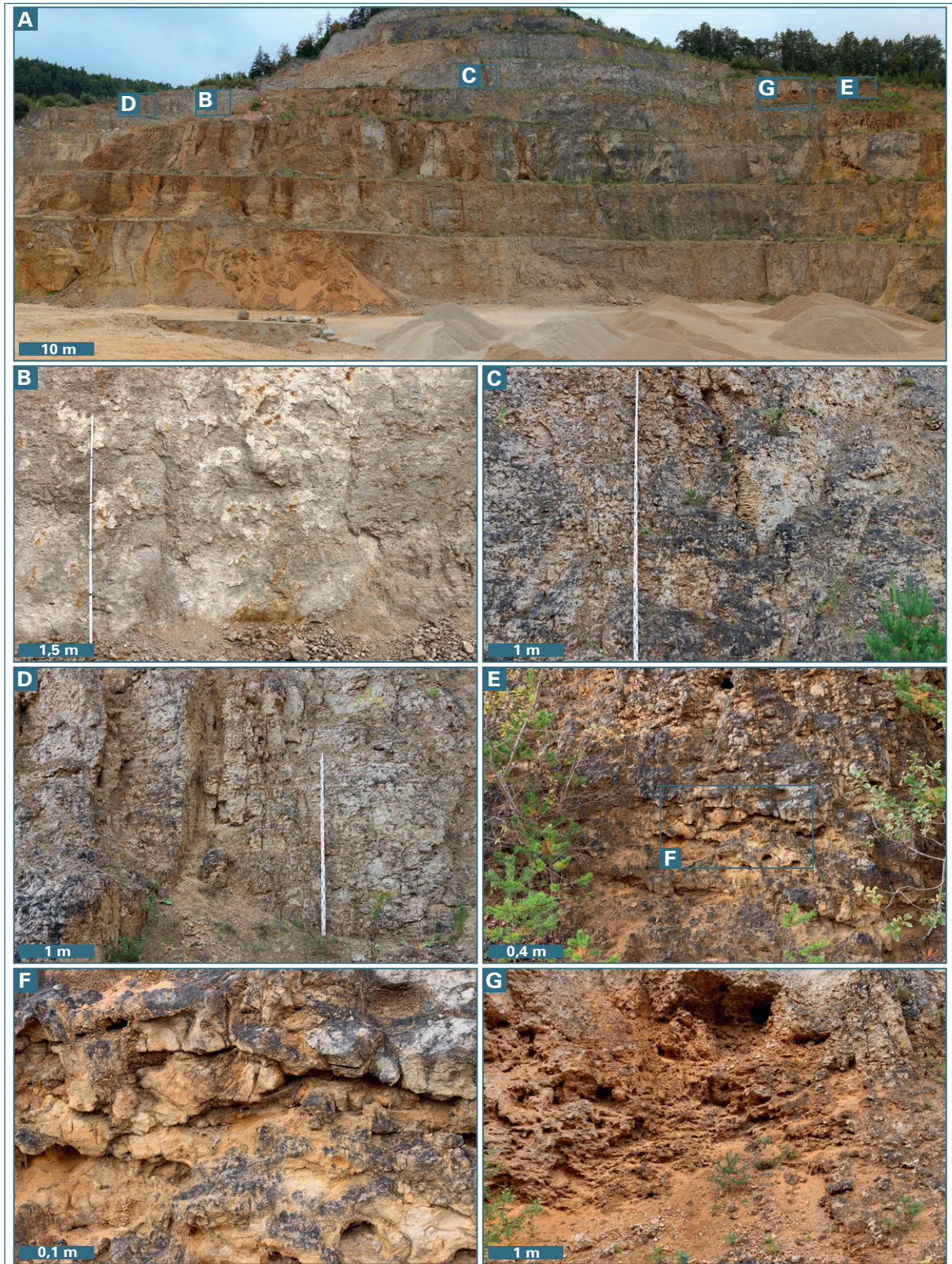


Abb. 14: Verwitterungsformen von Dolomitstein im Steinbruch des Dolomitwerks Neuensorg GmbH bei Velden. (A) Die ca. 100 m mächtige Abfolge von Dolomitstein am Schrödlberg zeigt massive strukturelle Unterschiede. (B) Massiger Dolomitstein an relativ frischer Gewinnungsstelle. (C) Biologisch besiedelte Oberfläche des Dolomitsteins mit anfänglicher Lochverwitterung und einer durch den kompletten Berg verlaufenden Kluft. (D) Sehr klüftiger Dolomitstein. (E) Dolomitstein im fortgeschrittenen Zerfallsstadium, lokal mit deutlichem Absanden. (F) Detailausschnitt von Abbildung E. (G) Kavernöses bis pseudobrekziöses Gefüge mit deutlicher Dolomitsand-Bildung als Ergebnis intensiver Lochverwitterung und chemischer Lösung.

Eine weitere Alterationsform entsteht durch den Prozess der Dedolomitisierung oder auch Recalcitierung. Hierbei werden, nach sekundären Lösungsvorgängen an Dolomitekristallen, entstandene Poren mit Calcit zugesetzt (VINX 2011). Dieser Vorgang verschlechtert den Rohstoff hinsichtlich des Magnesiumgehalts. Während der Dedolomitisierung kann das im Dolomit eingebaute Eisen herausgelöst werden. Dolomitierte Bereiche des Gesteins sind darüber hinaus leichter löslich (HOFBAUER 2013).



Abb. 15: Felsfreistellung nach Karstverwitterung



Abb. 16: Zu Dolomitasche verwitterter Dolomitstein.

Die Anwesenheit von Tonmineralen (speziell Kaolinit) in Carbonaten der Weißjura-Gruppe ist nach GRUNENBERG (2005) auf Umwandlungsprozesse von detritischem beziehungsweise authigenem Kalifeldspat zurückzuführen. Sekundäre Eisenminerale (Goethit) stammen vermutlich aus der Verwitterung primärer Sulfid-Minerale, entsprechend der folgenden Gleichung:

Pyrit + Kalifeldspat → Goethit + Kaolinit.

Das Mineral Goethit könnte zu der zum Teil deutlichen Verfärbung des Gesteins oder seiner Verwitterungsrückstände beitragen. Nach HOFBAUER (2013) kann Eisen im Dolomit-Kristallgitter eingebaut und bei chemischer Verwitterung remobilisiert werden. Bei der Recalcitierung wird Eisen wiederum eingebaut und das Gestein verfärbt (MEYER 1977). Daneben können bei der Verkarstung des Dolomitgesteins, durch die von oben nach unten fortschreitende chemische Lösung, auch Calcium- und Magnesium-Ionen gelöst und später als sekundärer Zement wieder ausgefällt werden, was zu einer Verschiebung im Calcium-Magnesium-Verhältnis führt. Sowohl der höhere Eisengehalt als auch der höhere Anteil an Dedolomit (mehr CaO) mindern die Güte des Dolomits als hochreinen Rohstoff.

Anreicherungen von Eisen in Karstgebieten bilden sich hauptsächlich in Verwitterungsrückständen der Carbonate während der Bodenbildung. Sowohl der ursprüngliche Eisengehalt des Sediments als auch andere Faktoren, wie Hanglage, klimatische Bedingungen während der Bildung sowie Beimengungen von Lösslehmen und Umlagerungsprozesse spielen dabei eine Rolle (GLA 1967, SKOWRONEK 2016). Die rezenten Böden bilden eine Vergesellschaftung aus diesen Reliktböden und humusreichen Rendzinen, die sich auf Solifluktuions- und Schuttdecken der Kuppenhänge gebildet haben (GLA 1967). Während der Verwitterung angereichertes Eisen kann durch meteorische Wässer oder schwankende Grundwasserstände sukzessive in das Ausgangsgestein verlagert und während der Rekristallisation im Dedolomit angereichert werden (GLA 1975).

2.4 Abbau und Verwendung von Dolomitstein in Deutschland und Bayern

Der Abbau von Dolomitstein erfolgt meist im Tagebau durch Bohren und Sprengen (Abb. 17).



Abb. 17: Steinbruch Götzensdorf – Abbau von Dolomitstein durch die Fa. Enghard GmbH.

Im Zeitraum zwischen 2010 und 2018 schwankte die gewonnene Menge von ungebranntem Dolomitstein zwischen 321.992 t und 947.120 t (Tab. 1, STATISTISCHES BUNDESAMT, 2019). Für ausschließlich bayerische Betriebe sind keine öffentlich zugänglichen Daten für die Gewinnung von Rohdolomit vorhanden.

Jahr	Anzahl der Betriebe	Menge [t]	Wert in €
2010	6	792.086	10.034.000
2011	6	622.089	8.826.000
2012	4	503.762	7.382.000
2013	4	321.992	5.040.000
2014	4	425.692	6.821.000
2015	5	771.434	14.928.000
2016	5	804.157	14.111.000
2017	5	741.986	13.237.000
2018	6	947.120	15.765.000

Tab. 1: Angaben zur Produktion von Dolomitstein, weder gebrannt noch gesintert (zum Absatz bestimmt) in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2018 (DATENQUELLE: STATISTISCHES BUNDESAMT 2019).

Verwendung des Rohstoffs Dolomitstein

Haupteinsatzbereiche von Dolomitstein sind zum einen die Verwendung in der Baustoffindustrie als Zementrohstoff und Zuschlagsstoff für Mineralbeton, als Füller in Bitumen/Asphalt und Beton, als Strukturmaterial und Füller in Putz, als Füllstoff in Klebstoffen, Gummi und Dichtstoffen, als Straßen- und Wegebaumaterial, aber auch als Baumaterial und Naturwerkstein. Als Rohstoff für die chemische und pharmazeutische Industrie und als Magnesium-Lieferant in der Lebensmittelindustrie wird Dolomitstein außerdem benötigt. Haupteinsatzgebiete von sehr reinem Dolomit sind die Glas-, Porzellan und Keramikindustrie. Zusätzlich wird Dolomitstein in der Land- und Forstwirtschaft als Düngemittel (Düngekalk mit Magnesium) und Futtermittel, sowie zur Neutralisation und zur Trink- und Abwasser- aufbereitung verwendet. In der zur Herstellung von Steinwolle wird er ebenso eingesetzt, wie als Füllstoff für Farben, Lacke und Kunststoffe sowie zur Rauchgasentschwefelung. Magnesiummetall dient in der Metallurgie zur Magnesiumherstellung (beispielsweise für Leichtbaumaterial in der Flug-/Fahr-

zeugindustrie) und in der Stahlindustrie als Zuschlagstoff für die Stahlherstellung (DOLOMITWERK JETTENBERG SCHÖNDORFER GMBH O. J., HIGHLEY et al. 2006, SICIUS 2016).

Verwendung von Dolomitstein bei der Glasherstellung

Dolomit stellt als Lieferant von CaO und MgO einen wichtigen Bestandteil in der Glasschmelze dar. MgO ist in Floatglas mit etwa 4,5 Gew.-% enthalten (SCHAEFFER & LANGFELD 2014). Es ist ein wichtiger Glasstabilisator und Netzwerkwandler. MgO wird hauptsächlich zur Steuerung von Verarbeitungseigenschaften (Viskositätsbereich) bei maschinell gefertigten Gläsern eingebracht und ist insbesondere wegen der starken Förderung der Kristallisationsfestigkeit des Glases technisch wertvoll (LANGE 1993, SCHAEFFER & LANGFELD 2014). Magnesiumoxid dient als Flussmittel, es senkt die Oberflächenspannung der Glasschmelze, sodass Gasblasen sie leichter verlassen können, hemmt die Reaktion mit geschmolzenem Zinn in der Flachglasherstellung, verringert die Dichte des Glases, sowie die chemische Reaktion mit Wasser oder Gas, erhöht die Widerstandsfähigkeit des Glases (Säurebeständigkeit und Ritzhärte), erhöht Biege- und Zugfestigkeit des Glases und verbessert die Temperaturwechselbeständigkeit (ILLIG et al. 1991, KREY 1999).

Neben strukturellen und mechanischen Eigenschaften, wie etwa Körnung, Härte oder Kristallinität, die zwar hinsichtlich Verarbeitbarkeit, Sinterbarkeit, sowie Neigung zum Dekrepitieren (Zerspringen von Kristallen bei Temperatureinwirkung), die entscheidende Faktoren im Glasschmelzprozess sein können, im Rahmen dieser Untersuchung aber nicht näher bewertet wurden, stellt die chemische Zusammensetzung das ausschlaggebende Kriterium bezüglich der potenziellen Verwendbarkeit dar. Je reiner ein Dolomitstein ist, desto höher ist der prozentuale Anteil an Calcium und Magnesium, wobei das molare Verhältnis der beiden Elemente zusätzlich möglichst 1 : 1 betragen soll (DOLOMITWERK JETTENBERG SCHÖNDORFER GMBH O. J.).

Grundsätzlich soll Dolomit möglichst geringe Gehalte an Fremdelementen, wie zum Beispiel Fe, Mn und Al, sowie keine sonstigen Elementgehalte von Co, Ni, Cr, V, Cu, Mo, Se, As, Zn, Cd, Hg, Tl, Pb, Cl und F aufweisen. Diese Elemente haben eine das Glas färbende Eigenschaft. Die Herstellung von sehr reinen Gläsern, wie zum Beispiel Fenster- und Architekturgläser, Automobilverglasungen, Solargläsern oder Displaygläser, stellt die höchsten Anforderungen an den Rohstoff Dolomit hinsichtlich seiner Qualität im gesamten Anwendungsspektrum (SICIUS 2016). Zwar ist es möglich, ein durch zu viel Eisen gefärbtes Glas chemisch oder physikalisch zu entfärben, indem beispielsweise das Eisen in eine farblose Stufe gebracht oder der Farbeffekt mittels anderer färbender Ionen aufgehoben wird, jedoch wird dadurch die Lichtdurchlässigkeit negativ beeinflusst. Daher wird versucht, möglichst eisenarme Rohstoffe einzusetzen (KREY 1999).

Ein besonders wichtiger Faktor für die ökonomische Beurteilung ist die verkehrstechnische Lage des Vorkommens. Flachglas herstellende Floatglas-Anlagen laufen generell rund um die Uhr und produzieren kontinuierlich, je nach Glas- und Ofenart, etwa fünf maximal 10 bis 15 Jahre lang (Wannenreise/Ofenreise). Anschließend ist eine Reparatur der Wannenauskleidung einer Glasschmelzwanne bei niedrigen Temperaturen notwendig (ILLIG et al. 1991). Glaswerke benötigen, bedingt durch ihre permanente Produktion in einem endlos-kontinuierlichen Prozess, eine hohe Versorgungssicherheit und eine „just-in-time“-Belieferung, die als Standort-Kriterium gilt, sodass bevorzugt ortsnahe Lagerstätten abgebaut werden (SCHAEFFER & LANGFELD 2014, GÖTZE & GÖBBELS 2017).

Verwendung des Rohstoffs Dolomitstein in Bayern

Hochreiner Dolomitstein wird in Bayern hauptsächlich als Rohstoff in der Glasindustrie verwendet. Die Glasindustrie produziert vor allem Flachglas im Floatglas-Verfahren, zum Teil für Spezialanwen-

dungen wie Wärmedämmglas, selbstreinigendes Glas sowie als speziell eisenarmes Glas für Solaranwendungen. Es wird außerdem Glas für Glasfaser-Anwendungen hergestellt (WWW_1).

2.5 Dolomitstein-Kategorien für diese Studie

Aufgrund der vielfältigen Anwendungsgebiete für Dolomitstein wird im Rahmen dieser Rohstofferkundung eine Klassifikation ausgehend von den – nach aktuellem Kenntnisstand – höchsten Anforderungen, vorgenommen. Es werden verschieden hohe Qualitätsanforderungen an den Rohstoff Dolomitstein unterschieden, die nachfolgend beschrieben werden.

Zur übersichtlichen Klassifizierung von Qualitäten wurden die folgenden Kategorien festgelegt. Hierbei handelt es sich um eine projektspezifische Auswahl verschiedener Quellen (LANGE 1993, LORENZ & GWOSDZ 1998, KREY 1999, LORENZ & GWOSDZ 2003, HIGHLEY et al. 2006, RHI 2016). Die Kristallinität wird nicht in die Bewertung mit einbezogen. Die chemischen Kennwerte beziehen sich alle auf den reinen, unbehandelten (ungebrannten) Rohstoff Dolomitstein.

Kat. I. – Hochreiner Dolomit (HPD)

Dieser Rohstoff eignet sich für die Herstellung von höherwertigen Gläsern (Flachglas, etc.) mit hohen Anforderungen an den Dolomitstein.

Anforderungen an einen HPD:

- CaO 28,9–32 Gew.-%
- MgO 20–22 Gew.-%
- Al₂O₃ <0,25 Gew.-%
- Fe₂O₃ <0,04 Gew.-%
- SiO₂ <0,13 Gew.-%
- hohe Homogenität des Dolomitstein-Rohstoffes, sehr hohe Reinheit.
- Möglichst keine Fremdelemente wie Mangan, Kupfer, Chrom, Kohlenstoff und andere färbende Ionen.

Kat. II. – Reiner Dolomit (PD)

Dieser Rohstoff eignet sich für die Herstellung von Gläsern (Hohlglas/Behälterglas) mit normalen bis geringen Anforderungen an den Dolomitstein.

Anforderungen an einen PD:

- CaO 28,9–32 Gew.-%
- MgO 20–22 Gew.-%
- Al₂O₃ <0,32 Gew.-%
- Fe₂O₃ <0,2 Gew.-%
- SiO₂ <0,56 Gew.-%
- hohe Homogenität des Dolomitstein-Rohstoffes, relativ hohe Reinheit.

- Möglichst keine Fremdelemente wie Mangan, Kupfer, Chrom, Kohlenstoff und andere färbende Ionen.

In dieser Kategorie wurden bei den Gehalten von CaO und MgO dieselben Werte wie in Kategorie I verwendet, der Unterschied zu Kat. I liegt in den höheren Gehalten von Al₂O₃, Fe₂O₃ und SiO₂.

Kat. III. – Technischer Dolomit (TD)

Dieser Rohstoff eignet sich für die Herstellung von Eisen, Stahl, Düngemitteln oder für die Verwendung in der chemischen Industrie. Eventuell wäre auch eine Nutzung in der Papierindustrie denkbar.

Anforderungen an einen TD in der Roheisen- und Stahlindustrie:

- CaO <35 Gew.-%
- MgO >19 Gew.-%
- Al₂O₃ <0,6 Gew.-%
- Fe₂O₃ <0,5 Gew.-%
- SiO₂ <1,8 Gew.-%
- P₂O₅ <0,37 Gew.-%
- S <0,1/<0,002 Gew.-% (ein geringer Schwefelgehalt ist wichtig für die Roheisenerzeugung/Stahlerzeugung; das Element wurde in dieser Studie jedoch nicht analytisch bestimmt)

Anforderungen an einen TD in der Düngemittelindustrie:

- CaO >23 Gew.-%
- MgO >10–15 Gew.-%
- Fe₂O₃ <0,4 Gew.-%

Theoretische Anforderungen an einen TD in der Papierindustrie (als Füllstoff oder Streichpigment):

- Weißgrad von 82–90 %
- Korngröße zwischen 0,5 und 5 µm
- Spezifische Oberfläche von 2–4 m²/g
- Abrasion (AT 1000) von 5–15 mg (Grenzwerte für CaCO₃)

Zur Zeit der Berichterstellung konnte deutschlandweit kein Betrieb ausgemacht werden, der Dolomitstein für die Papierherstellung einsetzt. Es handelt sich hierbei also nur um ein theoretisches Potenzial.

Kat. IV. – Roher Dolomit (RD)

Ein solcher Rohstoff eignet sich nicht für zuvor genannte, spezifische Anwendungen. Diese Kategorie wurde im Rahmen dieses Erkundungsprojektes nicht weiter überprüft. Eine potenzielle Eignung unter anderem als Naturstein (gebrochene Gesteinskörnungen, Bruchsteine) ist möglicherweise vorhanden.

2.6 Anforderungen an den potenziellen Dolomitstein-Rohstoff im Zielgebiet

Auf dieser theoretischen Informationsgrundlage wurde zunächst ein Anforderungsprofil für den potenziellen Rohstoff anhand mehrerer Kriterien (mit aufsteigender Bedeutung und Wertigkeit) erstellt und schließlich das rohstoffgeologische Explorationsziel des Projektes definiert, wobei möglichst viele der folgenden Kriterien zutreffen sollten. Gesucht werden demnach:

- Vorkommen, die bei möglichst geringem bis keinem Raumwiderstand abgebaut werden können (keine konkurrierenden raumplanerischen, städtebaulichen und wasserwirtschaftlichen Nutzungen sowie naturschutzfachliche Einschränkungen).
- Vorkommen mit möglichst einfacher Erschließ- und Nutzbarkeit (möglichst als Übertage-Abbau).
- Vorkommen, die möglichst in vorhandenen, regionalplanerisch schon gesicherten Rohstoff-Vorrang- (VR) beziehungsweise -Vorbehaltsgebieten (VB) liegen.
- möglichst große, homogene und potenziell über Jahre nutzbare Vorkommen (wirtschaftlich rentable Kubaturen).
- möglichst hohe Dolomitstein-Reinheit bei gleichbleibender Qualität.

Somit hat das Erkundungsprogramm das Ziel, zu klären, ob und wo im ausgewählten Areal der Frankenalb nach oben genannten Vorgaben Vorkommen vorhanden sind, die sich zum Abbau von Dolomitstein oder zur Gewinnung und zur wirtschaftlichen Herstellung von hochreinem Dolomit grundsätzlich eignen könnten.

3 Durchgeführte Arbeiten/Methodik

Im Folgenden werden die durchgeführten Arbeiten und Methoden dieser Studie beschrieben.

3.1 Vorerkundung im Gesamt-Untersuchungsgebiet

Zur Orientierung für die Eingrenzung des Untersuchungsgebietes dienten aktive Gewinnungsbetriebe, die nachweislich Lieferanten von Dolomitstein mit höherer Reinheit sind. Die umgebenden Regionen dieser ausgewählten Lagerstätten, mit hochwertigem Dolomitstein, wurden großflächig in das Untersuchungsgebiet integriert. Unter Berücksichtigung der Projektziele wurde ein Untersuchungsgebiet definiert, das einen großen Teil der Mittleren Frankenalb abdeckt (vergleiche Abb. 12). Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich östlich von Nürnberg, zwischen den Städten Pegnitz (im Norden), Amberg (im Osten), Neumarkt in der Oberpfalz (im Süden) und Lauf an der Pegnitz (im Westen) und beinhaltet Teile der Landkreise Amberg-Weizsach, Neumarkt in der Oberpfalz, Bayreuth, Forchheim und Nürnberger Land.

3.1.1 Digitale Betrachtungen für die Vorerkundung

Die dolomitisierten Einheiten der Weißjura-Gruppe im Untersuchungsgebiet wurden auf Basis der Informationen aus dem Bodeninformationssystem (BIS) des LfU, den geologischen Karten (Maßstab 1 : 25 000) und diverser Fachliteratur (MEYER 1972, 1974, Unterlagen des Lagerstättenarchivs, Baustoffkarten von 1947) separiert. Zusätzlich wurde geprüft, ob bereits ausgewiesene, aber noch nicht im Abbau befindliche Vorbehalts- oder Vorranggebiete existieren. Die Informationsdichte hinsichtlich der Eigenschaften von Dolomitstein als nutzbarer Rohstoff stellte sich als sehr niedrig heraus. Bisherige Untersuchungen bezogen sich hauptsächlich auf die fazielle Ausbildung der Weißjura-Gruppe (mit Ausnahme von SCHRÖDER 1965).

Im nächsten Schritt erfolgte die Bewertung hinsichtlich potenzieller Konflikte mit konkurrierenden Nutzungen unter Verwendung des Rauminformationssystems Bayerns (RISBY). Als Ausschlusskriterium gilt die Lage im Naturschutzgebiet, Wohngebiet, Gewerbe-/Industriegebiet, Trinkwasserschutzgebiet, Heilquellenschutzgebiet und/oder Überschwemmungsgebiet. Eine negative Bewertung (kein Ausschluss) wird vorgenommen, wenn eine potenzielle Fläche im Konflikt mit einem Fauna-Flora-Habitat-Schutzgebiet (kurz FFH), Landschaftsschutzgebiet, Naturpark, Naturdenkmal/Bodendenkmal, gesetzlich geschützten Biotop, Schutzwald und/oder Erholungswald steht. Auf Grund der zu erwartenden Rohstoffgewinnung mittels Bohren und Sprengen, wurde ein Mindestabstand von 300 m zu Wohngebieten festgelegt. Einzelne bewohnte Häuser außerhalb von Siedlungsgebieten werden als negativer Faktor berücksichtigt, aber nicht als Ausschlusskriterium bewertet. Um einen langfristigen, wirtschaftlichen Abbau mit ausreichenden Tonnagen gewährleisten zu können, wurden nur zusammenhängende Flächen mit Größen von >20 Hektar in die Erkundung einbezogen.

Die Probenahmepunkte zur Erkundung von Vorkommen potenziell hochwertigen Dolomitsteins wurden, unter Verwendung des digitalen Geländemodells (DGM), vorab grob festgelegt. Hierbei wurden vorzugsweise Felsfreistellungen und gegebenenfalls ehemalige Abbaustellen ausgewählt.

3.1.2 Geländebefahrung und Probenahme der Vorerkundung

Die Anzahl der Probenahmepunkte variiert zwischen den Zielgebieten. Es gab verschieden gut zugängliche Probenahmestellen (Abb. 18, Abb. 19, Abb. 20, Abb. 21). Pro Zielgebiet wurden mindestens drei Probenahmen durchgeführt. Da die Dolomitisierung auf Grund von Inhomogenität im Ausgangsgestein nicht überall mit der gleichen Intensität stattfand und zusätzlich nachträgliche Prozesse

auf das Gestein einwirkten, existieren bereits im kleinräumigen Maßstab Schwankungen bezogen auf Körnung, Porosität, Färbung und demzufolge auch Qualität des Rohstoffes. Um den Einfluss dieser Variationen auf das Gesamtergebnis möglichst gering zu halten, wurden jeweils drei engräumige Einzelproben je Probenahmestelle genommen und zu einer Mischprobe zusammengeführt.



Abb. 18: Probenahme an aufgelassener Entnahmestelle, vorwiegend Dolomitasche (PO3-06).



Abb. 19: Probenahme an massiver Felsfreistellung im Riffdolomit (BET2-02).



Abb. 20: Probenahme an Wegeinschnitt (PO10-01).



Abb. 21: Probenahme an „forstlicher“ Entnahmestelle (KAS6-04).

Aus der Vorerkundung resultierten 65 Zielgebiete (Abb. 22). Es wurden insgesamt 335 Proben genommen und für das weitere Untersuchungsprogramm aufbereitet, analysiert und ausgewertet.

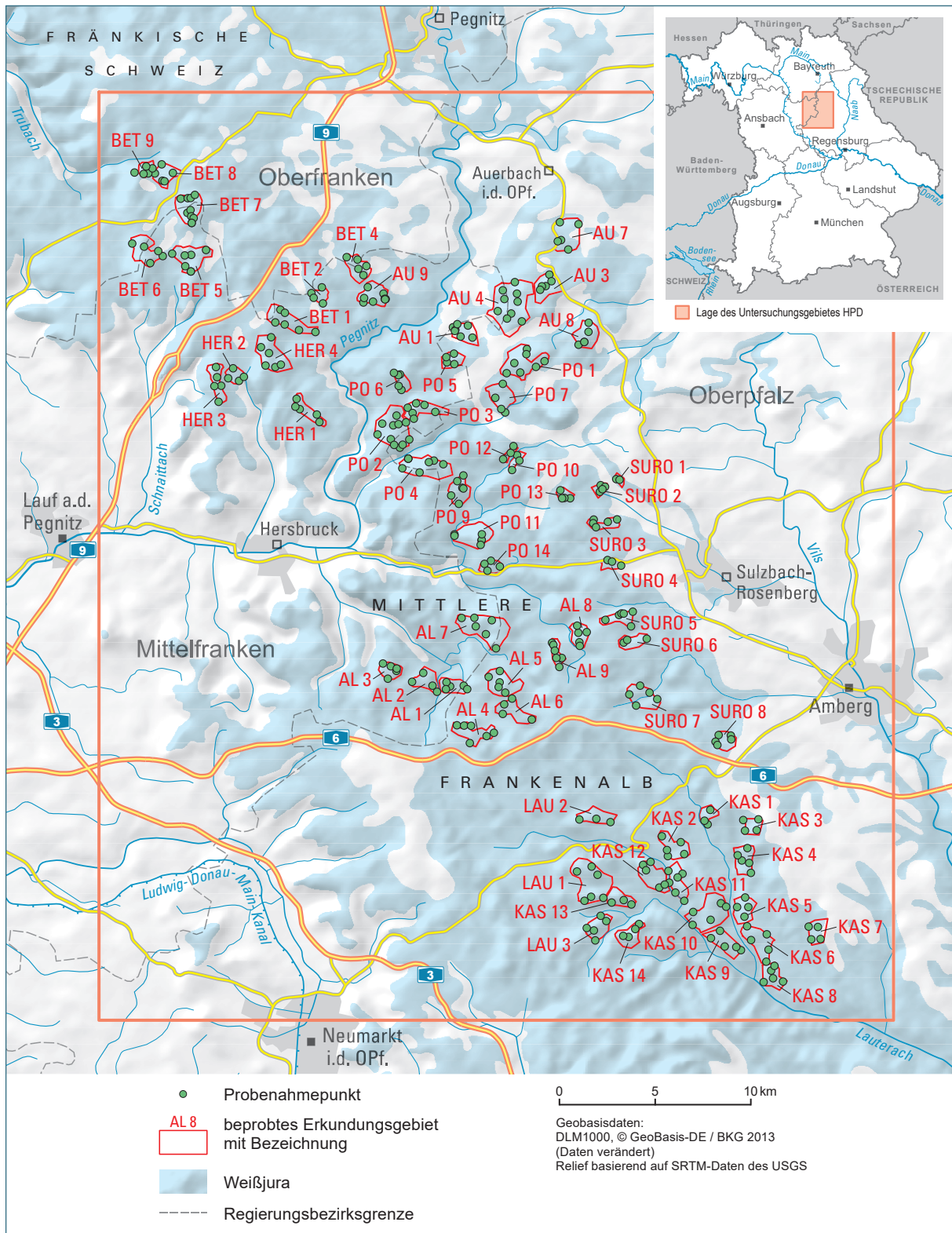


Abb. 22: Übersicht der Erkundungsgebiete für die Exploration nach hochreinem Dolomitstein (HPD) in Teilen der Nördlichen und Mittleren Frankenalb im Weißjura mit entsprechenden Probenahmepunkten.

3.2 Entwicklung einer kontaminationsarmen Standard-Aufbereitung von Gesteinsproben

Die Vorgehensweise der Gesteinsaufbereitung der Vorerkundungsproben resultierte aus den Ergebnissen einer Referenz-Aufbereitung und -Analytik. Sie wird im Folgenden beschrieben.

Gesteinsaufbereitung – Probenahme

Es ist notwendig, bei Probennahme und Aufbereitung alle potenziellen Kontaminationsquellen einzuschränken. Dementsprechend wurden möglichst Gesteinsstücke ohne Verwitterungskruste manuell aus der jeweiligen Probenahmestelle herausgelöst. Bei manchen Proben war ein nachträgliches Entfernen der verwitterten Gesteinsbereiche im Labor notwendig.

Gesteinsaufbereitung – Grobzerkleinerung

Die vorbereiteten Probestücke wurden im nächsten Schritt auf eine Korngröße <5 mm zerkleinert. Standardmäßig werden hierfür Backenbrecher oder hydraulische Pressen eingesetzt. Da für die genannten Aufbereitungsmethoden keine belastbaren Aussagen über die Größenordnungen möglicher Kontaminationen aus den Geräten vorliegen, ergab sich die Notwendigkeit einer vergleichenden Überprüfung („Referenz-Aufbereitung“) mit verschiedenen Methoden. Hierfür wurden exemplarisch drei Dolomitstein-Proben mittels Backenbrecher (Wolframcarbid-Einsätze) und hydraulischer Presse (Stahl) im LfU-internen Labor im Rohstoff-Analytik-Zentrum zerkleinert. Zu Vergleichszwecken wurde eine dritte Zerkleinerungsmethode durch eine externe Firma getestet. Das grobstückige Probenmaterial (5–10 cm Kantenlänge) wurde aufgrund der Ergebnisse der Referenz-Analytik intern im LfU-eigenen Labor des Rohstoff-Analytik-Zentrums im Backenbrecher granuliert.

Gesteinsaufbereitung – Feinmahlen

Im Anschluss an die Grobaufbereitung wurde das vorzerkleinerte Probenmaterial mittels Planetenkugelmühle analysenfein aufgemahlen. Die im üblichen Laborgebrauch in Planetenkugelmühlen zum Einsatz kommenden Achat-Einsätze (Mahlbecher und Mahlkugeln) besitzen aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung das potenzielle Risiko für einen SiO_2 -Eintrag. Um beurteilen zu können, inwiefern es sich bei der zu erwartenden Kontamination um einen das Ergebnis nennenswert verfälschenden Faktor handelt, wurden zu Vergleichszwecken drei Proben mit alternativen Materialeinsätzen aufgemahlen. Die Referenzproben wurden in der Planetenkugelmühle in hochabriebfesten Achat-Einsätzen sowie in Einsätzen aus Zirkon-Oxid (ZrO_2) und Wolframcarbid (WC) aufbereitet. Auf die Verwendung von Stahleinsätzen wurde aufgrund der zu erwartenden Eisen-Kontamination verzichtet.

Chemische Referenzanalytik

Um das Kontaminationspotenzial im Rahmen der einzelnen Aufbereitungsschritte definieren zu können, wurde im Anschluss an die „Referenz-Aufbereitung“ eine gesonderte zweistufige chemische Analytik durchgeführt. Hierbei wurden zunächst die insgesamt neun Probenchargen (3 x 3 Proben-Aliquote) aus der Grobzerkleinerung (Backenbrecher, Hydraulische Presse, externes Alternativverfahren zur Zerkleinerung) über die optische Emissionsspektroskopie (ICP-OES) extern, sowohl auf die Haupt-, als auch auf die Neben- und Spurenbestandteile hin analysiert.

Zur Konkretisierung des Kontaminations-Potenzials aus dem Aufmahlprozess, durch Nutzung der Planetenkugelmühle und den verschiedenen Einsätzen (Achat, WC, ZrO_2), wurden außerdem insgesamt neun Probenchargen (3 x 3 Proben-Aliquote) zur chemischen Vergleichsanalytik, mittels opti-

scher Emissionsspektroskopie (ICP-OES) und wellenlängendispersiver Röntgenfluoreszenzanalyse (WD-RFA), ausgewählt.

Nach Auswertung der Vergleichsuntersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass die standardmäßig betriebene, LfU-interne Gesteinsaufbereitungsroutine mittels Backenbrecher (Wolframcarbideinsätze) und Planetenkugelmühle (Achat-Einsätze, Abb. 23) zu den insgesamt schnellsten, effektivsten und kontaminationsärmsten Ergebnissen führt. Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse aus der „Referenz-Aufbereitung und -Analytik“, wurde daraufhin die weitere Aufbereitung, der insgesamt 335 Proben, intern (im Bohrkern- und Rohstoff-Analytik-Zentrum in Hof), ausschließlich mittels dieses Standardverfahrens durchgeführt (Abb. 24).



Abb. 23: Geöffnete Planetenkugelmühle mit eingespannten, geschlossenen Achateinsätzen. Diese Achatbecher sind mit Achatkugeln und der aufzumahlenden Probenmenge befüllt.

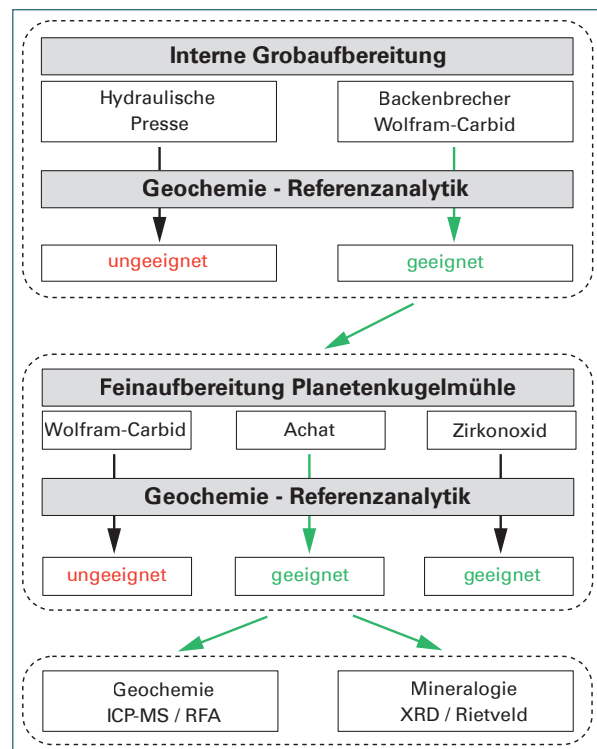


Abb. 24: Schematische Darstellung der einzelnen Aufbereitungsschritte und deren Referenz-Analysen. Als geeignete Materialien beziehungsweise Geräte wurden bei der Hauptaufbereitung anschließend der Backenbrecher mit WC-Einsatz sowie die Planetenkugelmühle mit Achat-Einsatz verwendet.

3.3 Analytik und Auswertung der Vorerkundungsproben

Im Folgenden werden die Grundlagen der geochemischen und mineralogischen Analytik beschrieben.

Geochemische Analytik

Die analysenfein aufgemahlene Proben wurden in einem externen Labor analysiert. Um eine möglichst hohe Informationsdichte (großer bewertbarer Parameterumfang) bei höchstmöglicher Nachweisgenauigkeit bei den Proben zu erhalten, wurde eine Kombination aus wellenlängendispersiver

Röntgenfluoreszenzanalyse (stationäre WD-RFA) und Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) angewandt. Zur Bestimmung der Haupt- und Nebenelemente mittels WD-RFA wurden die Proben zunächst mit geeigneten Flussmitteln (Mischung aus Li-Tetra- und -Meta-Boraten) in Platintiegeln aufgeschmolzen (Abb. 25) und zu entsprechenden Schmelztabletten gegossen. Die Messung erfolgte nach Abkühlung. Zur Bestimmung der Spurenelementgehalte mittels ICP-MS wurde das analysenfeine Probenmaterial über einen Säure-Aufschluss vollständig gelöst.



Abb. 25: Herstellung von Schmelztabletten (Aufschmelzen in Platintiegeln) für die anschließende RFA-Analytik (Bild: Activation Laboratories Ltd., Kanada).

Die chemische Gesteinsanalytik (Haupt-, Neben- und Spurenelemente mit Glühverlust, L.O.I.) beschreibt die Gesamtgehalte der Probe. Als untere Nachweisgrenzen der „physikalischen“ Multiementanalytik (WD-RFA), wurden in der Regel 0,00x bis 0,0x Gew.-% für die Hauptelemente (als Oxide) und, gehaltsabhängig, für einige Nebenelemente (in oxidischer Form), erreicht. Die Nachweisgrenzen der lösungsgebundenen Multiementanalytik (ICP-MS) liegen in der Regel zwischen 0,0x ppm und 1,0 ppm für Neben- und Spurenelemente. Analytierte und bewertete Parameter sind neben den Hauptelementen (Si, Al, Ti, Fe, Ca, Mg, Mn, Na, K, P; alle als Oxide) auch die Neben- und Spurenelemente (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Se, Zr, B, Ge, Li, Zn, U, V, Th, Tl und As; alle in elementarer Form).

Folgende Bezugsgrößen dienen der Plausibilisierung der geochemischen Analytik:

- Bezug auf die bei 105 °C getrocknete Probe
- Glühverlust L.O.I. (loss on ignition) in Gew.-%, ermittelt bei 1.050 °C
- Summe aller Hauptelement-Oxide + L.O.I. (1.050 °C) = 100,0 Gew.-%
- Toleranz Analysensumme 100,0 ± 1,0 Gew.-% absolut.

Mineralogische Analytik

Neben der chemischen Zusammensetzung des Gesteins („Gesamtgehalte“) wurde auch die Mineralogie am ungebrannten, analysenfein aufgemahlten Rohstoff bestimmt. Die qualitative und quantitative

ve Bestimmung der mineralischen Komponenten erfolgte mittels Röntgendiffraktometrie (XRD-Analytik) unter Anwendung der Rietveld-Methode LfU-extern.

Grundprinzip der Rietveld-Analyse ist die kristallografisch-mathematische Anpassung eines, aufgrund von Strukturmodellen berechneten, Röntgendiffraktogramms an das gemessene Diffraktogramm der Untersuchungsprobe. Ausgehend von einem Anfangsmodell einer oder mehrerer Mineralkomponenten und den bei der Messung verwendeten, festen instrumentellen Parametern, wird die räumliche Anordnung von Atomen und damit die Kristallstruktur des Anfangsmodells so lange in einer mathematischen Prozedur („least square fit refinement“) verfeinert, bis der Unterschied zwischen gemessenem und berechnetem Diffraktogramm beziehungsweise Beugungsmuster, möglichst gering ist (die Fehlerquadratsumme ist dann minimal). Mit Hilfe der Rietveld-Methode lassen sich Veränderungen in der Kristallstruktur sehr genau erfassen. Darüber hinaus wird das Verfahren zur (eichprobenlosen, relativ schnellen und genauen) quantitativen Bestimmung von Mineralgehalten einer Probe genutzt, da alle in einer Mischung enthaltenen Phasen gleichzeitig verfeinert werden können und – bei sich überlappenden Reflexen – die Anteile auf die verschiedenen Phasen mit Bragg-Reflexionen bei diesem Winkel aufgeteilt werden können (STEPHAN 2011).

Die Fehler der quantitativen XRD-Analytik betragen durchschnittlich 3 % relativ, als Bestimmungsgrenzen werden im Mittel 0,2 Gew.-% angegeben. Über die externe Analytik wurde, neben den Carbonaten Dolomit und Calcit, ausschließlich Quarz als Mineralphase nachgewiesen und quantifiziert.

Ein wichtiges Bewertungskriterium, neben der Gesamtchemie und der quantitativen Mineralogie des potenziellen Dolomitstein-Rohstoffs, stellt die jeweilige mineralogisch-stöchiometrische Zusammensetzung der carbonatischen Hauptminerale dar. Die molekulare Zusammensetzung der Carbonat-Phasen Calcit, beziehungsweise Dolomit, wird hierzu indirekt aus der Winkellage des röntgenografisch bestimmbaren Carbonat-Hauptpeaks $d(104)$ bestimmt (LUMSDEN 1979, FÜCHTBAUER & RICHTER 1988). Weil Ca^{2+} und Mg^{2+} unterschiedliche Ionenradien besitzen, ändern sich die Kristallgitterabstände (d -Werte) von Calcit und Dolomit systematisch, wenn Ca^{2+} im Kristallgitter des Doppelsalzes Dolomit durch Mg^{2+} ersetzt wird. Die Winkellage des Carbonat-Hauptpeaks $d(104)$ drückt deshalb das molekulare Verhältnis von CaCO_3 zu MgCO_3 (für Calcit oder Dolomit gleichermaßen) in einer linearen Beziehung aus; das heißt aus den Beugungswinkeln des Carbonat-Hauptpeaks kann in einer mathematischen Beziehung die jeweilige molekulare Zusammensetzung der Carbonat-Minerale ermittelt werden. Um Mess- und Auswertfehler zu minimieren, wurden dazu zunächst die Winkellagen der diagnostischen Peaks mittels internen Korund-Standards korrigiert und anschließend die Berechnung durchgeführt.

Die quantitativen Ergebnisse der Röntgendiffraktometrie können aufgrund von Fremdmineral-Gehalten die unterhalb der Nachweis- und Bestimmungsgrenzen liegen einen signifikanten Fehler aufweisen. Es wurde daher stichprobenartig eine mineralogische Massen-Bilanzierung zur internen Plausibilisierung der mineralogischen Gehaltsangaben durchgeführt. Dazu wurden Ergebnisse der vorliegenden RFA-Analytik (Hauptelement-Oxide), in Kombination mit den Ergebnissen der qualitativen XRD und stöchiometrischer Faktoren (molekulare Zusammensetzung, verwendet. Hierbei wird, mittels einer in Eigenentwicklung erstellten Routine („least square fit method“), die wahrscheinlichste quantitative Mineralzusammensetzung der Probe hergeleitet. Basis der Modellrechnung sind sowohl mittlere stöchiometrische Mineralzusammensetzungen nach DEER, HOWIE & ZUSSMAN (1980), als auch die rechnerisch bestimmten molekularen Zusammensetzungen der Carbonatminerale in den jeweiligen Proben.

Als Qualitätskriterium des berechneten Modells wird die Fehlerquadratsumme gewertet, die möglichst klein (im Idealfall $\ll 1$) sein sollte. Berücksichtigt wurden neben oben genannten auch die Minerale Goethit, Kalifeldspat und Kaolinit, die als akzessorische Bestandteile dieser Gesteine und in diesem Umfeld möglich wären, beziehungsweise dort auch beschrieben werden (BAUSCH 1980). Wie

vermutet, können, bei Anwendung dieser Routine, die Fremdminerale Goethit, Kalifeldspat und Kalinit tatsächlich in den untersuchten Proben modellhaft nachgewiesen und quantifiziert werden, ihre – errechneten – Gehalte liegen unter den für die XRD-Analytik angegebenen Nachweis- und Bestimmungsgrenzen. Unter rohstofflichen Aspekten erscheinen diese Minimalgehalte unkritisch und werden daher für diese Bewertung nicht weiter berücksichtigt.

3.4 Rohstoffgeologische Auswertung der Vorerkundung

Für die rohstoffgeologische Auswertung wurden die einzelnen Zielgebiete jeweils nach den folgenden drei Bewertungsschritten klassifiziert, um daraus die Untersuchungsgebiete zu definieren, die sich für eine Detailerkundung am besten eignen.

Bewertungsschritt 1 – Geochemische Analytik

Die Ergebnisse der mineralogischen und geochemischen Analytik stellen die Grundlage für die Bewertung eines Dolomitstein-Vorkommens hinsichtlich deren Eignung für spezifische Verwendungszwecke dar (KELLER 1961). Je nach Anforderung, der Industrie an den Rohstoff Dolomitstein, gelten Elementgehalte, beziehungsweise geochemische Zusammensetzung, als entscheidende Kriterien.

Entsprechend der in Kapitel 2.5 beschriebenen Anforderungsprofile der einzelnen Anwendungsbereiche, wurde der untersuchte Dolomitstein in vier Kategorien unterteilt:

- Kategorie I: HPD – Hochreiner Dolomit
- Kategorie II: PD – Reiner Dolomit
- Kategorie III: TD – Technischer Dolomit
- Kategorie IV: RD – Roher Dolomit

Unter Nutzung der aus den Einzelproben gebildeten Mittelwerte der jeweiligen Erkundungsgebiete, wurde eine Bewertung entsprechend der oben genannten Kategorien durchgeführt. Bei geringen Überschreitungen bei einem Hauptelement (MgO, CaO bis 0,5 Gew.-%; alle anderen Oxide bis 0,05 Gew.-%), wurden Einzelfallbetrachtungen durchgeführt. Wenn nur ein Einzelwert je Gebiet überschritten wurde und dadurch die Gesamtprobe (Mittelwert) stark verschlechtert wurde, wurden die Einzelproben auf „Ausreißer“ hin geprüft. Das bedeutet war nur eine Teilprobe des Erkundungsgebiets für die Überschreitung des Mittelwertes zuständig, wurde dieses Gebiet trotzdem als geeignet für die nächst höhere Klassifikation gewertet. Existierten Überschreitungen bei mehr als einem Hauptelement je Einzel-Probe, galt dies als Ausschluss. Die Bewertung eines Oxid-Ergebnisses einer Mischprobe als Kategorie IV führte zu einem kompletten Ausschluss des entsprechenden Gebiets, da alle als Kategorie IV bewerteten Gebiete in dieser Studie nicht weiter betrachtet wurden, auch wenn andere Oxide in der Probe einer besseren Kategorie entsprochen hätten. Die übrigen Gebiete wurden hinsichtlich ihrer Geochemie in die Kategorien I, II oder III eingeteilt. Diese Einteilung erfolgte ebenfalls anhand der Mischproben, wobei jeweils die Oxide betrachtet wurden und die Kategorie mittels des schlechtesten Werts ermittelt wurde. Das heißt ein Zielgebiet, dessen Werte bis auf einem den Kriterien von Kategorie I genügten, wurde trotzdem in Kategorie III eingeordnet, sobald ein Wert in diese Kategorie fiel.

Unter Berücksichtigung der genannten Kriterien und Parameter konnten einige Gebiete mit Kategorie II ausgewiesen werden. Die Festlegung auf optimale Zielgebiete für Detailerkundungen mittels Kernbohrungen erfolgte hinsichtlich der geringsten Störelementgehalte und der besten Ca/Mg-Verhältnisse. Dadurch konnten mehrere Zielgebiete mit den potenziell besten Gehalten und geochemischen Kriterien ermittelt werden.

Bewertungsschritt 2 – Vorkommen

In einem weiteren Bewertungsschritt wurden die theoretisch gewinnbaren Kubaturen der Zielgebiete grob vereinfacht bewertet und überschlägig berechnet. Es wurde für diese Betrachtung die Annahme getroffen, dass das theoretisch gewinnbare Rohstoffvorkommen der Mächtigkeit des dolomitisierten Körpers entspricht. Diese wurde aus dem entsprechenden Höhengniveau der GK 25 ermittelt und die Basis (auf Höhe des nächstgelegenen Tals) als ebene Fläche festgelegt. Beträgt die maximale Mächtigkeit des potenziellen Rohstoffkörpers im Untersuchungsgebiet weniger als 40 m ist eine wirtschaftlich sinnvolle Gewinnung nicht zu erwarten. Eine weitere Bewertung wurde nicht durchgeführt und das Gebiet ausgeschlossen.

Bewertungsschritt 3 – Raumordnung & Infrastruktur

Im nächsten Bewertungsschritt wurden die resultierenden Gebiete auf ihr Konfliktpotenzial bezogen auf konkurrierende Nutzungen überprüft. Des Weiteren wurden Ortsdurchfahrten, die Flächengröße des jeweiligen Gebiets, und kleine Kreisverkehre mit engen Kurvenradien sowie die Entfernungen zu Staats-, Bundesstraßen und Autobahnen berücksichtigt. Gebiete in Schutzzonen (Ausschlusskriterium) waren bereits im Rahmen der Vorerkundung (vergleiche Kapitel 3.1.1) aussortiert worden. Es gelten folgende Bewertungsmaßstäbe:

- Lage im Fauna-Flora-Habitat-Schutzgebiet (kurz FFH), Landschaftsschutzgebiet, Naturpark, Naturdenkmal, EU-Vogelschutzgebiet, Schutzwald und/oder Erholungswald:
 - Je Schutzzone eine negative Bewertung
 - Bei mehrfachem Zutreffen Addition negativer Bewertungen
- Entfernung zu Staatsstraße: eine negative Bewertung pro Kilometer Entfernung (Die Entfernungen wurden jeweils von dem Mittelpunkt des Zielgebietes aus berechnet)
- Entfernung zu Bundesstraße: eine negative Bewertung pro Kilometer Entfernung
- Entfernung zu Bundesautobahn: eine negative Bewertung pro Kilometer Entfernung
- Ortsdurchfahrten: eine negative Bewertung pro Ortsdurchfahrt (Widerstand der lokalen Bevölkerung durch Lärm-, Staub- und Verkehrsbelastung der Ortskerne, oft enge Gassen und Kurvenradien)
- Kreisverkehre: eine negative Bewertung pro Kreisverkehr mit engem Kurvenradius (für große LKW schwierig zu befahren)
- Die Flächengröße des Gebiets geht je Quadratkilometer als positive Bewertung ein und wird mit dem Faktor 5 bemessen, da dieser Punkt als sehr wichtig erachtet wird.

Mit Hilfe dieser Bewertungsmatrix konnten schließlich wenige Erkundungsgebiete mit den besten Punktzahlen ermittelt werden (vergleiche Seite 99f im Anhang).

Rohstoffgeologische Detailerkundung

Die den Bewertungsschritten 1 bis 3 zugrundeliegende oberflächennahe Probenahme erlaubt eingeschränkte Aussagen über die Qualität des Dolomitgesteins im Untergrund. Besonders zur überschlägigen Kubaturberechnung der gewinnbaren Mengen spielen die Mächtigkeit des potenziellen Nutzhorizontes und dessen gesteinspezifische Eigenschaften eine entscheidende Rolle. Zur Erkundung des Rohstoffkörpers und Plausibilisierung der bisherigen Annahmen bezüglich der Mächtigkeit (aus der GK25) und Homogenität des Vorkommens, wurden in den vier insgesamt am besten bewerteten Erkundungsgebieten Kernbohrungen zur Detailerkundung durchgeführt. Pro Zielgebiet wurde eine Boh-

rung abgeteuft. Es sollte jeweils die Basis der Dolomitisierung und damit die Basis des theoretisch abbaubaren Nutzhorizonts erhoben werden. Zur Verifizierung der bisherigen Ergebnisse wurden die Kernbohrungen anschließend geologisch aufgenommen und Gesteinsproben entnommen.

3.5 Bohrungen im Untersuchungsgebiet auf Grundlage der Vorerkundung

Auf Grundlage der Bewertung der Vorerkundungsproben resultierten die vier Gebiete, in denen Erkundungsbohrungen abgeteuft wurden. Von diesen Bohrungen wurden abschnittsweise insgesamt 60 Proben genommen und wie die Proben der Vorerkundung (siehe Kapitel 3.3) aufbereitet und (extern) analysiert. Die restlichen Bohrkern des HPD-Erkundungsprogramms sind im Bohrkern- und Rohstoff-Analytik-Zentrum des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) in Hof gelagert und können für Rohstoffbelange und wissenschaftliche Fragestellungen eingesehen und gegebenenfalls bearbeitet werden.

3.5.1 Auswahl der Bohransatzpunkte für die Detailerkundung

Die Kernbohrungen in den Untersuchungsgebieten wurden von einer externen Firma in der Zeit zwischen Herbst 2017 und Sommer 2018 durchgeführt. Das Ziel war, möglichst zentral im Zielgebiet den höchstgelegenen, noch anfahrbaren Punkt zu wählen. Es sollte dadurch sichergestellt werden, dass die Bohrung bestenfalls die komplette Mächtigkeit des Zielhorizonts durchteuft und so tief wie möglich reicht, um die Grenze der Dolomitisierung zu erbohren.

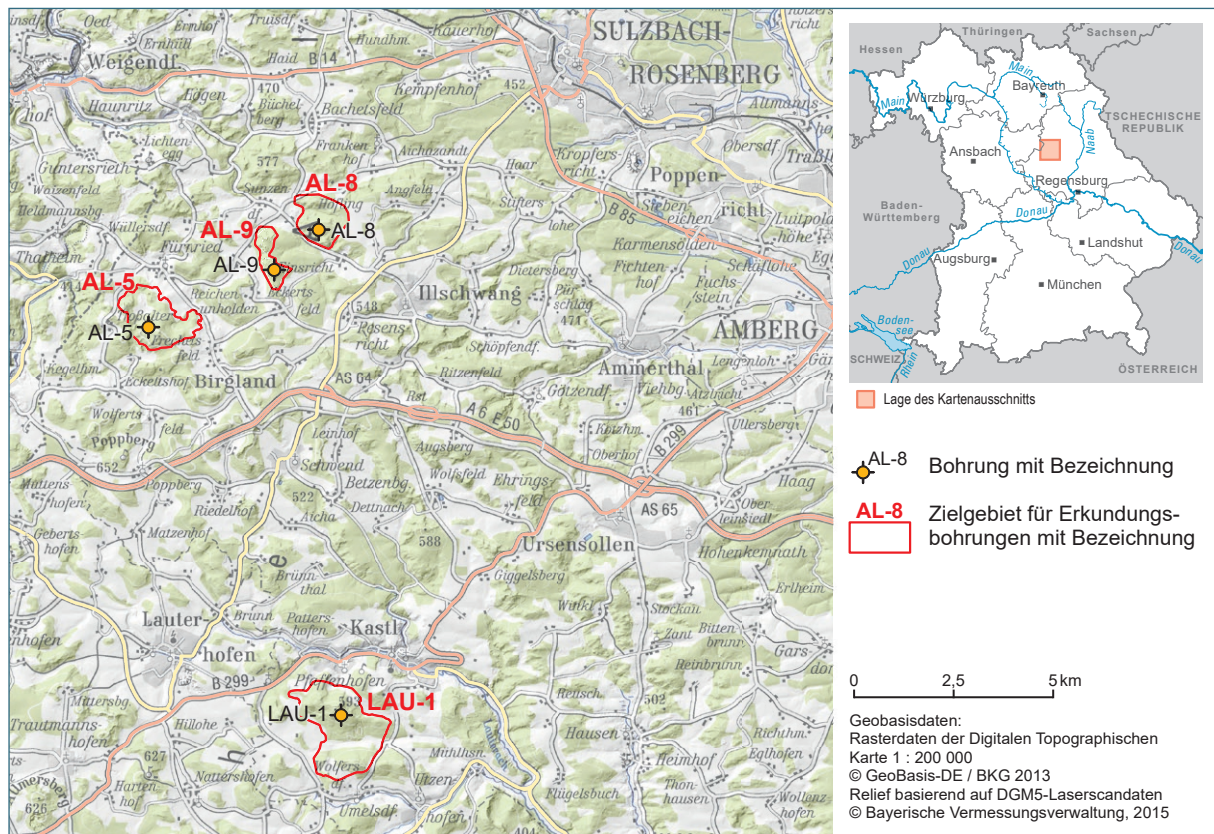


Abb. 26: Übersicht der Lage der Bohrungspunkte LAU-1, AL-9, AL-8 und AL-5.

Die Wahl der Bohransatzpunkte wurde dabei maßgeblich von der Geländemorphologie und der Erreichbarkeit vor Ort beeinflusst. Da sich alle Bohrlokationen in Waldgebieten mit mehr oder weniger starkem Baumbewuchs befanden, trotzdem aber für die Bohrfahrzeuge leicht zugänglich sein sollten, wurde in der Nähe von oder neben Waldwegen gebohrt.

Die Zielgebiete (LAU-1, AL-9, AL-8 und AL-5) für die Bohrungen liegen westlich von Amberg (Abb. 26). Wegen technischer Probleme beim Bohrbetrieb an einer Bohrlokation (AL-5), wurde diese Bohrung doppelt gesetzt (AL-5/1 und AL-5/2). In keiner Bohrung wurde Grundwasser angetroffen. Aufgrund der Lage in einem Karstgebiet gab es in allen Bohrungen massive Spülungsverluste. Durch die verkarsteten Gesteinsverhältnisse konnte nicht in allen Bohrungen die gewünschte Teufe von mehr als 50 m erreicht werden.

3.5.2 Erstellung geologischer Profilschnitte durch die Erkundungsgebiete

Mit Hilfe des Profiltools „Create segmented surface profile“ aus der Toolbox „Cross Section Tools 10.2“ (ArcGIS) wurde im dafür erstellten ArcGIS-Projekt entlang einer gewählten Linie auf der geologischen Karte ein Profil über die Geländeoberfläche durch die Bohrungen erstellt. Es wurde dazu das digitale Höhenmodell Bayerns mit einer Gitterweite von 5 m genutzt. Als Basis für die Darstellung und Berechnung diente die ArcMap-Erweiterung „3D-Analyst“. In der weiteren Bearbeitung wurden Geologie-Daten (dGK25, nach GLA 1961–1962, 1965, 1966, 1968–1969, 1972, 1978–1979, 1978–1979, 1981–1983A) eingebettet. Zur besseren Veranschaulichung wurden die Profile zweifach überhöht dargestellt.

3.5.3 Lithofazielle und petrografische Bohrkernaufnahme

Die gezogenen, gesäuberten und luftgetrockneten Bohrkernproben wurden sedimentpetrografisch beschrieben sowie stratigrafisch eingestuft. Bei der petrografischen Beschreibung wurden Kriterien wie Textur, Gesteinsfarbe, Bankung, sedimentäre und biogene Strukturen mit Hilfe einer 10-fach-Vergrößerungslupe untersucht und beschrieben. Die durchteuften lithostratigrafischen Einheiten sind entsprechend der geologischen Karte (dGK25) angesprochen worden.

Basierend auf diesen Beobachtungen erfolgte die Definition von Fazies-Typen nach der Klassifikation von DUNHAM (1962). Der Dolomitgehalt wurde mit Hilfe von 10-prozentiger Salzsäure abgeschätzt. Basierend auf der Reaktion des Gesteins mit der Salzsäure wurden die Bohrkernabschnitte lithofaziell in Dolomitstein (>95 % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$; sehr geringe Reaktion mit HCl), dolomitischen Kalkstein oder calcitischen Dolomitstein (5–95 % $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$; bräunliche Farbe und schwache bis starke Reaktion) unterteilt, sowie Bereiche mit Kieselknollen gesondert betrachtet.

3.5.4 Gesteinsaufbereitung der Bohrkernproben und deren Analyse

Die mittels Gesteinssäge halbierten Kernstücke der Bohrungen wurden fotografisch dokumentiert und eine Kern-Hälfte mit Backenbrecher und Planetenkugelmühle in Achat-Einsätzen analysenfein zerkleinert (vergleiche Kapitel 3.3). Die jeweils andere Bohrkernhälfte eines Kernstücks verblieb als Rückstellprobe in den Kernkisten und steht für weitere Untersuchungen zur Verfügung.

Zur Abschätzung der Homogenität des Rohstoffes wurden bereichsweise Proben genommen: von längeren Bohrkernstücken wurde die zu beprobende Hälfte eines Kerns zusätzlich längs der Bohrachse geteilt. Ein geviertelter Bohrkern wurde in Abschnitte zerteilt, die jeweils als Einzelproben (gekennzeichnet beispielsweise mit Probe_a usw.) analysiert wurden. Der andere Teil wurde komplett zerkleinert und daraus eine repräsentative Mischprobe (gekennzeichnet mit Probe_H) analysiert.

Die in Stücke von etwa 5–7 cm Kantenlänge zersägten Bohrkernproben wurden im Backenbrecher in jeweils drei Durchgängen mit immer kleiner eingestelltem Abstand der Backen (25 mm, 10 mm, 0 mm) zerkleinert. Zur Reduzierung der Kontamination wurde das Gerät vor und nach jeder Probe gereinigt und jeweils das erste Drittel einer Probe nach erfolgter Zerkleinerung verworfen.

Anschließend wurden 100 g der homogenisierten und fein granulierten Probe in der Planetenkugelmühle in Achat-Einsätzen analysenfein weiter zerkleinert. Dabei wurden im ersten Durchgang fünf große Achatkugeln benutzt und das Gerät mit einer Umdrehung von 320 U/min zwei Minuten lang betrieben. Danach wurde die Probe mit 15 kleinen Achatkugeln weitere vier Minuten bei 260 U/min analysenfein gemahlen.

Geochemische und mineralogische Untersuchungen der Bohrungsproben erfolgten LfU-extern wie in Kapitel 3.3 beschrieben.

3.6 Farbwertbestimmung der pulverförmigen Proben

Da der Rohstoff Dolomitstein zum Beispiel im Rahmen der Papierherstellung für farbsensible Anwendungsbereiche genutzt werden könnte, spielt die von der Reinheit des Gesteins abhängige Farbe (Anwesenheit „färbender“ Kationen) eine wichtige Rolle.

Im Rahmen dieser Studie wurden für die Farbmessungen zunächst alle pulverisierten Gesteinsproben ungebrannt gemessen, um eine schnelle und unkomplizierte Analysenmethode zu prüfen. Es sollte dabei die Möglichkeit für eine einfache und schnelle Klassifikation des Rohstoffes ohne geochemische Analyse getestet werden. Für die Korrelation der ermittelten Farbkennwerte mit den Analyseergebnissen der Geochemie eignen sich besonders färbende Kationen wie Fe^{3+} oder Mn^{2+} . Dazu wurden geochemische Gehalte optisch färbender Kationen auf etwaige Korrelation mit Farbwerten überprüft. Die Proben der Detailerkundung wurden zusätzlich mit einem Aufheizkoeffizienten von 15 K/min auf 1050 °C bei oxidierender Atmosphäre im Kammer-Ofen bei einer Haltezeit von 60 Minuten in Porzellan-GlühSchälchen gebrannt. Anschließend wurden die Farbwerte ($L^*a^*b^*$ -Wert) gemessen. Nach der Messung wurden die Ergebnisse der gebrannten mit denen ungebrannten Bohrkern-Proben verglichen und das Pulver fotografiert, um die Farbunterschiede festzuhalten. Dieses Vorgehen soll zeigen, ob das Brennen der Proben einen Einfluss auf das Ergebnis der Farbmessungen hat.

An den analysenfein aufgemahlene Proben wurden Weißgrad-, Rotwert- und Gelbwertmessungen durchgeführt. Für die Bestimmung der Farbkennwerte wurde ein Weißgradmessgerät (Spektralphotometer, Modell SP60 der Firma X-Rite) im LfU-Rohstofflabor eingesetzt. Um die Abhängigkeit der Helligkeit einer Substanz von seiner Korngröße zu minimieren, erfolgten die Messungen an einheitlich aufgemahlene Proben (identische Korngröße, das heißt analysenfein, $<60 \mu\text{m}$), jeweils an einem mit glattgestrichenem Gesteinsmehl randlos gefüllten, runden Präparateträger. Die Bestimmung erfolgte unter Normlicht D65/10. Es wurden nach DIN 5033-3 (1992) drei verschiedene spektrale Empfindlichkeitsfunktionen gemessen, die sich zur Farbvalenz zusammensetzen, um vergleichbare und objektive Werte zu erhalten.

Farbwerte und Weißgrade können in verschiedenen Farbräumen angegeben werden. Im vorliegenden Erkundungsbericht kommt das standardmäßig eingesetzte System des CIE-L*a*b*-Farbraums (CIE-Normvalenzsystem) zur Anwendung. Dabei wird jede Farbe des Farbraumes durch ein Zahlentripel mit Normfarbwerten beschrieben. Der Farbraum wird durch eine Kugel mit drei Achsen dargestellt (Abb. 27). Hier beschreibt die Z-Achse L^* die Helligkeit; die X-Achse a^* den Rot-/Grünwert und die Y-Achse b^* den Gelb-/Blauwert. Ein absolutes Weiß hat einen Wert von $L^* = 100$, ein absolute Schwarz entspricht $L^* = 0$. Diese beiden Punkte sind die eindeutig definierten Endpunkte der Hellig-

keitsachse L^* . Im Koordinatenursprung liegt der sogenannte Unbuntpunkt (achromatischer Punkt, $L^* = 50$), hier liegt das grauest mögliche Grau (EICHLER o.J.). Die Farbachsen stehen senkrecht zur Helligkeitsachse. Nach außen hin nimmt die Sättigung einer Farbe zu (MOSHAMMER & LOBITZER 1999).

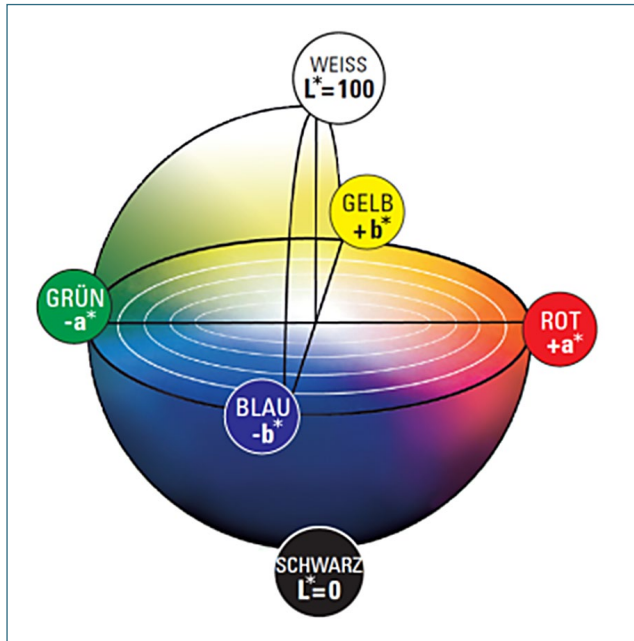


Abb. 27: Darstellung des Systems des CIÉ- $L^*a^*b^*$ -Farbraums: Der L^* -Wert wird durch die vertikale Achse dargestellt. Die a^* - und b^* -Werte liegen auf der horizontalen Ebene. Verändert nach EICHLER (O. J.).

Eine von den Farbräumen unabhängige Kenngröße ist der Gelbwert. Dieser dient der Quantifizierung der „Gelbstichigkeit“ weißer Proben. Er wurde ursprünglich für die Messung der Vergilbung von Papier definiert. Positive Vorzeichen geben die zunehmende Sättigung von Gelb, negative Vorzeichen die zunehmende Sättigung von Blau wieder (MOSHAMMER & LOBITZER 1999).

3.7 Geophysikalische Erkundung mittels hochauflösender Geoelektrik

Der Informationsgewinn aus einem Bohrprofil hat in einem komplexen geologischen Terrain nur eine sehr lokale Aussagekraft. Zur besseren Abschätzung der Rohstoffmächtigkeiten sowie der Verkarstung im Untersuchungsgebiet, wurde daher eine geophysikalische Erkundungsmethode in der Nähe der Bohransatzpunkte eingesetzt. Zur geophysikalischen Erkundung des geologischen Aufbaus für die Ermittlung der Bauwürdigkeit des Untergrundes wurden im November 2018 geoelektrische Messungen in den Untersuchungsgebieten im Bereich der Orte Alfeld/Birgland/Illschwang sowie Kastl/Lauterhofen durchgeführt. Für die spätere Interpretation der Daten wurde für jedes Zielgebiet ein hochaufgelöstes digitales Höhenmodell aus Laserscan-Daten, das sogenannte DGM-1 des LfU, in Form von ASCII-Grid-Daten genutzt.

Verwendete Geräte und Hilfsmittel bei der Durchführung der geoelektrischen Messung

Eine externe Firma führte die Messungen in einer dreitägigen Messkampagne durch. Sie übernahm die Auslage der Messelemente, die Durchführung der Messung sowie die Interpretation der Messergebnisse. Es wurden insgesamt fünf Profile von je 500 m, also mit einer Gesamtlänge von insgesamt 2.500 m, mit einer hochauflösenden geoelektrischen Multielektrodenapparatur gemessen (Abb. 28, Abb. 29, Abb. 30 und Abb. 31). Geologische Strukturen im Untergrund sind oft engräumig zwei- und dreidimensional komplex. Eine geoelektrische Tomografie (Earth Resistivity Tomography ERT) bezeichnet Gerätesysteme und Interpretationsverfahren, die aus einer großen Anzahl geoelektrischer

Messungen durch zwei- oder dreidimensionale unterirdische Leitfähigkeitsstrukturen fein diskretisierte Schnittbilder anfertigen (FUSS & MADER 2018). Mittels geoelektrischer Multielektrodenmessungen erfolgte die Erkundung mit einem Elektrodenabstand von 5 m. Eine Wenner-Anordnung wurde als Messkonfiguration ausgewählt. Bei Feststellung eventueller Modellunsicherheiten wurden in Einzelbereichen ergänzend weitere Messungen (in Wenner- und in Dipol-Dipol-Anordnung) durchgeführt. Diese wurden als zusätzliche Informationen für die Auswertung herangezogen. Bereits während des Messablaufes im Gelände wurden die aufgenommenen scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstände der Profilsektionen auf ihre Datengüte hin kontrolliert und optimiert. Vor Ort wurden die Profile mittels GPS eingemessen (FUSS & MADER 2018). Das LfU stellte digitale Geländemodelle bereit, sodass eine Höhenkorrektur der Inversionsmodelle vorgenommen werden konnte. Mit Algorithmen für zweidimensionale Untergrundstrukturen (Vorwärts- und Inversionsverfahren) wurden die aufbereiteten Daten interpretiert. Diese Interpretation beruht zum einen auf den vom LfU zur Verfügung gestellten Bohrprofilen (Bohrungen LAU-1, AL-8, AL-9, AL-5/1 und AL-5/2) zur Kalibrierung der Interpretation und zum anderen auf der zweidimensionalen Verteilung der spezifischen elektrischen Widerstände aus der Inversionsberechnung. Diese stellen die lokalen geologischen Verhältnisse dar (FUSS & MADER 2018).



Abb. 28: Auslage der Kabel für die Messung.



Abb. 29: Einbringen der Elektroden in den Untergrund.



Abb. 30: Durchführung der Geoelektrik-Messung entlang eines Waldweges.



Abb. 31: Prozessieren der Messdaten am angeschlossenen Gelände-PC.

Dreidimensionale Darstellung der Geoelektrik-Profile

Die dreidimensionale Darstellung der geoelektrischen Profile wurde in dem Programm Skua (Paradigm) realisiert. Dazu wurde jeweils ein Bereich der Zielgebiete an den geoelektrischen Profillinien entlang aus dem digitalen Höhenmodell ausgeschnitten und die gemessenen Profile auf der Höhe der Messprofilinien vertikal darin eingehängt, sodass die Geländeoberkante des Höhenmodells mit der der Profile übereinstimmt. Die Profile ragen von der Geländeoberfläche etwa 50 m tief in den Untergrund hinein.

3.8 Abschätzung des Rohstoffpotenzials

Auf Basis aller ermittelten Daten (Feldarbeit, Bohrkampagne, geoelektrische Messungen) wurden digitale 3D-Modelle der Zielgebiete erstellt, auf deren Grundlage eine möglichst genaue Charakterisierung der untersuchten Dolomitstein-Vorkommen und Berechnung der theoretisch gewinnbaren Vorräte durchgeführt wurde. Für die digitale Bearbeitung kam die Software „ArcMap“ (ArcGIS) der Firma ESRI zum Einsatz. Es wurden hochaufgelöste Laserscandaten für das digitale Geländemodell (DGM-1) verwendet.

Berechnung der potenziellen Gesamtgesteinsmenge im Zielgebiet (bis Erkundungstiefe von 50 m):

Der Dolomitstein der Frankenalb kann Mächtigkeiten von über 100 m erreichen (vergleiche Kapitel 2.3.1). Aufgrund der mit steigender Teufe zunehmend lückenhaften Informationen zu der Gesteinsqualität in den Zielgebieten, wurde die zur Kalkulation verwendete Basisteufe relativ konservativ gewählt: Da durch die vorliegenden Untersuchungen die Rohstoffkörper nur bis in eine Teufe von maximal 50 m erkundet werden konnten (Bohrungen und Geophysik), wurde für die Berechnung der wahrscheinlich vorhandenen Rohstoffmengen diese Teufe als untere Grenze festgelegt. Die Rohstoffkubaturen wurden daher über den Zuschnitt des digitalen Geländemodells mit dieser gedachten, unteren Grenze des Rohstoffkörpers berechnet. Diese Liegend-Grenze liegt jeweils 50 m unterhalb des jeweiligen Bohransatzpunkts.

Über die ArcMap-Erweiterung „3D-Analyst“ wurde nun mit dem Werkzeug „Oberflächenvolumen“ das Volumen des jeweiligen Rohstoffkörpers eines Zielgebiets ermittelt, das zwischen Geländeoberfläche und gesetzten Untergrenze (Liegend-Grenze) vorhanden ist. Daraus resultiert ein theoretisches Gesteinsvolumen, das laut geologischer Karte und Erkundungsergebnissen dieser Studie wahrscheinlich vorhanden ist. Dieses Volumen wird für weitere Berechnungen verwendet.

Berechnung der Gesamtgesteinsmenge abzüglich eines angenommenen Abraums:

Es wird angenommen, dass unter einer geringen Überdeckung überlagernder Erdschichten (Humus, Streu, Alblehm oder Unterkreide) Dolomitstein ansteht. Daher wurde das vorher berechnete potenzielle Gesamtgesteinsvolumen um ein theoretisches Abraumvolumen von 10 % korrigiert (abgezogen). An den Rändern der jeweiligen Gebiete muss zusätzlich ein Böschungswinkel beachtet werden, der je nach Teufe, Gesteinsfestigkeit und abhängig von künftigen Abbaumethoden variabel ausgebildet sein kann und deswegen in diesen Berechnungen unberücksichtigt bleibt.

Berechnung des nutzbaren Rohstoffinhalts je Zielgebiet:

Für die Berechnung der Gesteinskubaturen wurden die geoelektrischen Profile als Modellgrundlage verwendet. Die Profile erstrecken sich jeweils über einen kleinen Teil der Zielgebiete und bilden lediglich eine maximale Länge von 500 m bei einer Eindringtiefe von maximal 50 m ab. Für eine genauere Abschätzung der Mengen des potenziellen Rohstoffs wurde eine visuelle Bildanalyse der geoelektrischen Profile vorgenommen. Über die Widerstandsmessung der Geoelektrik kann jedoch (auf Grundlage der Durchfeuchtung) nur auf die Beschaffenheit des Gesteins, nicht aber auf geochemische Gehalte geschlossen werden. Es wird daher nur angezeigt, ob in diesem Bereich festes Gestein oder eine Zersetzzone vorhanden ist. Einzelne, sehr kleine Klüfte können nicht abgebildet werden.

Alle laut Widerstandsmessung im Profil als kompakt dargestellten, nicht zersetzten Gesteinspartien (gelbe und rötliche Farbtöne, ab etwa 500 Ohm*m) wurden von solchen Gesteinspartien mit höheren

Zersetzungsgraden (grüne und blaue Farbtöne in der elektrischen Widerstandsmessung) getrennt. Anschließend wurden die entsprechenden Bereiche der Profile mit einem Bildbearbeitungsprogramm jeweils gleichmäßig eingefärbt und die Pixelanzahl von Gesamtprofil, Festgestein und Zersatzzone über die Funktion „Anzeigen der Farbinformation des Bildes als Histogramm“ ermittelt. Über das Verhältnis mit der Gesamtpixelanzahl des Profils wurde der angenommene Festgesteinsanteil im Gesamtgestein des jeweiligen Profils ermittelt und als repräsentativ für das jeweilige Gebiet angesehen.

Berechnung des Wertstoffanteils im Gesamtgestein:

Die Angaben zum jeweiligen Rohstoffinhalt des Einzelvorkommens stellt eine Hochrechnung dar, die auf Grundlage von Einzelwerten extrapoliert wurde. Die Dolomitisierung des Gesteins kann durchaus unregelmäßig erfolgt sein und sich in rascher Abfolge ändern. Unter der Annahme, dass der Rohstoff im gesamten Zielgebiet ähnlich ausgebildet ist und als einheitlicher reiner Dolomitstein vorliegt, wurde mit der Dichte des Dolomitsteins über die Rohstoffmenge (in m³) eine theoretische Tonnage berechnet.

Ermittlung der Dichte des Dolomitgesteins im Untersuchungsgebiet:

Die Dichte des reinen (porenfreien) Minerals Dolomit wird mit 2,86 g/cm³ angegeben (DEER , HOWIE & ZUSSMAN 1980). Nicht poröser, reiner Kalkstein weist eine Dichte von 2,71 g/cm³ auf. Dies gilt jedoch für nahezu porenfreie Gesteine, während eine hohe Porosität geringere Dichten zur Folge hat (SOBOTT & KOCH 2018). Um eine möglichst realistische Berechnung durchführen zu können, wurden die Dichte nach DIN 1936:2006 an 39 Prüfyndern bestimmt, die aus den Festgesteinsbereichen der fünf Kernbohrungen stammen.

4 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden alle in dieser Studie ermittelten Ergebnisse und Berechnungen dargestellt. Aus der Vorerkundung ergeben sich die Gebiete für die Detailerkundung mittels Kernbohrung. Mit Hilfe der Bohrungen wurden die geophysikalischen Messungen geeicht, die anschließend für die Berechnung der Kubatur wichtig waren. Dieses wird am Ende des Kapitels beschrieben.

4.1 Ergebnisse der Vorerkundung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Voruntersuchungen beschrieben, aus deren Befunden die weitere Vorgehensweise für die Detailerkundung resultiert.

4.1.1 Ergebnisse der Geochemie

Alle untersuchten Proben der Vorerkundung stammen aus der Weißjura-Gruppe. Diese umfasst die Rifffazies (Massenfazies) der Frankenalb-Formation sowie die dolomitisierte Schichtfazies der Mittleren Frankenalb (Pottenstein-Formation).

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass in keinem der untersuchten Gebiete ein hochreiner Dolomitstein ansteht (Tab. 2 und Abb. 32, vergleiche dazu Tab. 21 im Anhang). In zwei Gebieten (AL-5 und BET-4) fiel lediglich ein einziger Wert (Fe_2O_3) in Kategorie II, sodass Kategorie I knapp verfehlt wurde. In den anderen Fällen konnten mindestens zwei Parameter die Kriterien für Kategorie I nicht erfüllen. Dabei handelte es sich oft um SiO_2 und Al_2O_3 . 28 Gebiete erreichten die zweitbeste Einordnung (Tab. 2, Tab. 21 und Abb. 32).

Nicht mehr Bestandteil der weiteren Prüfschritte sind Untersuchungsgebiete, die im Rahmen der Vorerkundung (vergleiche Kapitel 3.4) als Kategorie III (29 Gebiete) und Kategorie IV (8 Gebiete) klassifiziert wurden. In den meisten Fällen sind zu hohe Gehalte an SiO_2 , $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ oder Al_2O_3 maßgebend. Zusätzlich kommen zum Teil zu hohe CaO- beziehungsweise zu geringe MgO-Gehalte dazu.

Tab. 2: Kategorisierung der Vorerkundungsgebiete nach Geochemie. Die Abkürzungen stehen für die untersuchten Gebieten und sind nach markanten Punkten oder Ortschaften benannt.

Zielgebiete	Qualitätskategorie I (Kat. I)	Qualitätskategorie II (Kat. II)	Qualitätskategorie III (Kat. III)	Qualitätskategorie IV (Kat. IV)
Alfeld		AL-2, AL-4, AL-5, AL-6, AL-7, AL-8, AL-9	AL-1, AL-3	
Auerbach in der Oberpfalz		AU-9	AU-1	AU-3, AU-4, AU-7, AU-8
Betzenstein		BET-4	BET-1, BET-2, BET-6, BET-7, BET-8, BET-9	BET-5
Hersbruck		HER-2, HER-3	HER-1, HER-4,	
Kastl		KAS-3, KAS-5, KAS-7, KAS-9, KAS-12, KAS-13, KAS-14	KAS-1, KAS-2, KAS-4, KAS-6, KAS-8, KAS-10, KAS-11	
Lauterhofen		LAU-1, LAU-3		LAU-2
Pommelsbrunn		PO-7, PO-9, PO-11, PO-12, PO-14	PO-1, PO-2, PO-3, PO-4, PO-5, PO-6; PO-10; PO-13	
Sulzbach-Rosenberg		SURO-2, SURO-3, SURO-8	SURO-5, SURO-6, SURO-7	SURO-1, SURO-4

Im Anhang befindet sich eine Probenliste mit den jeweiligen Probenahmepunkten (Tab. 19). Eine detaillierte Auflistung der geochemischen Analyseergebnisse aller 335 Vorerkundungsproben ist einer weiteren Tabelle im Anhang zu entnehmen (Tab. 20).

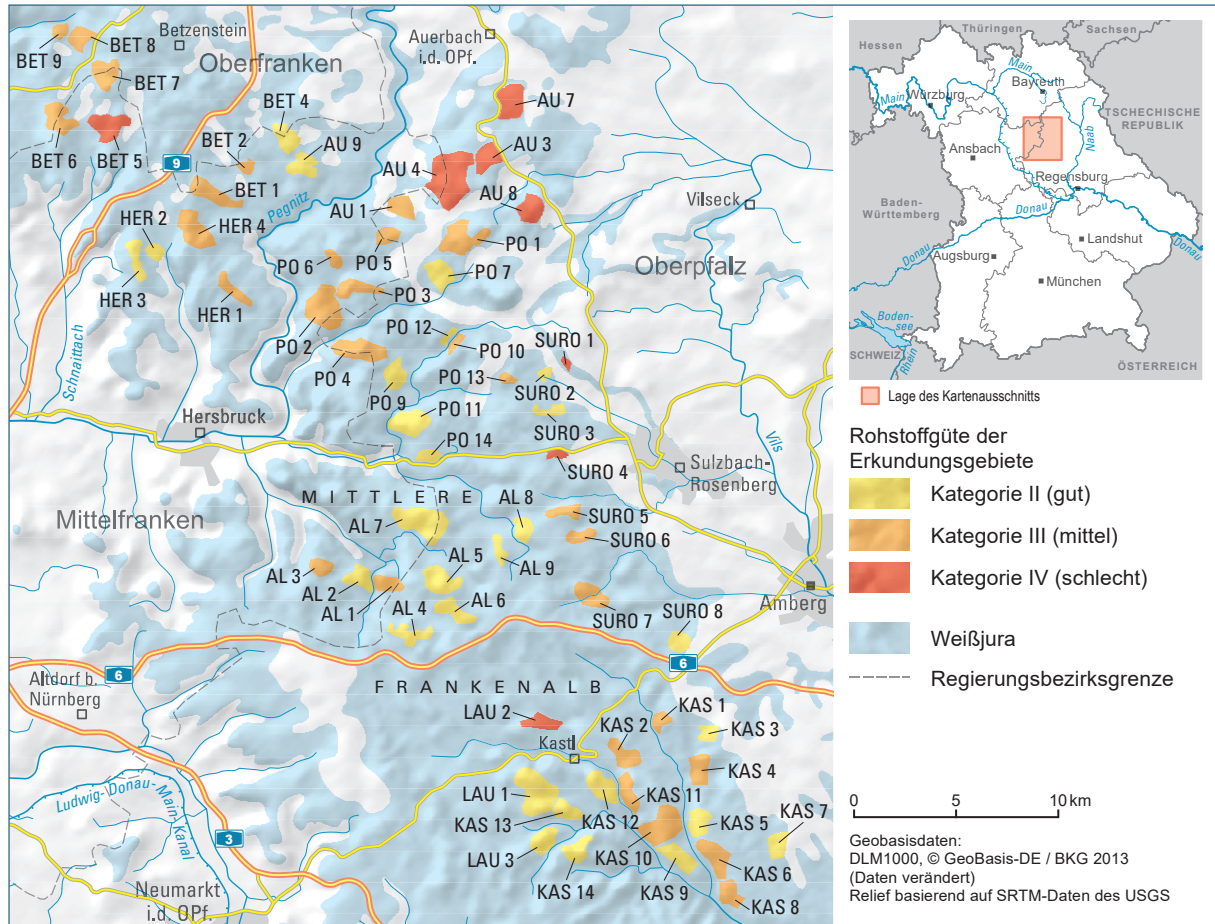


Abb. 32: Bewertung und Einstufung der 65 Erkundungsgebiete anhand der Vorerkundungsproben in Kategorie II, III und IV.

Ein linearer Zusammenhang zwischen der Höhe über NN und der Zusammensetzung des Dolomits besteht nur für einige der Nebenelemente (zum Beispiel Fe, Al, Si; Tab. 3). Für diese Oxidelemente ist eine Zunahme mit fallender Höhe über NN feststellbar (Tab. 3). Die Hauptelemente Ca und Mg, beziehungsweise deren Oxide, zeigen höhenunabhängig ein unspezifisches und relativ enges Wertespektrum (Abb. 33 und Tab. 3).

Tab. 3: Durchschnittliche Oxidgehalte der Vorerkundungsproben sortiert nach Höhenlagen.

Höhe über NN [m]	SiO ₂ [Gew.-%]	Al ₂ O ₃ [Gew.-%]	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%]	MgO [Gew.-%]	CaO [Gew.-%]
550–625	0,33	0,25	0,13	20,10	31,88
475–550	0,46	0,25	0,15	19,99	31,86
400–475	0,59	0,30	0,18	20,18	31,59

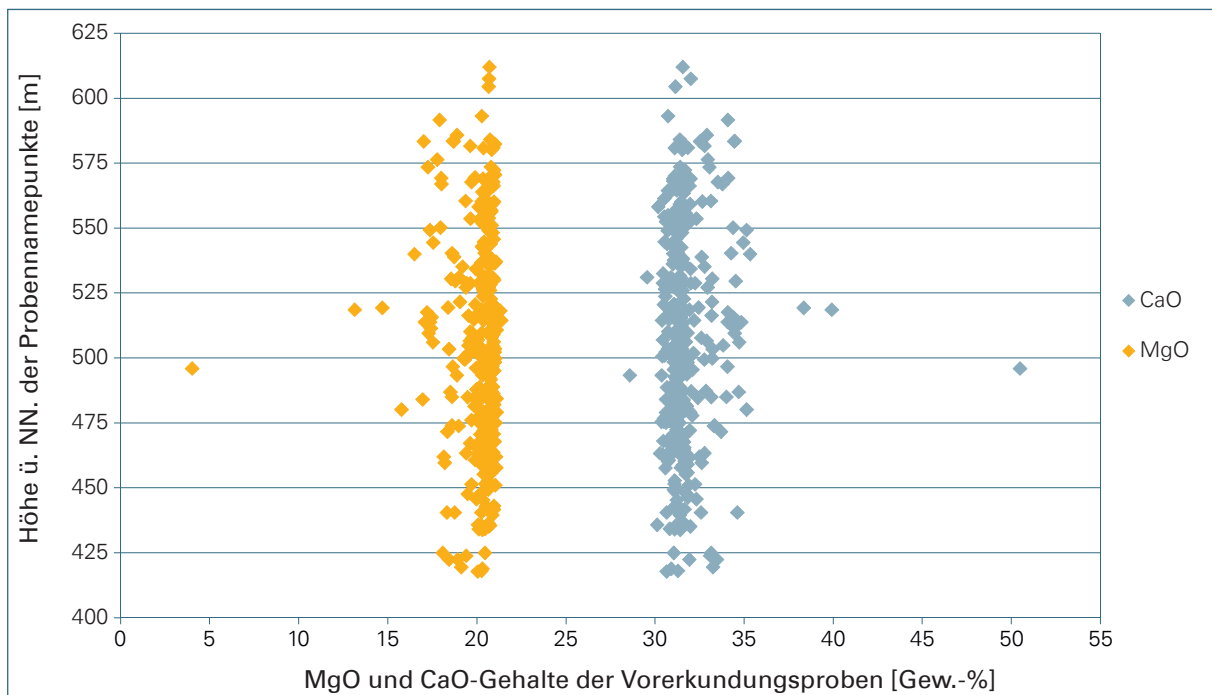


Abb. 33: Dargestellt sind die MgO- und CaO-Gehalte der Vorerkundungsproben in Relation zur Höhenlage.

4.1.2 Ergebnisse der Mineralogie

Die mittleren mineralogischen Zusammensetzungen der Vorerkundungsproben aller Erkundungsgebiete verdeutlichen eine relativ homogene Zusammensetzung des untersuchten Dolomitgesteins (Abb. 34). Die 335 Gesteinsproben der Vorerkundung bestehen mineralogisch im Mittel aus etwa 98 % Dolomit, 2 % Calcit und 0,1 % Quarz. Der Quarz kann sowohl diagenetisch entstanden sein (Opal), als auch von detritischem Eintrag stammen. 230 Proben beinhalten mehr als 99,0 % Dolomit, 112 Proben bestehen aus 100 % Dolomit.

In Anlehnung an die Klassifikation von Carbonatgesteinen nach FROLOVA (1959) sind die analysierten Proben überwiegend als Dolomit beziehungsweise leicht calcitischer Dolomitstein einzustufen (Abb. 34). 301 Proben zählen als Dolomit, lediglich 34 Proben besitzen weniger als 95 % Dolomit. 30 Proben zählen zu leicht calcitischem Dolomit. Nur wenige Proben (4) sind als calcitischer Dolomit sowie als dolomitischer Kalkstein einzustufen. Tonminerale wie Kaolinit sind in diesen Proben instrumentell nicht nachgewiesen worden.

Nach stöchiometrischer Auswertung aller Proben (mit Ausnahme zweier Ausreißer dolomitischen Kalksteins), kann für den Untersuchungsraum eine mittlere molekulare Zusammensetzung der Dolomit-Mineralen von ca. 51,2 zu 48,8 [Mol.-%] MgCO_3 zu CaCO_3 angegeben werden ($n = 335$; Standard-Abweichung = 1,5). Es handelt sich demnach bei allen Proben mineralogisch um einen Mg-Dolomit mit geringen, unsystematischen Abweichungen innerhalb und zwischen den Untersuchungsgebieten. Bei den sporadisch auftretenden Calciten handelt es sich um fast reine Minerale mit einer Zusammensetzung von ca. 98 zu 2 [Mol.-%] CaCO_3 zu MgCO_3 („schwacher“ Mg- Calcit, $n = 40$; Standard-Abweichung = 1,4). Andere Mineralphasen wurden röntgenografisch nicht identifiziert, beziehungsweise sie lagen unter der Nachweisgrenze.

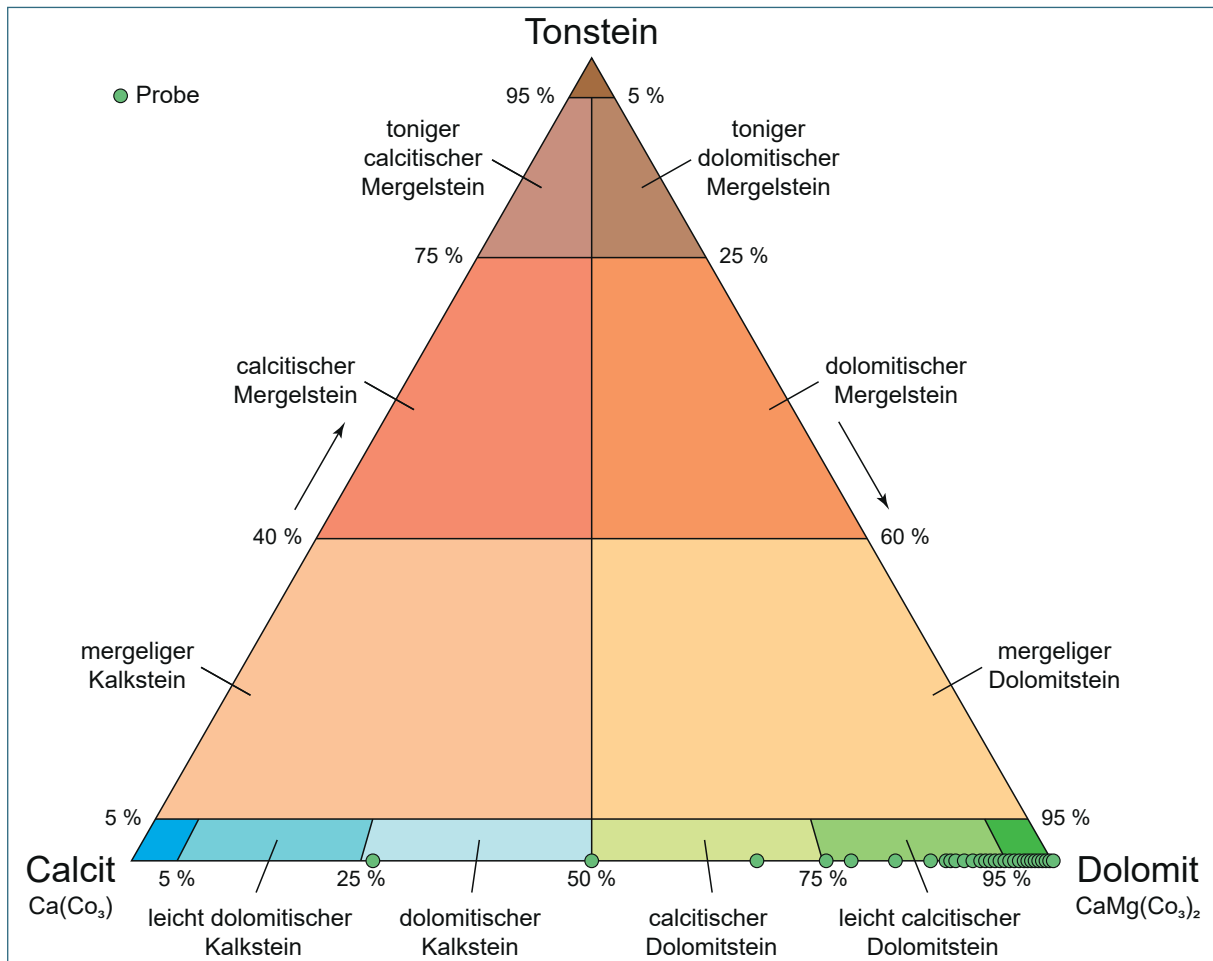


Abb. 34: Klassifizierung von Carbonatgesteinen auf Basis von Calcit, Dolomit und Tonmineralen, verändert nach FROLOVA (1959) und VOLA et al. (2013).

4.1.3 Auswahl der Erkundungsgebiete und Bewertung nach Raumordnungskriterien

Die Ergebnisse der Auswahl und Bewertung (vergleiche Kapitel 3.4 und Tab. 18 im Anhang) der elf am besten geeigneten Erkundungsgebiete (aus Kategorie II und mit einer theoretischen Maximalmächtigkeit von mehr als 40 m) sind in Tab. 18 im Anhang dargestellt. Die Gebiete wurden hinsichtlich möglicher Restriktionen (konkurrierender Nutzung), unter Berücksichtigung der infrastrukturellen Gegebenheiten (RISBY- und BIS-Abfrage, Stand Dezember 2018) sowie der Flächengröße der einzelnen Areale bewertet. Entsprechend dieser Bewertungsmatrix wurden die Gebiete AL-5, AL-9, AL-8 und LAU-1 für eine Detailerkundung ausgewählt. Pro Zielgebiet sollte jeweils eine Bohrung, die den gesamten Rohstoffkörper durchörtert, abgeteuft werden.

4.2 Ergebnisse der Rohstoff-Bohrungen

In diesem Kapitel werden die Resultate der Bohrkernuntersuchungen der fünf Bohrungen (AL-8, AL-9, LAU-1, AL-5/1 und AL-5/2) dargestellt. Die Einschränkung auf diese vier Gebiete ergab sich aus den Beurteilungen der Proben der Voruntersuchungen (vergleiche Kapitel 4.1.3). Die gezogenen Bohrkern wurden zunächst in das Bohrkernlager des LfU gebracht, geologisch aufgenommen und interpretiert. Nach Dokumentation im Bodeninformationssystem (BIS), wurden die Bohrkern nach Höhe ihrer Bohransatzpunkte korreliert und ihre jeweilige Rohstoffqualität (unter Berücksichtigung der Geochemieergebnisse) bewertet. Im Kapitel 4.2.1 werden die einzelnen Bohrkern detailliert beschrieben.

4.2.1 Bohrkernaufnahme der Rohstoff-Bohrungen und Detailansichten der Bohrkern mit Betrachtung deren Geochemie-Ergebnissen

Im Folgenden werden die einzelnen Bohrungen jeweils detailliert beschrieben sowie Geochemieergebnisse aufgezeigt. Einzelwerte der geochemischen und mineralogischen Analysen sind den Tabellen im Anhang zu entnehmen (Tab. 23, Tab. 24 und Tab. 28).

Bohrung AL-5/1

In der Bohrung AL-5/1 (Abb. 35) folgt auf eine Mutterbodenauflage von etwa 50 cm ein rötlichbraun bis ockerfarbener Bereich sandig grusigen Materials, bevor bei 3 m der erste Kern an dolomitisiertem Carbonatgestein erbohrt wurde. Diese Bohrung ist geprägt von hohem Kernverlust (Karsthohlräume) bis zur Endteufe von 22 m. Lediglich zwischen 6,5 und 8 m wurde festes Gestein erbohrt. Hier wurde, bei neun Proben insgesamt, eine Mischprobe von einem Kernstück mit vier Einzelproben genommen. Die beprobten Teilstücke der Bohrung weisen eine relativ gute Qualität des Rohstoffes auf.

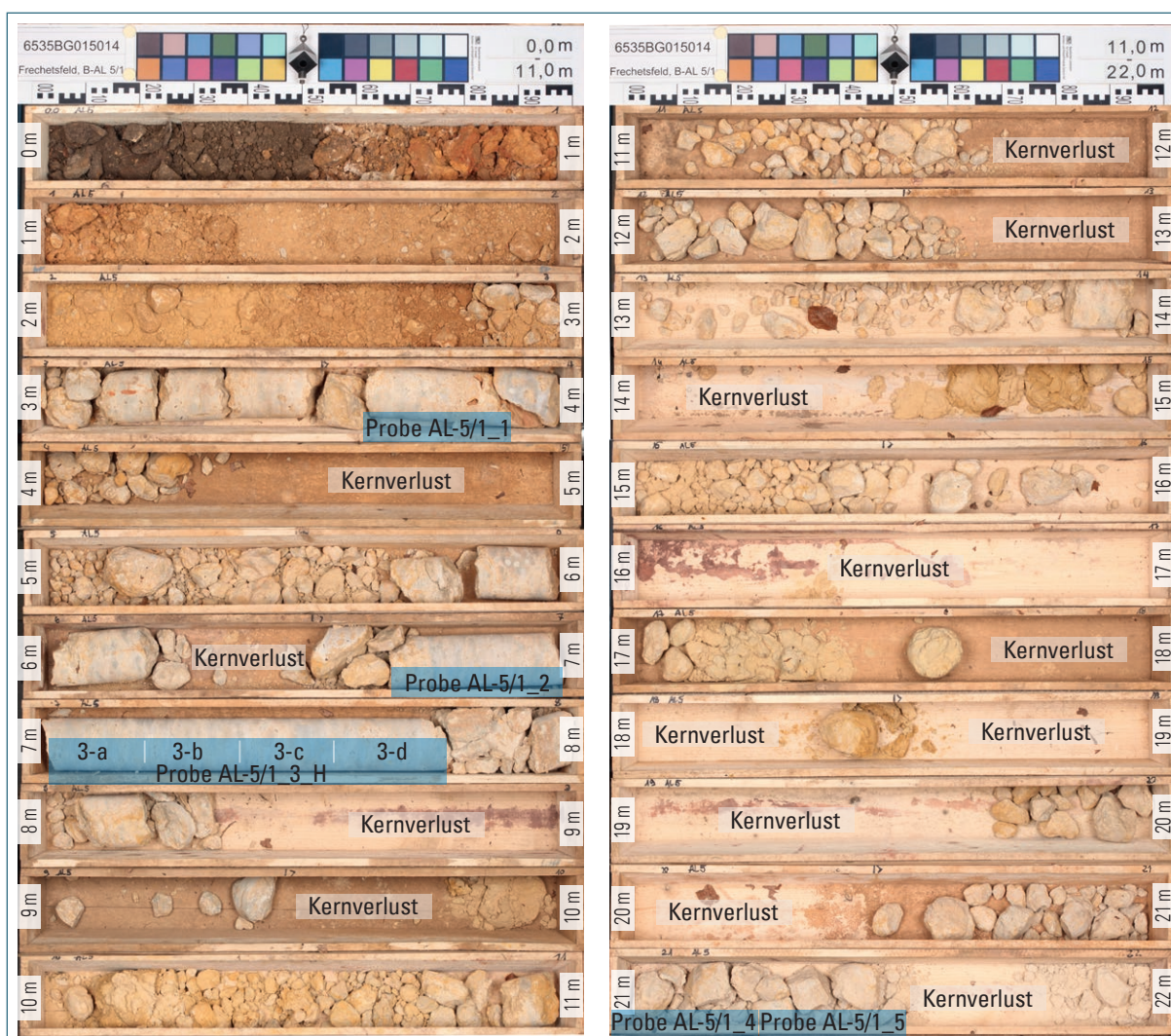


Abb. 35: Bohrkern der Bohrung AL-5/1

Bei den vorhandenen Kernstücken zeigen sich partielle Lösungsstrukturen, an deren Rändern sich ein rötlichbrauner Saum abgesetzt hat (Abb. 36A und B). Das kompakte, dunkelgraue Gestein hat einen Farbstich ins bläuliche und ist von hellbeigem, stark porigen Partien durchsetzt.

Insgesamt liegt das CaO/MgO-Verhältnis bei 1,59. Die MgO-Gehalte sind im Mittel mit 20,3 Gew.-% MgO sehr gut und liegen mit einer Ausnahme (18,8 Gew.-%) innerhalb der Grenzen eines HPD Kategorie I. Die CaO-Gehalte sind mit 32,3 Gew.-% (maximal 33,86 und minimal 31,23 Gew.-%) CaO geringfügig zu hoch und liegen damit überwiegend in Kategorie III. Auffällig ist, dass die SiO₂-Gehalte dieser Bohrung mit durchschnittlich 0,06 Gew.-% (maximal 0,34 und minimal 0,01 Gew.-%) sehr gering sind und fast alle (bis auf eine Probe im oberen Bereich von Kategorie II) zu Kategorie I gezählt werden können. Solch geringe SiO₂-Werte wurden nur noch im oberen Bereich der benachbarten Bohrung (AL-5/2) gemessen. Auch die Gehalte von Al₂O₃ sind mit durchschnittlich 0,27 Gew.-% (maximal 0,37 und minimal 0,13 Gew.-%) Al₂O₃ relativ gering und verpassen im Mittel nur knapp die Kriterien für einen HPD. Das Oxid Fe₂O₃(T) liegt (mit Ausnahme der ersten Probe dieser Bohrung mit 0,45 Gew.-% Fe₂O₃(T), die in Kategorie III einzuordnen ist und den Mittelwert auf 0,2 Gew.-% verschlechtert) im Durchschnitt mit 0,17 Gew.-% (maximal 0,24 und minimal 0,14 Gew.-%) Fe₂O₃(T) im Bereich eines PD Kategorie II.

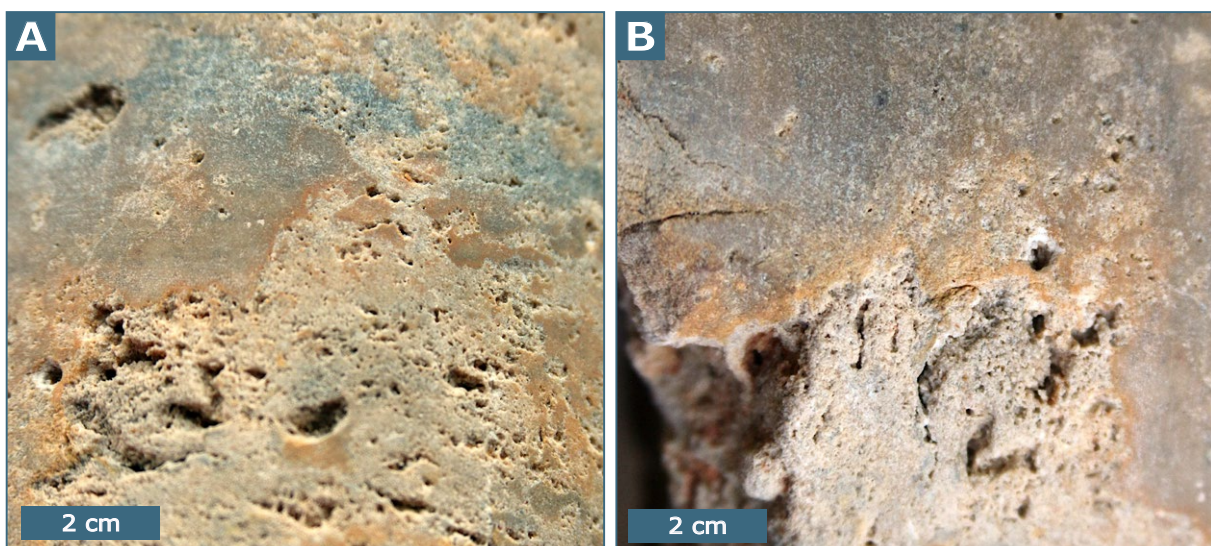


Abb. 36: Detailaufnahme von Gestein der Bohrung AL-5/1.

Bohrung AL-5/2

In der Bohrung AL-5/2 (Abb. 37 und Abb. 38) folgen auf eine Mutterbodenauflage von 1 m etwa 4 m rötlichen Lehms, bevor nach massivem Kernverlust bei 7 m die ersten Gesteinsstücke eines dolomitisierten Carbonatgesteins erbohrt wurden. Bei 22,5–23,0 m befindet sich eine Einschaltung orange-farbenen, sandig-schluffigen Materials. Zwischen 26,5 und 30,5 m befinden sich festere Kernstücke eines dolomitisierten Carbonatgesteins. Es folgt nach Kernverlust eine Einschaltung eines orange-farbenen Lockergesteins zwischen 33 und 34 m sowie zwischen 36 und 37 m. Erst ab 40 m bis zur Endteufe bei 46 m konnten feste und nahezu komplette Kerne eines dolomitisierten Carbonatgesteins erbohrt werden. Das Gestein scheint hier relativ homogen zu sein. Es ist an vielen Stellen von kleinen Kristallen durchsetzt, die in feinporigen Bereichen liegen (Abb. 39). Bei dieser Bohrung wurden in unteren Bereich der Bohrung vier Mischproben von vier Kernstücken mit jeweils zwei bis fünf Einzelproben (also insgesamt 12 Einzel- und vier Mischproben) genommen.

Das CaO/MgO-Verhältnis liegt in den Proben dieser Bohrung insgesamt bei 1,69. Es fällt jedoch auf, dass es im oberen Bereich der Bohrung (Proben 1–10) bei 1,51 und im unteren Bereich (Proben 11–15) bei 1,79 liegt. Die MgO-Gehalte sind im Mittel im oberen Bereich mit 20,85 Gew.-% MgO (maximal 21,14 und minimal 20,38 Gew.-%) sehr gut und liegen innerhalb der Grenzen eines HPD Kategorie I. Im unteren Bereich sind sie mit durchschnittlich 18,90 Gew.-% (maximal 20,14 und minimal 18,11 Gew.-%) deutlich schlechter und liegen in Kategorie IV. Bei den CaO-Gehalten zeigt sich ebenfalls eine solche Zweiteilung: im oberen Bereich sind die Werte sehr gut, mit 31,50 Gew.-% (maximal 32,60 und minimal 31,11 Gew.-%) CaO, sodass sie fast alle (bis auf eine Probe im unteren Bereich, die zu Kategorie III zählt) der Kategorie I zugeordnet werden können. Im unteren Bereich dagegen liegen die CaO-Gehalte im Mittel bei 33,75 Gew.-% (maximal 35,12 und minimal 32,19 Gew.-%) CaO, dies entspricht einem TD der Kategorie III.

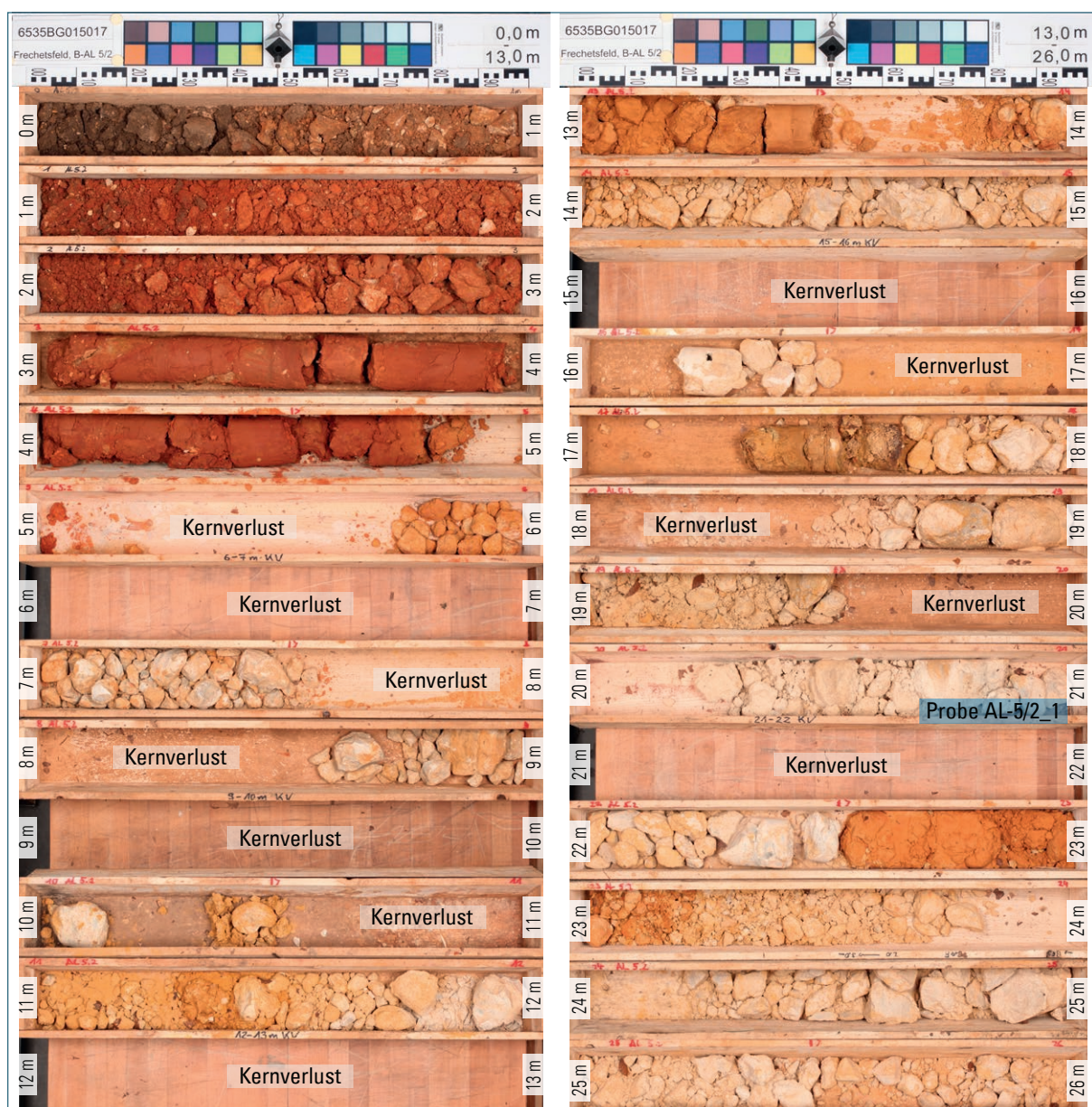


Abb. 37: Bohrkern der Bohrung AL-5/2

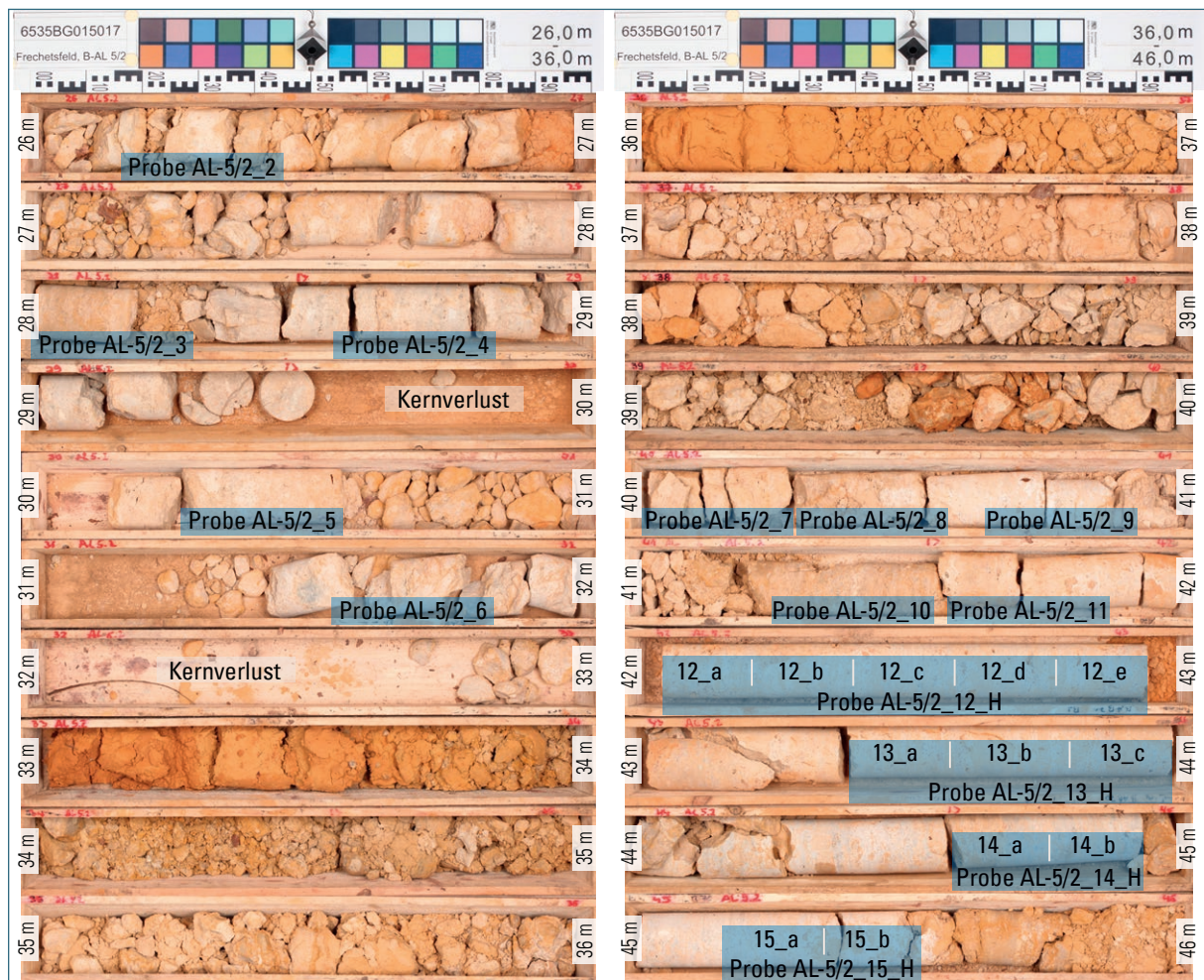


Abb. 38: Bohrkern der Bohrung AL-5/2, Fortsetzung

Eine weniger ausgeprägte Zweiteilung ist bei $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ und SiO_2 zu beobachten: Bei den SiO_2 -gehalten fällt auf, dass sie insgesamt mit durchschnittlich 0,18 Gew.-% (maximal 0,4 und minimal 0,01 Gew.-%) eher gering sind und gerade so in Kategorie II fallen. Im oberen Bereich der Bohrung liegen sie sogar (bis auf zwei Proben mit 0,14 Gew.-%) mit durchschnittlich 0,07 Gew.-% (maximal 0,14 und minimal 0,01 Gew.-%) im Bereich eines HPD der Kategorie I. Im unteren Bereich dieser Bohrung fallen die SiO_2 -Werte mit durchschnittlich 0,24 Gew.-% (maximal 0,4 und minimal 0,16 Gew.-%) etwas schlechter aus und liegen im mittleren Bereich eines PD der Kategorie II.

Auch die mittleren $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ -Oxid-Gehalte sind in der gesamten Bohrung mit durchschnittlich 0,22 Gew.-% (maximal 0,38 und minimal 0,09 Gew.-%) geringfügig zu hoch für eine Kategorie II und lassen daher nur eine überwiegende Einteilung in Kategorie III zu. Im oberen Bereich der Bohrung liegen sie mit 0,18 Gew.-% (maximal 0,24 und minimal 0,09 Gew.-%) $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ vorwiegend im Bereich eines PD der Kategorie II. Im unteren Bereich der Bohrung sind die $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ -Oxid-Gehalte etwas schlechter und liegen mit durchschnittlich 0,24 Gew.-% (maximal 0,38 und minimal 0,18 Gew.-%) im oberen Bereich eines TD der Kategorie III. Bei Al_2O_3 ist keine deutliche Zweiteilung zu erkennen: Mit durchschnittlich 0,29 Gew.-% (maximal 0,41 und minimal 0,15 Gew.-%) Al_2O_3 liegen die Werte größtenteils im Bereich eines PD der Kategorie II. Dies zeigt sich auch im Vergleich von oberer zur unterer Hälfte der Bohrung: Beide Mittelwerte liegen mit 0,29 Gew.-% (maximal 0,41 und minimal 0,21 Gew.-%) im oberen Bereich und 0,29 Gew.-% (maximal 0,36 und minimal 0,15 Gew.-%) im unteren Bereich sehr nah beieinander.

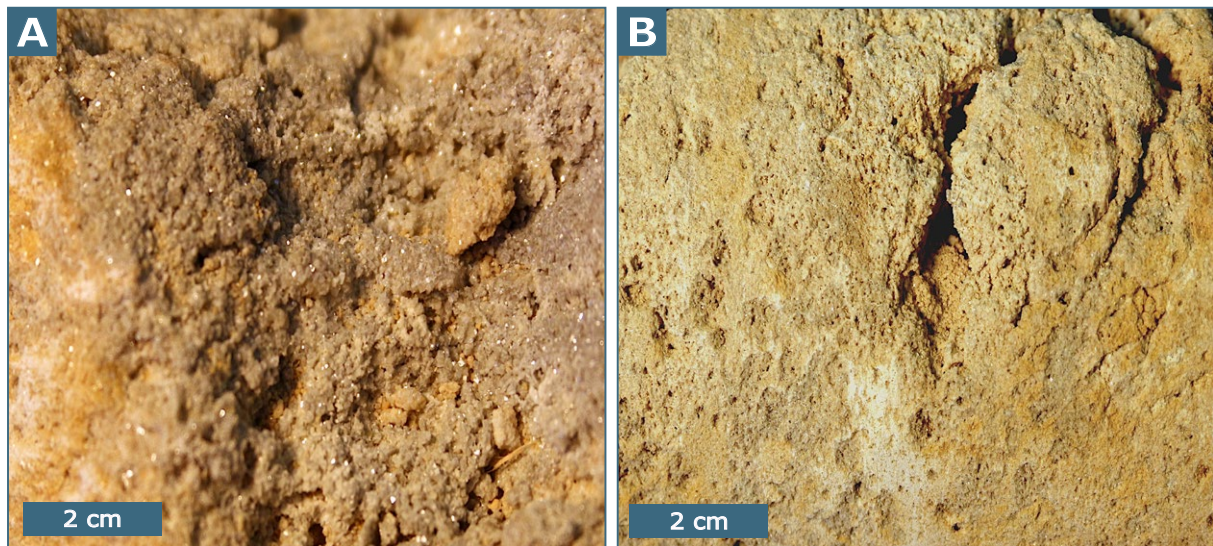


Abb. 39: Detailaufnahme von Gestein der Bohrung AL-5/2.

Bohrung AL-8

Nach einer Humusauflage eines Mischwaldbodens von ca. 0,2 m folgt in der Bohrung AL-8 ein sandig, vergruster Bereich von fast 3 m. Danach nehmen die festeren Gesteinsstücke des dolomitierten Carbonatgesteins zu. Das Gestein ist an vielen Stellen von Kieselknollen durchsetzt (Abb. 40). Sie treten hier über die ganze Bohrung regellos verteilt im Gestein auf. Die Kieselknollen erreichen oft mehrere Zentimeter Durchmesser. Ihre Färbung variiert von grau über braun bis weiß, ihr Zentrum ist oft dunkler gefärbt als ihr Rand. Sie haben oberhalb von 23 m Teufe meist hellere Farbtöne, darunter sind sie meist dunkelgräulich (Abb. 41).

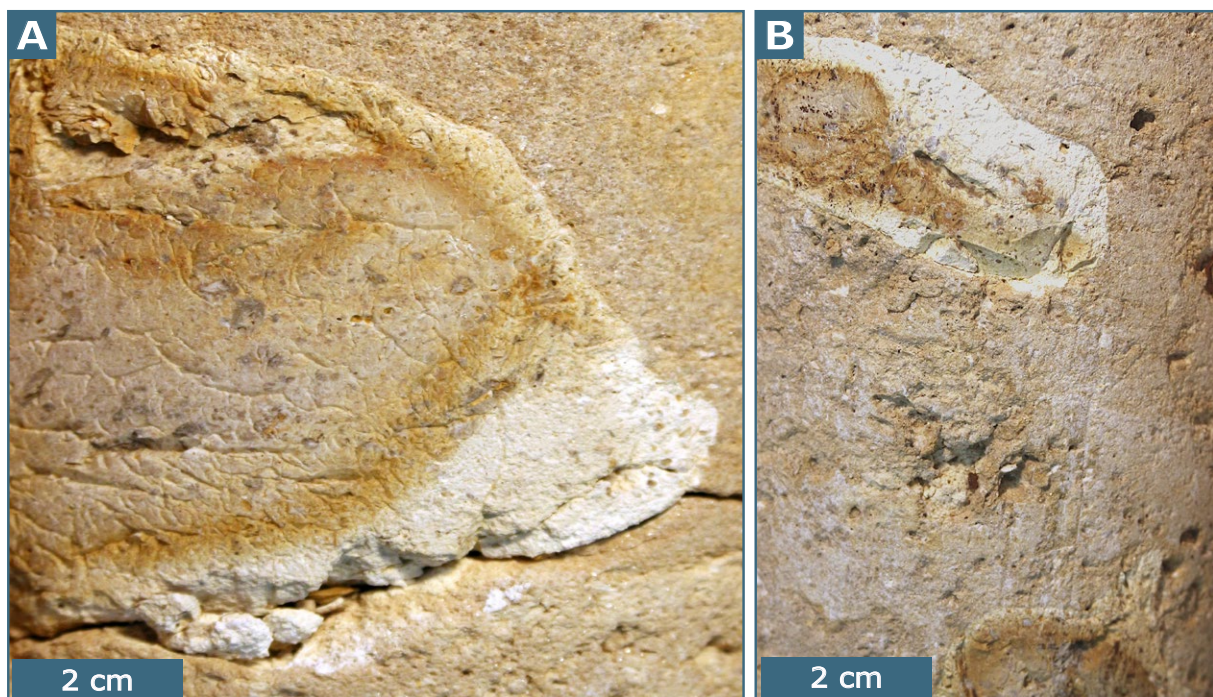


Abb. 40: Detailaufnahmen verschiedener Kieselknollen im Gestein der Bohrung AL-8.

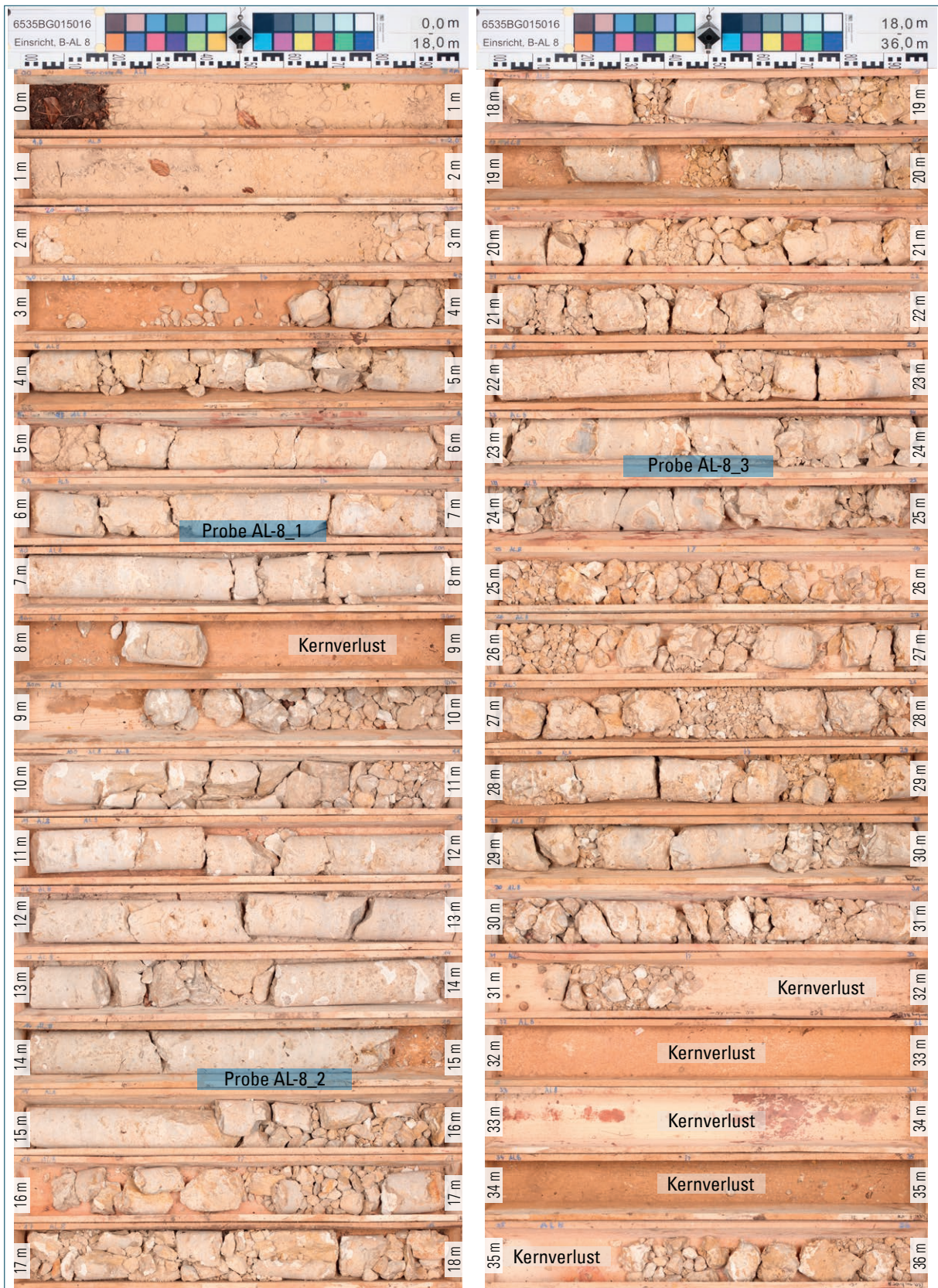


Abb. 41: Bohrkern der Bohrung AL-8

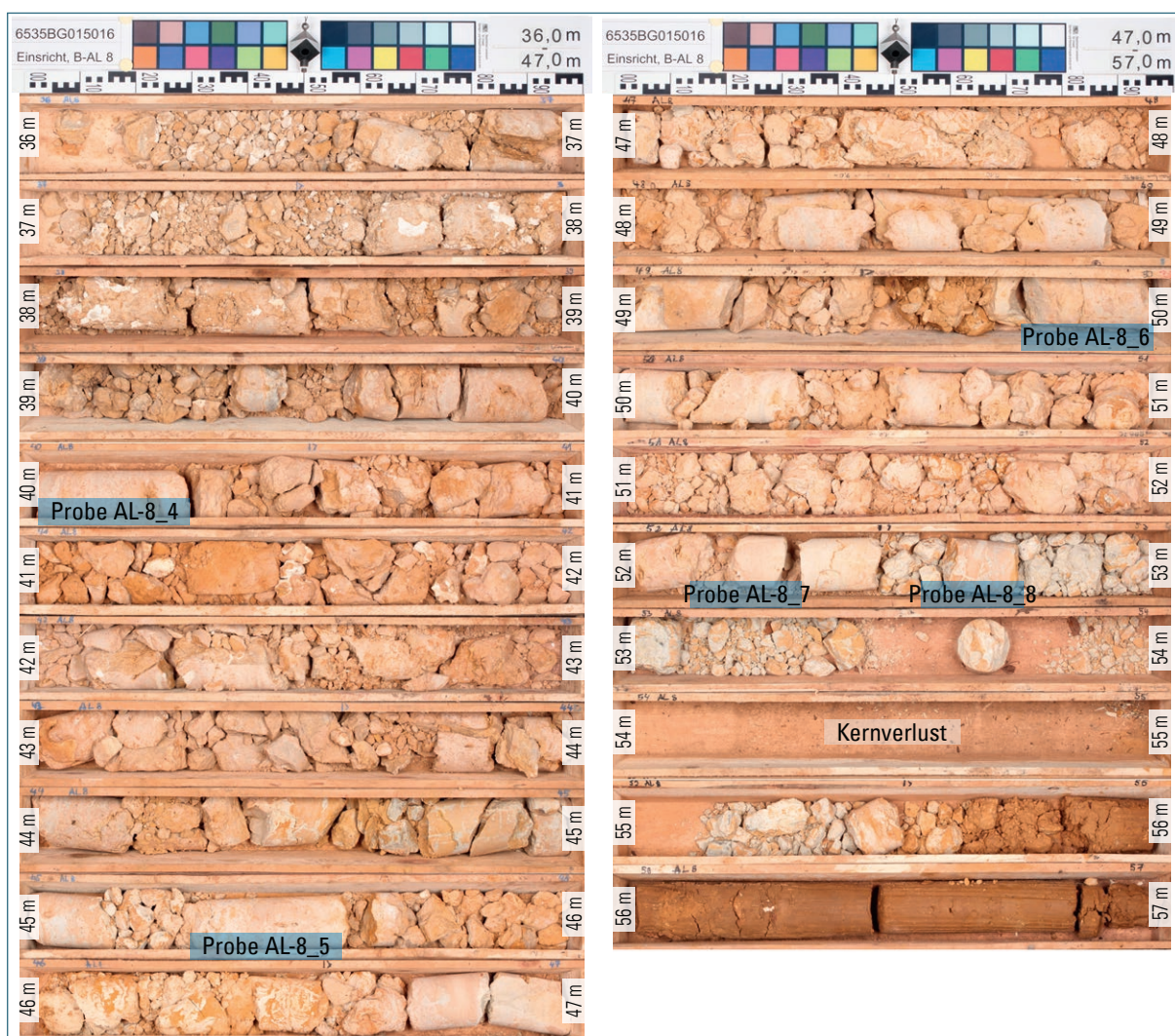


Abb. 42: Bohrkern der Bohrung AL-8, Fortsetzung

Stellenweise treten massive Kernverluste auf. Tendenziell wird das Gestein ins Liegende hin dunkler, mit ockerfarbenen Bereichen (Abb. 41 und Abb. 42). Ab 55,5 m wurde brauner Lehm erbohrt.

Unter den acht Proben dieses Bohrkerns ist eine Probe, bei der offensichtlich eine Kieselknolle beprobt worden war. Im Ergebnis zeigt sich dieses durch einen sehr hohen SiO_2 -Gehalt von mehr als 30 Gew.-% und signifikant verringerte MgO - und CaO -Werte. Diese Probe ist ein Extremwert und wurde von weitergehenden Durchschnittsbetrachtungen ausgeschlossen. In den restlichen Proben liegt das CaO/MgO -Verhältnis bei 1,52. Die MgO - und CaO -Gehalte sind mit 20,4 Gew.-% MgO und 30,9 Gew.-% CaO sehr gut und liegen innerhalb der Grenzen eines HPD Kategorie I. Ausschließend wirken hier die unerwünschten Oxide: sie liegen mit durchschnittlich 1,36 Gew.-% (maximal 2,88 und minimal 0,52 Gew.-%) SiO_2 , 0,54 Gew.-% (maximal 1,14 und minimal 0,32 Gew.-%) Al_2O_3 und 0,43 Gew.-% (maximal 0,75 und minimal 0,11 Gew.-%) $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ im Bereich eines TD Kategorie III.

Bohrung AL-9

Nach einer Mutterbodenauflage von etwa 0,4 m beginnt in der Bohrung AL-9 (Abb. 43) ein vergruster Bereich eines hellen, dolomitierten Carbonatgesteins, der bis zur Endteufe von 21 m hin und wieder auftritt. Im Bereich von 9,6 bis 12,5 m werden festere Kernstücke angetroffen. Hier wurden drei von

insgesamt vier Einzelproben genommen, die unterste Probe im vergrusten Bereich darunter. Das Gestein ist an vielen Stellen porig. In einigen Bereichen sieht das Gestein scheckig aus: graues Carbonatgestein scheint hier von ockerfarbenen Schlieren durchsetzt zu werden (Abb. 44A und B).

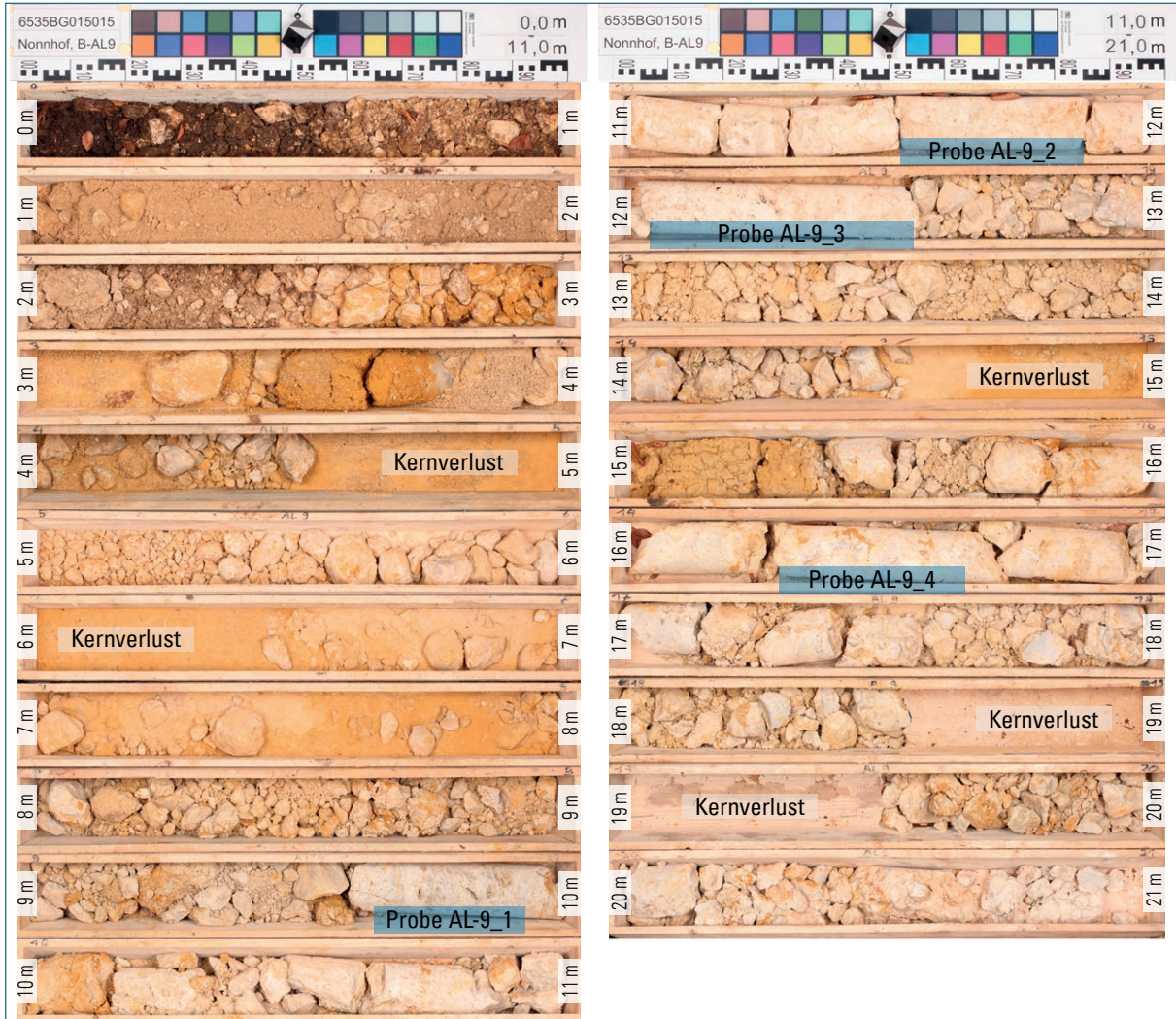


Abb. 43: Bohrkern der Bohrung AL-9

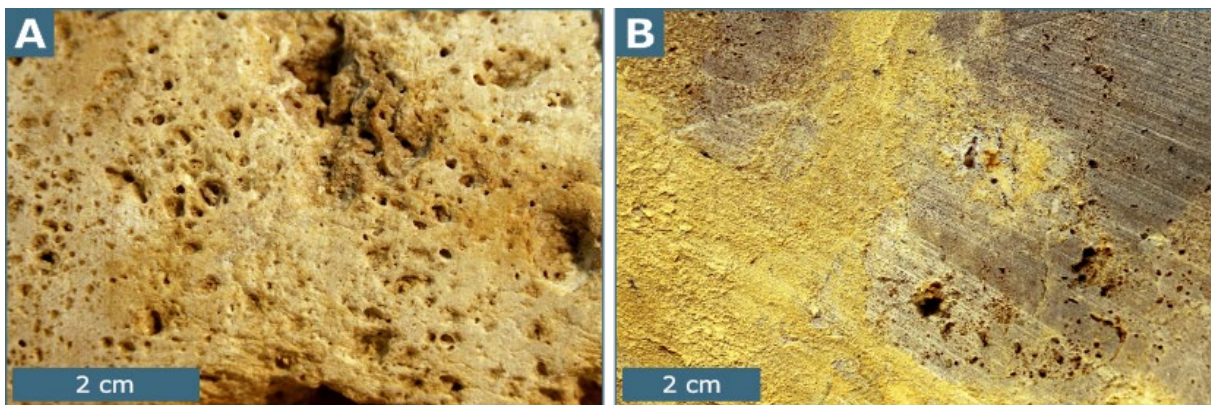


Abb. 44: Detailaufnahme von Gestein der Bohrung AL-9.

Die unterste Probe fällt mit allen bewerteten Oxiden in Kategorie III (0,63 Gew.-% SiO_2 , 0,59 Gew.-% Al_2O_3 , 0,21 Gew.-% $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$, 19,99 Gew.-% MgO und 32,20 Gew.-% CaO) und weist ein CaO/MgO -Verhältnis von 1,61 auf. Die darüber liegenden Proben haben ein CaO/MgO -Verhältnis von 1,51. Deren MgO -Gehalte sind im Mittel mit 20,80 Gew.-% MgO sehr gut und liegen innerhalb der Grenzen eines HPD Kategorie I. Die CaO -Gehalte bleiben mit 31,50 Gew.-% ebenfalls im Rahmen eines HPD. Die $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ -Gehalte liegen mit 0,17 Gew.-% im Bereich eines PD Kategorie II.

Die SiO_2 -Gehalte dieser Bohrung erreichen mit durchschnittlich 0,40 Gew.-% die Bewertung PD Kategorie II. In diesem Fall ist ein zu hoher Al_2O_3 -Gehalt das Ausschlusskriterium: hier liegt der Mittelwert bei 0,41 Gew.-% (maximal 0,55 und minimal 0,27 Gew.-%) Al_2O_3 und damit in Kategorie III, TD.

Bohrung LAU-1

Nach einer Mutterbodenauflage beginnt in der Bohrung LAU-1 (Abb. 45) ab 2,40 m das dolomitisierte Carbonatgestein. Dieses ist stellenweise stark zerbohrt oder vergrust, es werden kaum komplette, feste Kernstücke mit einer Länge von mehr als 50 cm erbohrt: Eine Ausnahme bildet das mehr als einen Meter mächtige Schichtpaket mit einem durchgängigen Kernstück bei Meter 17. Die zerbröselten und brüchigen Bereiche des Gesteins sind häufig ockerfarben gefärbt und deuten auf höhere Eisenkonzentrationen dieser Stellen hin. Ab Bohrmeter 30 wurde größtenteils Festgestein angetroffen (Abb. 46), es handelt sich um relativ helles, teilweise dolomitisiertes Carbonatgestein, das abschnittsweise in sehr kompakter, fester Form vorliegt und nur in geringem Maße an wenigen Stellen leicht zerbohrt wurde. Kurz vor Erreichen der Endteufe bei 52,5 m wurde rötlicher Lehm erbohrt. Es könnte sich hierbei um eine sekundäre Spaltenfüllung einer Karstschlotte handeln.

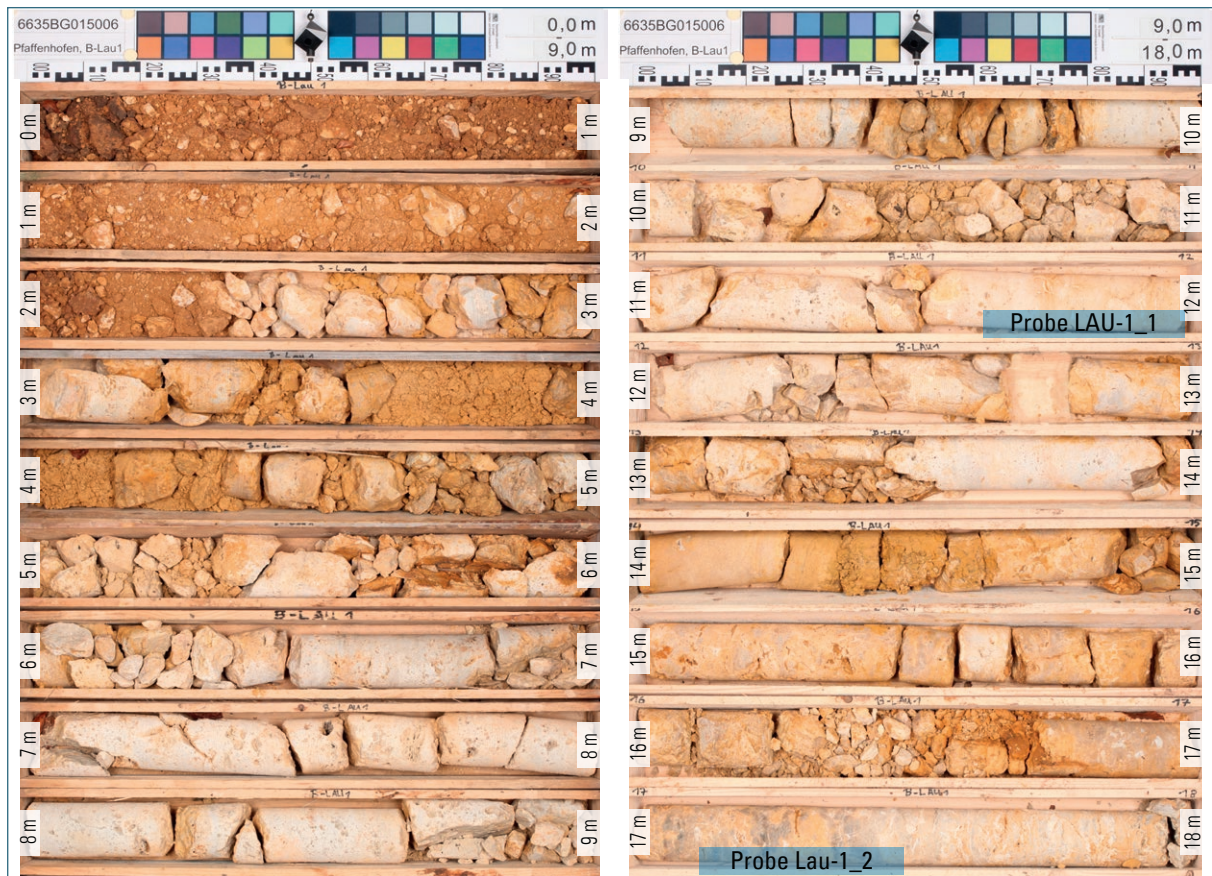


Abb. 45: Bohrkern der Bohrung LAU-1



Abb. 46: Bohrkern der Bohrung LAU-1, Fortsetzung

Das kompakte Gestein ist an vielen Stellen löchrig und weist eine hohe Porosität auf. Wie in den Abbildungen (Abb. 47A und B) ersichtlich. Einige dieser Hohlräume erreichen beträchtliche Ausmaße von mehreren Zentimetern. Innerhalb solcher Drusen-artiger Hohlräume finden sich kleine, idiomorphe Calcit-Kristalle (Abb. 47A). Viele dieser Poren scheinen aufgrund ihrer Form Lösungshohlräume ehemaliger, evtl. aragonitischer Schalen zu sein (Abb. 47B).

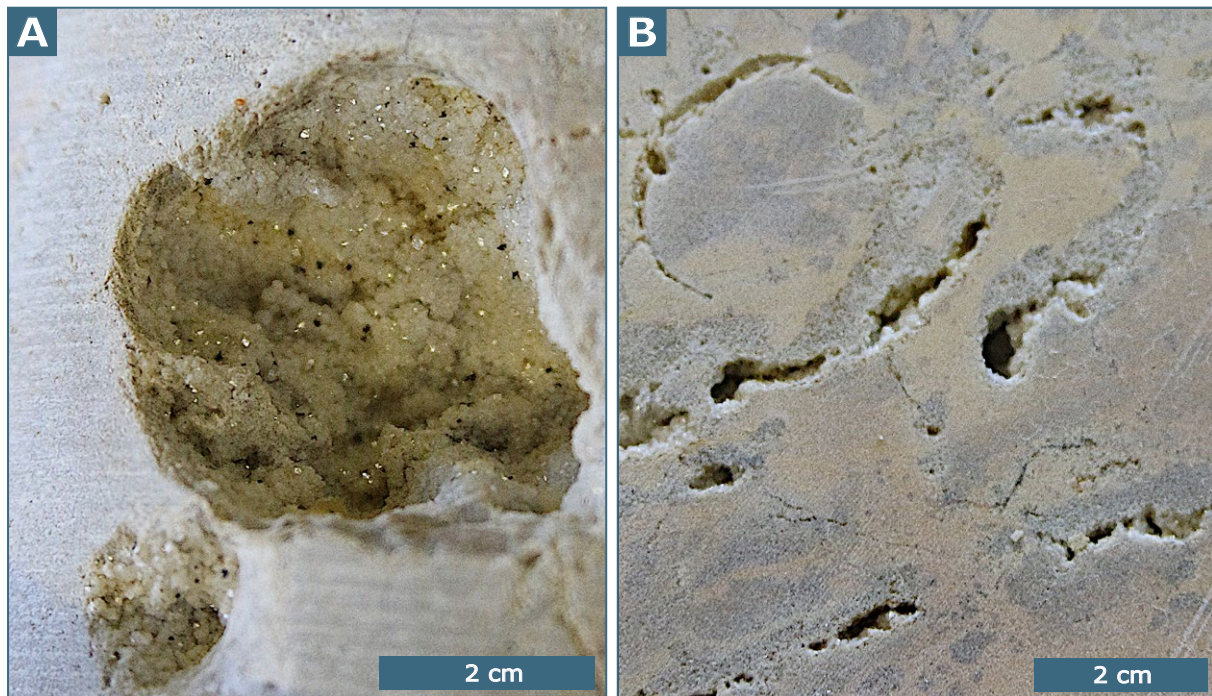


Abb. 47: Detailaufnahmen ausgewählter Gesteine und Verwitterungsformen in Bohrung LAU-1.

Innerhalb der Proben dieser Bohrung liegt das CaO/MgO-Verhältnis insgesamt bei 1,72 (maximal 2,07 und minimal 1,51). Die MgO-, beziehungsweise CaO-Gehalte sind mit 19,22 Gew.-% MgO und 33,05 Gew.-% CaO im Mittel innerhalb der Grenzen eines technischen Dolomits der Kategorie III. Allerdings gibt es zwischen den Proben große Schwankungen: Drei Proben erfüllen in Bezug auf MgO und CaO die Kriterien für einen HPD der Kategorie I (20,31–20,7 Gew.-% MgO und 31,98–31,32 Gew.-% CaO), eine andere Probe fällt mit beiden Werten in Kategorie IV (17,09 Gew.-% MgO und 35,43 Gew.-% CaO). Die SiO₂-, Al₂O₃- und Fe₂O₃(T)-Werte schwanken weniger deutlich und liegen im Bereich eines TD der Kategorie III: Durchschnittlich 0,86 Gew.-% (maximal 1,66 und minimal 0,43 Gew.-%) entfallen auf SiO₂, 0,29 Gew.-% (maximal 0,46 und minimal 0,17 Gew.-%) auf Fe₂O₃(T) und 0,59 Gew.-% (maximal 0,91 und minimal 0,45 Gew.-%) auf Al₂O₃.

4.2.2 Beschreibung der Bohrungen hinsichtlich Lithologie, Mineralogie und Geochemie

Die mittleren Mineralgehalte aller 60 Bohrungsproben liegen bei 96 % Dolomit, 3,5 % Calcit und 0,4 % Quarz. 39 Proben besitzen einen Dolomitgehalt von mehr als 95 % und sind daher als reiner Dolomitstein zu bezeichnen. 88 % der Proben (53 von 60 Proben) haben mehr als 90 % Dolomit. 7 Proben weisen weniger Dolomit auf und sind daher als leicht calcitischer Dolomitstein (6 Proben), beziehungsweise als calcitischer Dolomitstein (eine Probe) zu bezeichnen (vergleiche dazu die Proben der Vorerkundung in der Tab. 20). Der Dolomit dieser Proben besteht (LUMSDEN 1979) durchschnittlich aus 51 Mol-% CaCO₃ und 49 Mol-% MgCO₃. In 37 dieser Proben ist darüber hinaus das Mineral Cal-

cit enthalten, das, berechnet nach LUMSDEN (1979), zu 98,6 Mol-% aus CaCO₃ und zu 1,4 Mol-% aus MgCO₃ aufgebaut ist.

Die folgenden Abbildungen und Tabellen (Abb. 48, Abb. 49 und Tab. 4) zeigen die Ergebnisse der jeweiligen Hauptelementoxide aller Bohrungsproben mit farbig hervorgehobenen Kategorie-Bereichen und nach Bohrungen unterschieden. Deutlich zu erkennen ist, dass es große Schwankungsbereiche gibt. Diese führen zu einer Einordnung von Proben in eine schlechtere Kategorie. Die Proben weisen durchschnittliche Gehalte von 32,4 Gew.-% CaO (Abb. 48A) und 19,8 Gew.-% MgO (Abb. 48B) auf. Das mittlere CaO/MgO-Verhältnis der Bohrungsproben liegt bei 1,63. Die Gehalte von Al₂O₃ liegen im Durchschnitt bei 0,39 Gew.-% (Abb. 49A), die von Fe₂O₃ bei 0,25 Gew.-% (Abb. 49B) und die von SiO₂ bei 0,44 Gew.-% (Abb. 49C).

Tab. 4: Oxidgehalte der Bohrungsproben

Oxidgehalte in Gew.-%	Arithm. M.	Max.	Min.	Abbildung
CaO	32,4	35,48	30,48	Abb. 48A
MgO	19,8	21,1	17,0	Abb. 48B
Al ₂ O ₃	0,39	1,14	0,13	Abb. 49A
Fe ₂ O ₃	0,25	0,75	0,09	Abb. 49B
SiO ₂	0,44	2,88	0,01	Abb. 49C

Der Extremwert der Datenreihe SiO₂-Gehalte (Probe B-AL8_3 mit 30,3 Gew.-% SiO₂) wurde in diesem Fall nicht mitgerechnet, da hier offensichtlich ein größeres Stück einer Kieselknolle beteiligt war.

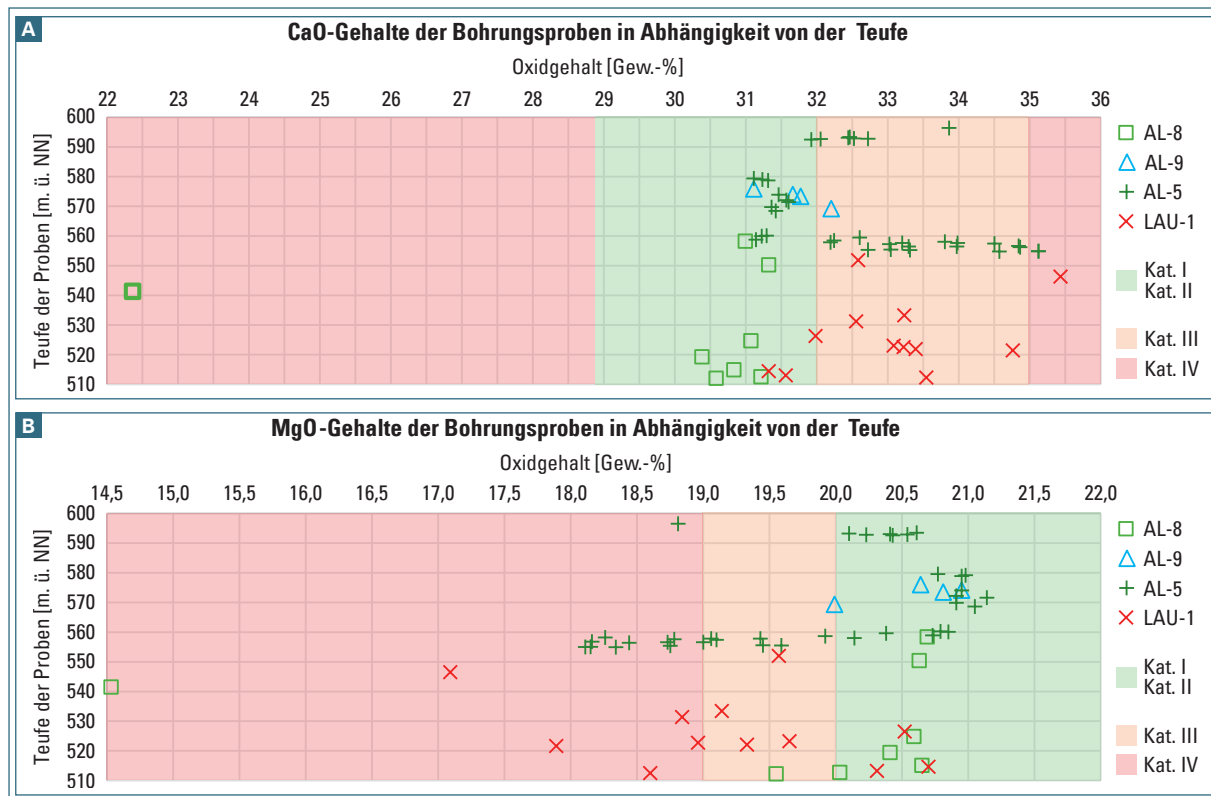


Abb. 48: Übersicht der Oxidgehalte der Bohrkernproben. A: CaO, B: MgO.

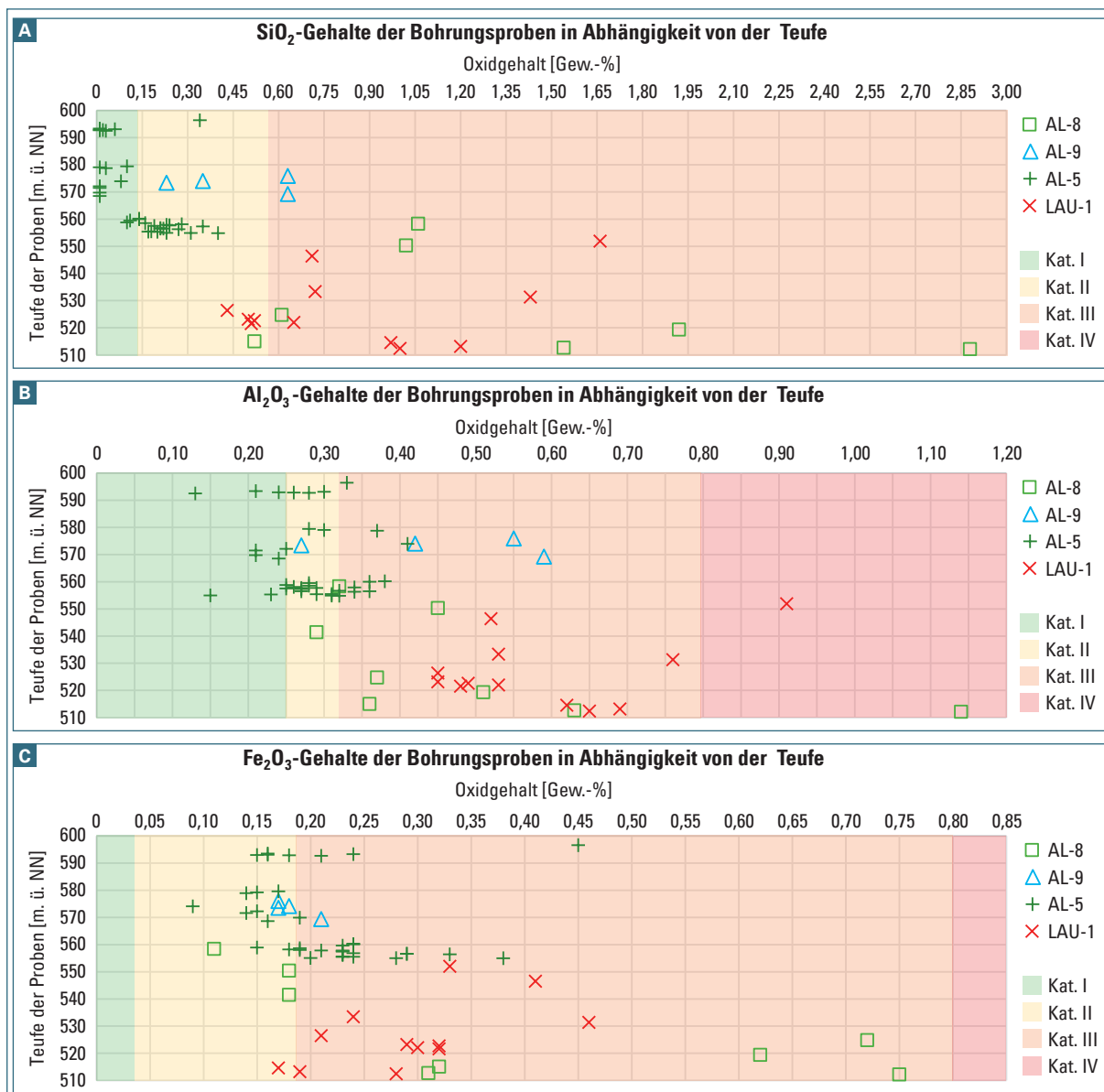


Abb. 49: Übersicht der Oxidgehalte der Bohrkernproben. A: SiO₂, B: Al₂O₃, C: Fe₂O₃

4.2.3 Geologische und lithostratigrafische Einheiten der Gesteine

Die fünf Bohrungen verteilen sich auf vier Lokationen. Laut geologischer Karte 1 : 25 000 wurden die Bohrungen in vier verschiedenen (Sub-)Formationen abgeteuft (Abb. 50): der unteren und mittleren Frankenalb-Formation in dolomitierter Rifffazies des Riff- oder Schwammrasendolomits (wFru,D beziehungsweise wFrm,D), der unteren Frankenalb-Formation in dolomitierter Rifffazies (wFru,D,r) sowie der Viehhofen-Subformation (= der obere Abschnitt der Pottenstein-Formation; wPoV).

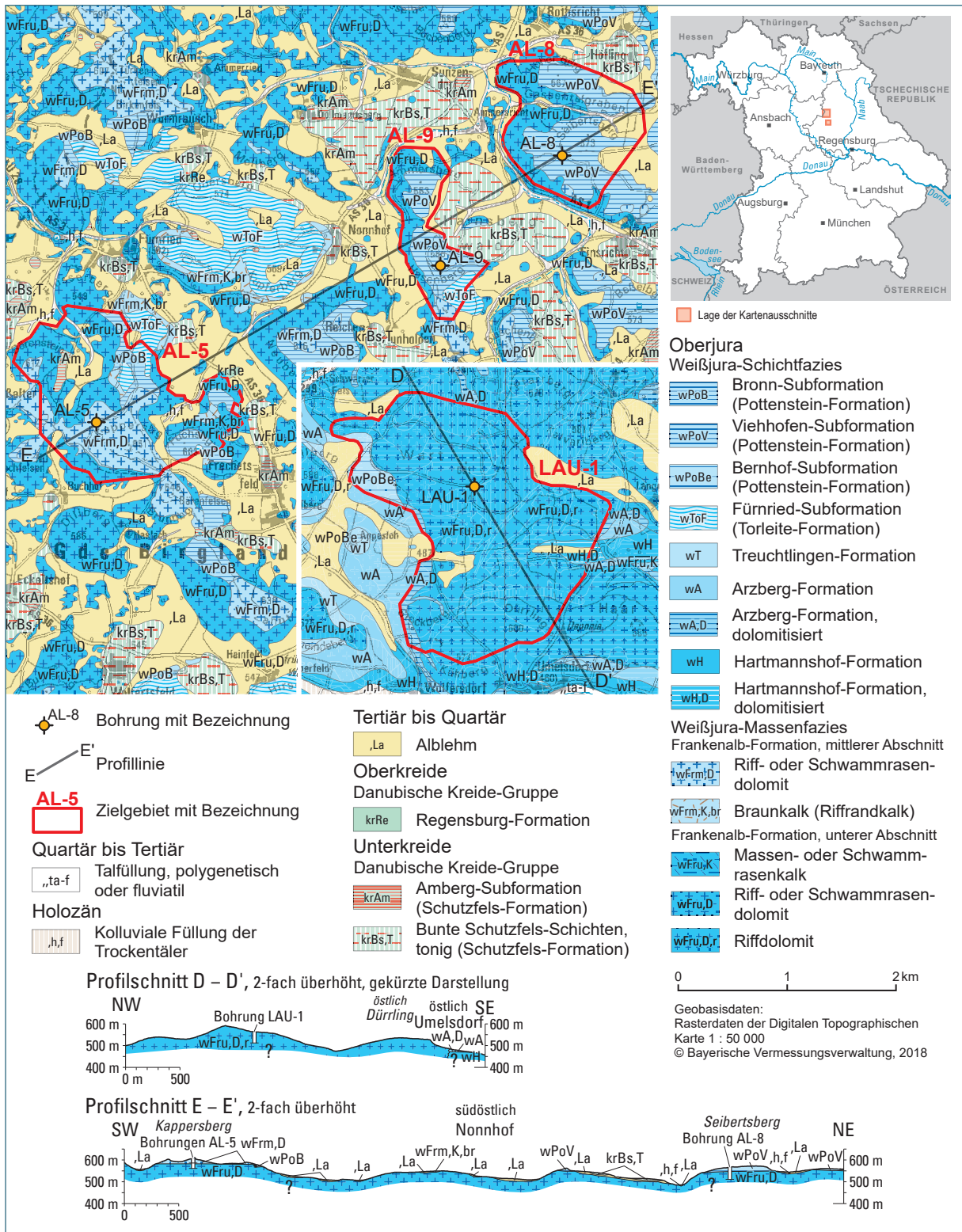


Abb. 50: Geologische Karte mit Profilschnitten (auf Grundlage der digitalen geologischen Karte 25 Blatt 6535 Alfeld, 6635 Lauterhofen und 6636 Kastl) aus dem Untersuchungsgebiet bei Alfeld und Lauterhofen/Kastl.

Korrelation und geochemischer Vergleich der Fazies-Typen

Die einzelnen Partien der Bohrungen wurden anhand ihrer makroskopisch sichtbaren Fazies-Typen sowie der geochemischen Oxidgehalte angesprochen, um einen dabei eventuell auftretenden Trend herauszuarbeiten. Dabei wurden auch enthaltene Fossilien mit betrachtet. Es wurden drei Fazies-Typen unterschieden.

a) calcitische Tuberoid-Fazies:

Die überwiegenden Komponenten sind calcitische Schwammreste, die als sogenannte Tuberoide erhalten sind. Tuberoide beziehungsweise Intraklaste sind Bruchstücke von dickeren Algenkrusten. Das eintönige Bild mit wenig Biodiversität deutet auf einen abgeschlossenen, speziellen Lebensraum mit schwach lagunären Tendenzen hin (MEYER 1983). Die Matrix zwischen den Tuberoiden bildet zumeist einen grau bis rötlich grauen, mittelkristallinen Dolomitstein. Dieser Fazies-Typ zeichnet sich geochemisch durch ein CaO/MgO-Verhältnis von größer als 1,57 aus. Diese Proben weisen mehr als 32 Gew.-% CaO, aber weniger als 20,5 Gew.-% MgO auf.

b) dolomitische Tuberoid-Fazies:

Die dolomitische Tuberoid-Fazies ist analog zu der calcitischen Tuberoid-Fazies, wobei die Schwammkomponenten auch dolomitiert sind. Der Dolomitstein ist grau, mittelkristallin und teilweise recalcitisiert. Geochemisch ist dieser Fazies-Typ von einem CaO/MgO-Verhältnis von kleiner als 1,57 gekennzeichnet; die Proben beinhalten weniger als 32 Gew.-% CaO, aber mehr als 20,5 Gew.-% MgO.

c) verkieselte Tuberoid-Fazies:

Der Dolomitstein dieses Fazies-Typs ist grau-braun, mittelkristallin, besitzt eine geringe Interkristallin- und Lösungsporosität und besteht zu 40–50 % aus Tuberoiden. Besonders markant sind die hohen SiO₂-Gehalte von mehr als 1 Gew.-% (bedingt durch die häufig vorkommenden Verkieselungen mit bis zu 10 cm Durchmesser). Vergleiche hierzu auch folgende Abbildung (Abb. 51).

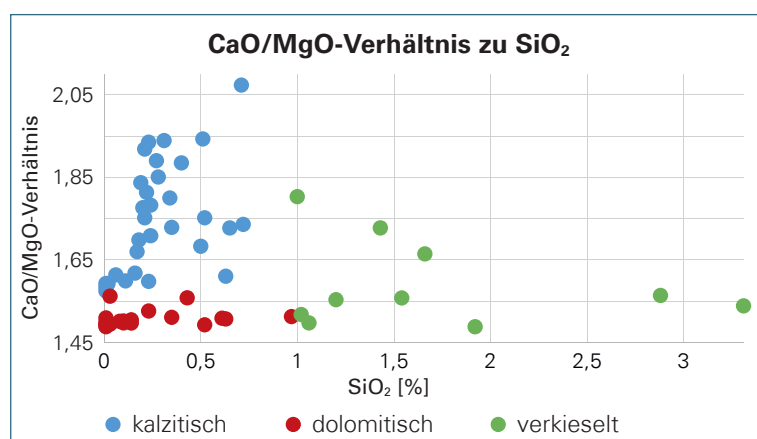


Abb. 51: Darstellung der Proben nach ihrer Fazies-Einordnung in calcitisch, dolomitisch oder verkieselt.

Eine Korrelation anhand der unterschiedlichen Bohrungen oder der stratigrafischen Einordnung der Proben konnte nicht erkannt werden. Die calcitischen und dolomitischen Tuberoid-Fazies-Bereiche kamen in allen untersuchten Formationen vor, die verkieselte Tuberoid-Fazies kam sowohl in der Viehhofen-Subformation (wPoV) innerhalb der Pottenstein-Formation (Weißjura-Schichtfazies) und dem Riffdolomit als auch im Schwammrasendolomit des unteren Abschnitts der Frankenalb-Formation (wFru,D,r und wFru,D) vor.

4.3 Ergebnisse der Farbwertbestimmung

Wichtige Parameter für eine mögliche Eignung von Dolomitstein als Füllstoff in der Papierindustrie sind die Farbwerte. Es wurden sowohl die Proben der Vorerkundung als auch die der Detailerkundung untersucht. Wie sich jedoch herausstellte, existiert offenbar auch für die Farbwerte ein natürlicher Mechanismus, der bedingt, dass oberflächennahe Proben deutlich günstigere Farbwerte besitzen als ihre erbohrten Gegenstücke. Um ein gewisses Maß an Repräsentativität zu gewährleisten, wurden deshalb die Proben der Vorerkundung für die folgende Betrachtung ausgeschlossen. Zusätzlich zur Ermittlung der Farbwerte sollte auch die Frage geklärt werden, ob die kosten- und zeiteffektivere Methode der Farbwertbestimmung eine wertige Alternative zur Ermittlung der Gesamtgesteinsgeochemie darstellen könnte. Zur verbesserten Vergleichbarkeit sind im Anhang (Tab. 22, Tab. 25 und Tab. 26) die Einzelergebnisse aller durchgeführten Farbwertbestimmungen beigefügt.

Ergebnisse des ungebrannten Rohstoffs

Die Farbwerte des ungebrannten Dolomitsteins schwanken je nach Untersuchungsgebiet (Tab. 5). Die besten Ergebnisse erzielten die Proben aus der Erkundungsbohrung AL-9, die schon im ungebrannten Zustand gute Farbwerte aufweisen.

Tab. 5: Farbwerte der ungebrannten Dolomitsteinproben der Detailerkundung.

Farbwert		Untersuchungsgebiet			
		AL-5 (n = 36)	AL-8 (n = 8)	AL-9 (n = 4)	Lau-1 (n = 12)
L*-Wert	Ø	86,24	85,77	89,39	87,48
	Min.	84,42	81,39	88,39	86,46
	Max.	88,09	88,74	90,16	88,93
a*-Wert	Ø	1,82	2,68	0,77	1,37
	Min.	0,75	1,29	0,47	0,24
	Max.	2,65	4,72	1,00	1,99
b*-Wert	Ø	13,71	15,47	9,61	12,10
	Min.	10,30	10,88	8,53	8,69
	Max.	18,67	20,51	10,52	15,63

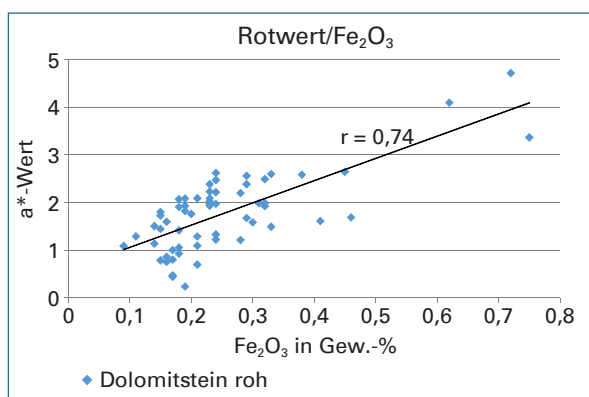


Abb. 52: Rotwert-zu-Eisenoxidgehalt-Diagramm zur Veranschaulichung der bestehenden Korrelationen im ungebrannten Dolomitstein.

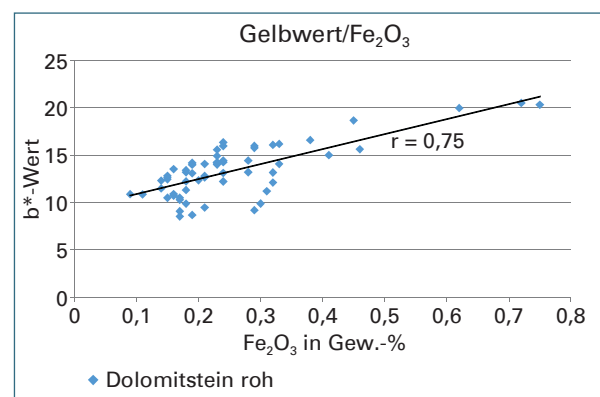


Abb. 53: Gelbwert-zu-Eisenoxidgehalt-Diagramm zur Veranschaulichung der bestehenden Korrelationen im ungebrannten Dolomitstein.

Es existiert nur eine leicht positive Korrelation zwischen dem Rot- ($r = 0,74$; Abb. 52) beziehungsweise dem Gelbwert ($r = 0,75$; Abb. 53) und dem Gehalt an $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ in den untersuchten Proben. Für eine exakte Erhebung der Gesteinszusammensetzung reichen diese Korrelationen im Hinblick auf die strengen Qualitätsanforderungen in der Dolomitsteinverarbeitenden Industrie allerdings keinesfalls aus. Hinsichtlich einer Eignung als effizienter und kostengünstiger Ersatz für eine Gesamtgesteinsgeochemie kann die Farbwertbestimmung an ungebranntem Dolomitstein demnach nicht dienen.

Ergebnisse des gebrannten Rohstoffs

Nach dem Brand bei $1050\text{ }^\circ\text{C}$ wurden die Farbwerte erneut bestimmt. Es konnte festgestellt werden, dass die $L^*a^*b^*$ -Werte sich zumeist deutlich verbessert haben (Tab. 6 und Abb. 56). Die größte Verbesserung erzielte der Dolomitstein aus Erkundungsgebiet AL-5. Die Farbänderungen (Abb. 56) sind möglicherweise bedingt durch organischen Kohlenstoff, der während des Brennvorgangs als CO_2 entweicht. Insgesamt sind die erzielten Farbwerte nach dem Brand für alle Potenzialgebiete als „gut“ zu bewerten.

Tab. 6: Farbwerte der gebrannten Dolomitsteinproben der Detallerkundung.

Farbwert	Untersuchungsgebiet				
		AL-5 (n = 36)	AL-8 (n = 8)	AL-9 (n = 4)	Lau-1 (n = 12)
L*-Wert	Ø	92,00	89,25	93,64	89,75
	Min.	88,07	83,58	92,60	87,16
	Max.	94,81	94,54	94,14	93,34
a*-Wert	Ø	0,83	0,69	1,01	0,45
	Min.	0,49	-0,09	0,87	0,08
	Max.	1,15	1,68	1,07	0,76
b*-Wert	Ø	5,34	6,96	5,19	7,37
	Min.	3,27	3,84	4,84	4,60
	Max.	9,20	11,75	5,85	9,47

Durch den Brand verbesserten sich nicht nur die gemessenen Farbwerte, sondern auch die Korrelationen zwischen den Farbwerten und den Kontaminanten. Besonders die Korrelationen von Weißgrad ($r = 0,92$; Abb. 54) beziehungsweise Gelbwert ($r = 0,85$; Abb. 55) mit $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{T})$ wurden deutlich erhöht.

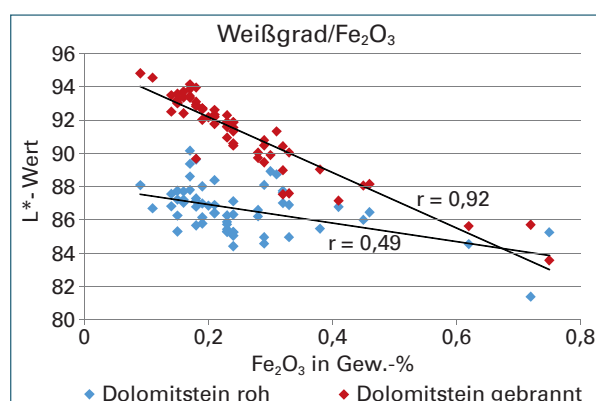


Abb. 54: Weißgrad-zu-Eisenoxidgehalt-Diagramm zur Veranschaulichung der bestehenden Korrelationen im gebrannten Dolomitstein.

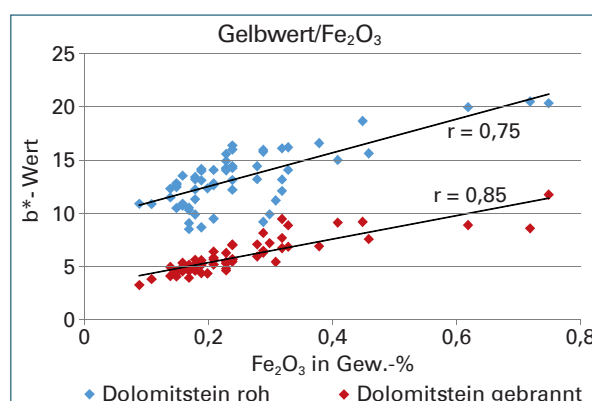


Abb. 55: Gelbwert-zu-Eisenoxidgehalt-Diagramm zur Veranschaulichung der bestehenden Korrelationen im gebrannten Dolomitstein.

Trotz aller Verbesserung durch den Brand sind die ermittelten Zusammenhänge immer noch zu un-
deutlich, um die Farbmessung am gebrannten Dolomitstein als qualitativ gleichwertige Methode zur
Gesamtgesteinsgeochemie auszuweisen.

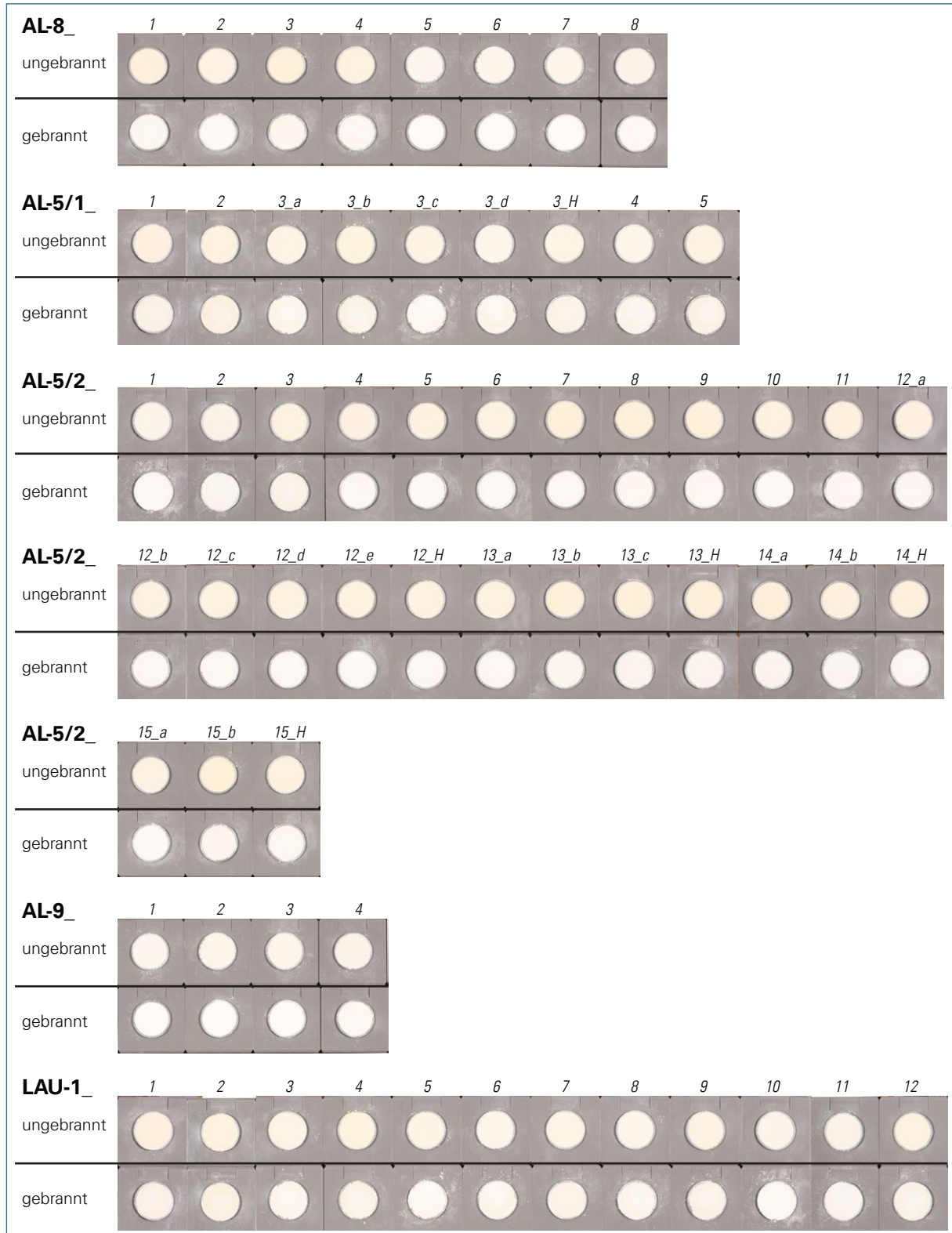


Abb. 56: Fotografischer Vergleich der ungebrannten (jeweils oben) mit den gebrannten Proben (jeweils darunter).

4.4 Geophysikalische Erkundung mittels hochauflösender Geoelektrik und Ergebnisse der Multielektrodenmessung

Als Abschluss der Detailerkundung erfolgte eine geoelektrische Multielektrodenmessung in der unmittelbaren Umgebung der Kernbohrungen. Die bei der Bohrkernaufnahme (Kapitel 3.5.3) aufgenommenen lithostratigrafischen Profile dienten in der Folge als Referenz für die geologische Interpretation der ermittelten geophysikalischen Messdaten (Abb. 57).

Auf den nachfolgenden Seiten sind die Profillagen (je 500 m) der geoelektrischen Erkundung und die Messrichtungen der Profile (Abb. 58 und Abb. 59) dargestellt (Fuss & MADER 2018).

In den Abbildungen (Abb. 60 bis Abb. 67) wurden interpolierte Schnittbilder mit einheitlicher Farbkodierung der errechneten Schichtmodelle der elektrischen Widerstandstiefenverteilung für die spezifischen elektrischen Widerstände (in $\text{Ohm}\cdot\text{m}$) dargestellt. Das Interpretationsergebnis wurde hier mit geologischen Materialbeschreibungen sowie den angenommenen Schichtgrenzverläufen versehen. Das angetroffene Carbonatgestein ist, wie die Auswertung zeigt, partiell geringklüftig, teils stärker klüftig oder zersetzt. Es sind bisweilen größere zusammenhängende, besser leitfähige Bereiche anzutreffen, die als Zersatzzonen interpretiert wurden. Schwach bindige, felsig-klüftige Füllungen größerer, tektonischer Strukturen sind möglicherweise karstinduziert. Für etwa ab der 500 Iso-Ohmmer-Linie kann anhand der Bohrdaten in den Modellen ein zusammenhängender Gesteinsverbund angenommen werden. Für einzelne Gesteinsbereiche wurden teilweise um den Faktor 10 höhere spezifische elektrische Widerstände ermittelt. Hier kann zunehmend entsprechend kompakteres, weniger klüftiges Gestein erwartet werden. Ferner existieren ausgedehnte Übergangsbereiche bis hin zu starken Zersatzbereichen. Daneben können in den Modellen auch als massive Gesteine interpretierte Sektoren aufgelockerte interne Strukturen aufweisen, die durch Oberflächenmessungen im Detail nicht aufgelöst werden können (Fuss & MADER 2018).

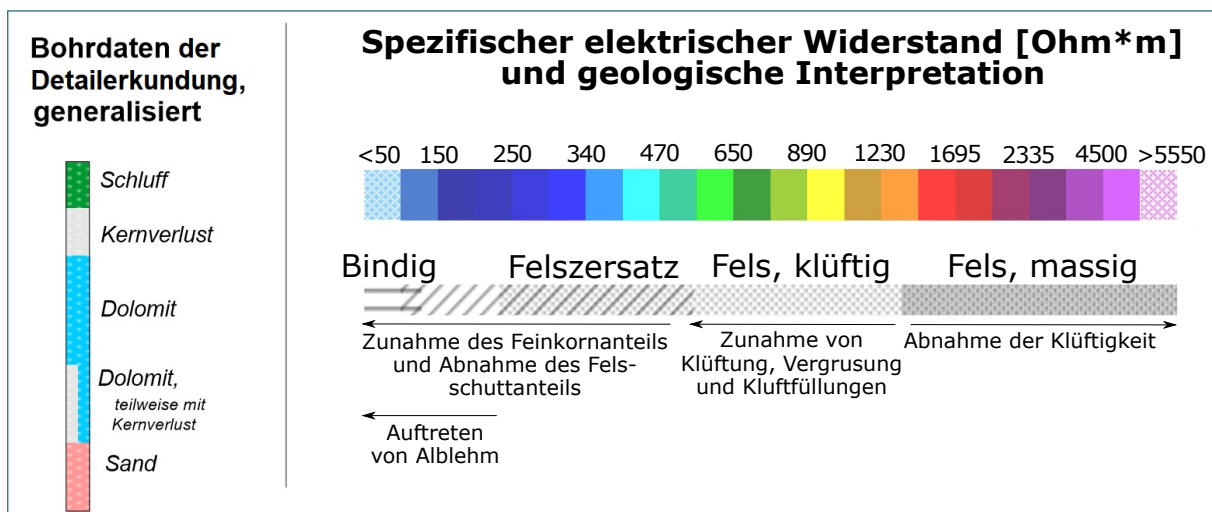


Abb. 57: Legende der Lithologie und der spezifischen elektrischen Widerstände für die geologische Interpretation der Messwerte.

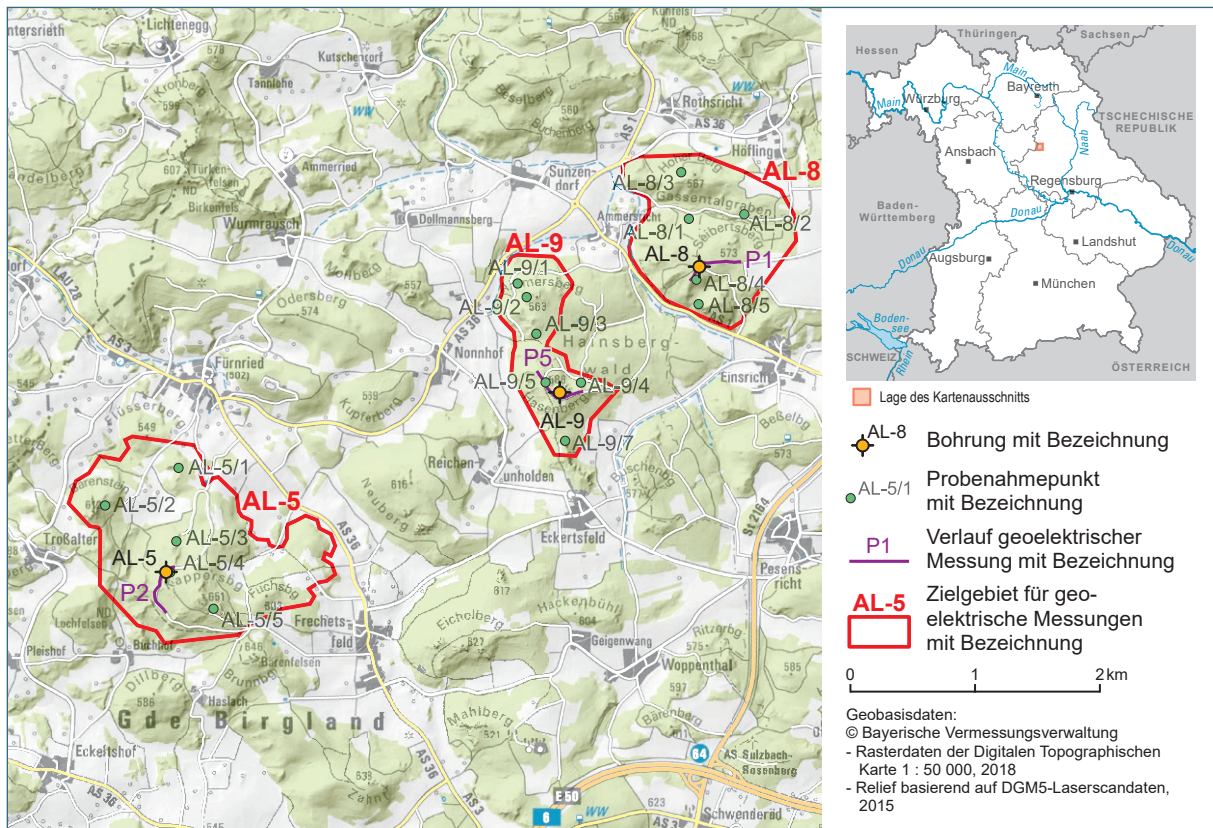


Abb. 58: Profillagen der drei nördlichen Messstrecken bei Alfeld.

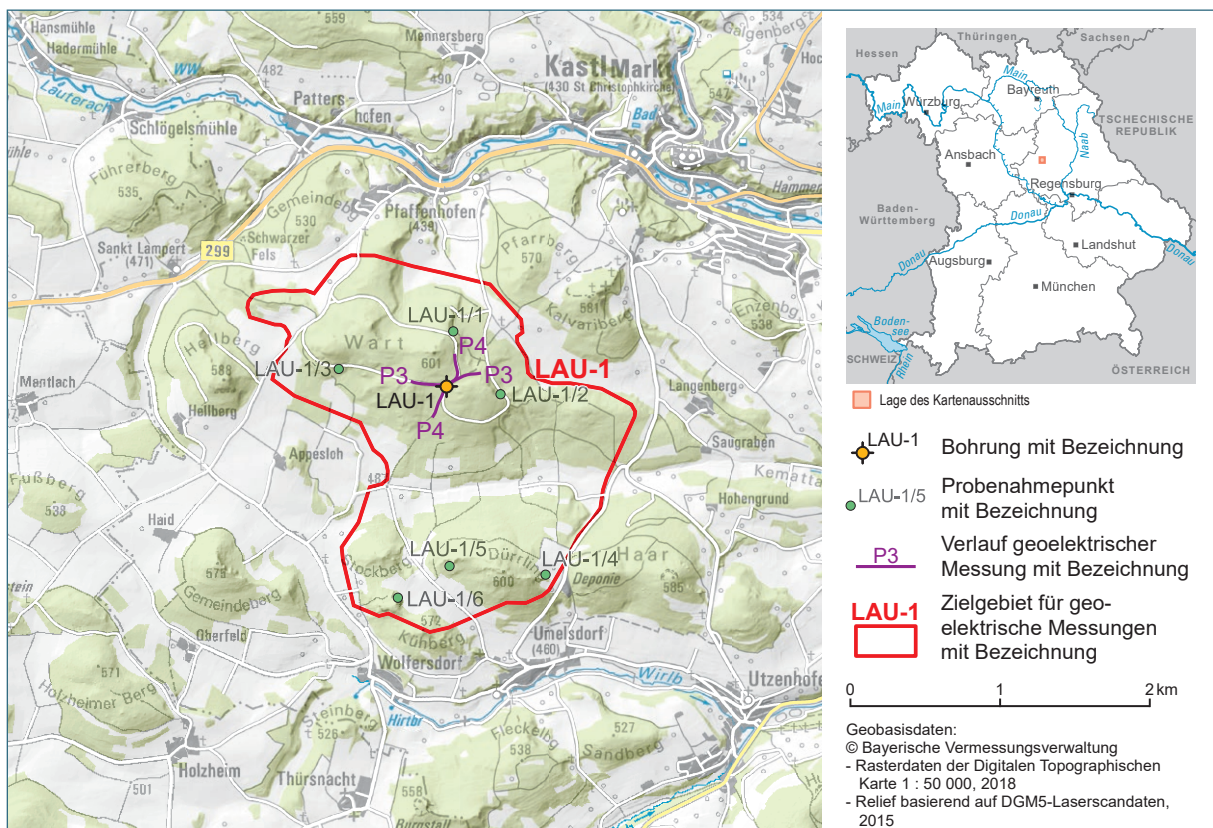


Abb. 59: Profillagen der zwei südlichen Messstrecken im Gebiet LAU-1.

Ergebnisse der Multielektrodenmessung

AL-5

Die Ergebnisse der Multielektrodenmessung im Potenzialgebiet AL-5 (Abb. 60 und Abb. 61) zeigen einen sehr hohen Festgesteins-Anteil (massives und klüftiges Carbonatgestein) von rund 91 % (Tab. 7). Die im südlichen Teil des Profils gemessenen niedrigen spezifischen elektrischen Widerstände deuten auf eine Zersatzzone hin.

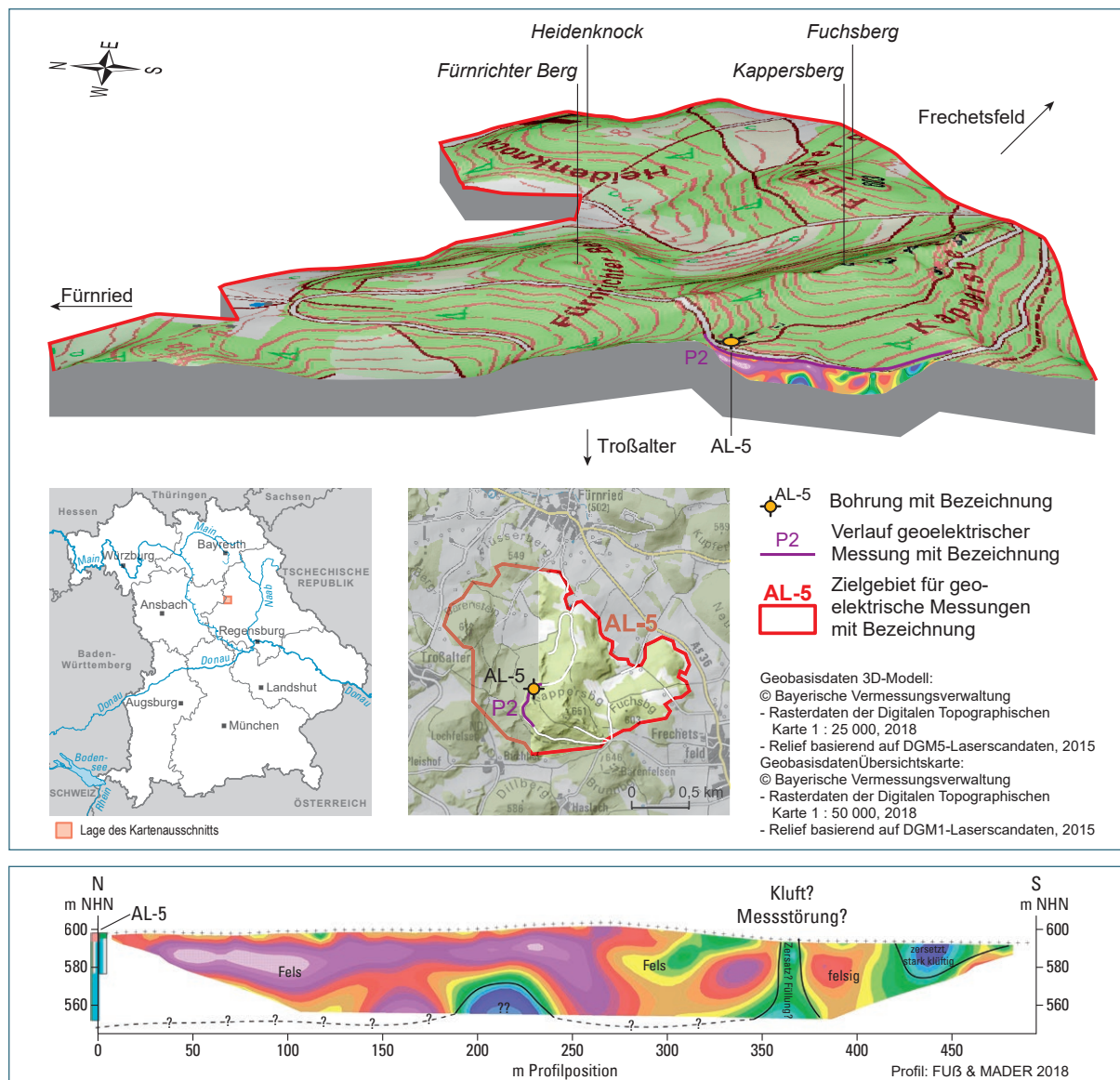


Abb. 60: Oben: Verlauf des dreidimensional eingehängten Messprofils in der Nähe der Bohrlokation AL-5.
 Abb. 61: Unten: Ergebnis der Multielektrodenmessung im Untersuchungsgebiet AL-5.

Durch die natürliche Geländemorphologie im Zusammenhang mit dem messtechnikbedingten Auskeilen des Geoelektrik-Profiles sind keine Widerstandsdaten im unmittelbaren Anschluss der Erkundungsbohrung AL-5/1 und AL5/2 gemessen worden. Aufgrund des Bohrergebnisses kann davon ausgegangen werden, dass in nördlicher Fortsetzung des Messprofils ein relativ stark geklüfteter Dolomitstein (zum Teil mit Zersatzzonen) ansteht, der in der Tiefe in festeren Dolomitstein übergehen könnte.

Tab. 7: Auswertung der geoelektrischen Profilmessung mit geologischer Interpretation.

Spezifischer elektrischer Widerstand [Ohm*m]	Anteil laut Multielektrodenmessung [%]	Geologische Interpretation
>1400	51,2	Massives Carbonatgestein
>500–1400	40,1	Klüftiges Carbonatgestein
>250–500	8,3	Gesteinszersatz (z. B. Dolomitsand)
<250	0,4	Bindiges Material (z. B. Lehm)

AL-8

Das Profil über die Bohrung AL-8 (Abb. 62 und Abb. 63) zeigt stark zersetzte Zonen im Untergrund, vor allem in Richtung Osten. Der Festgesteinsanteil ist mit ca. 55 % relativ gering (Tab. 8). Die Bohrung durchteuft, wie auch die Kernansprache zeigt, einen Bereich, in dem fester Fels ansteht.

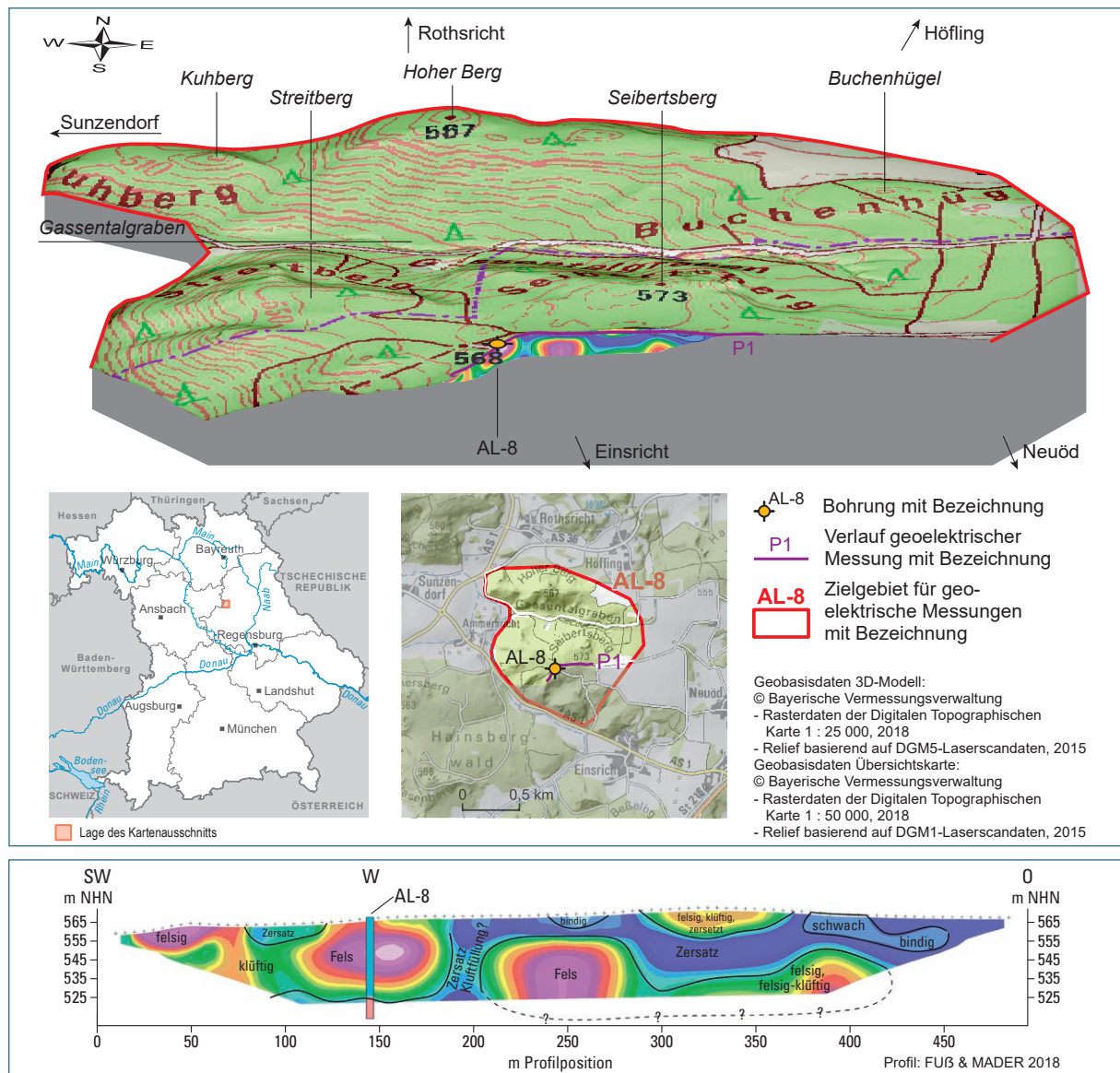


Abb. 62: Oben: Verlauf des dreidimensional eingehängten Messprofils in der Nähe der Bohrlotation AL-8.
 Abb. 63: Unten: Ergebnis der Multielektrodenmessung im Untersuchungsgebiet AL-8.

Tab. 8: Auswertung der geoelektrischen Profilmessung mit geologischer Interpretation.

Spezifischer elektrischer Widerstand [Ohm*m]	Anteil laut Multielektrodenmessung [%]	Geologische Interpretation
>1400	20,95	Massives Carbonatgestein
>500–1400	33,89	Klüftiges Carbonatgestein
>250–500	25,89	Gesteinszersatz (z. B. Dolomitsand)
<250	19,27	Bindiges Material (z. B. Lehm)

In westlicher und östlicher Richtung schließen sich, durch Zersatzzonen getrennt, weitere Bereiche mit festerem Gestein an. Unklar ist, inwieweit sich diese Strukturen in dreidimensionaler Richtung fortsetzen.

AL-9

Die Profillinie in der Nähe der Bohrung AL-9 (Abb. 64 und Abb. 65) führt in einem gewissen Abstand um diese Bohrung herum, da sie auf dem höchsten noch erreichbaren Punkt im Gebiet auf einem Rückweg, etwas abseits vom Hauptweg, abgeteufelt wurde. Das geoelektrische Profil weist große Unterschiede im Untergrund auf.

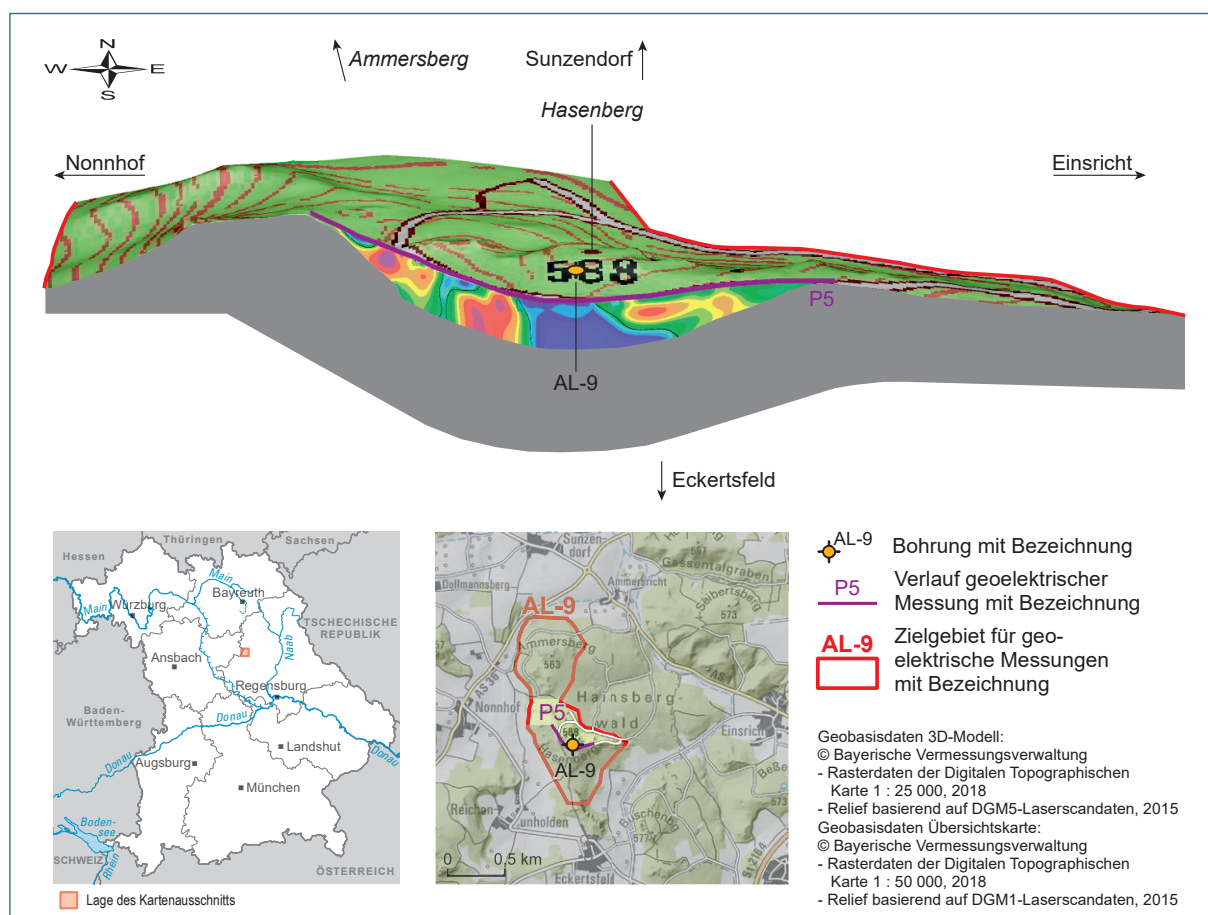


Abb. 64: Verlauf des dreidimensional eingehängten Messprofils in der Nähe der Bohrlokation AL-9.

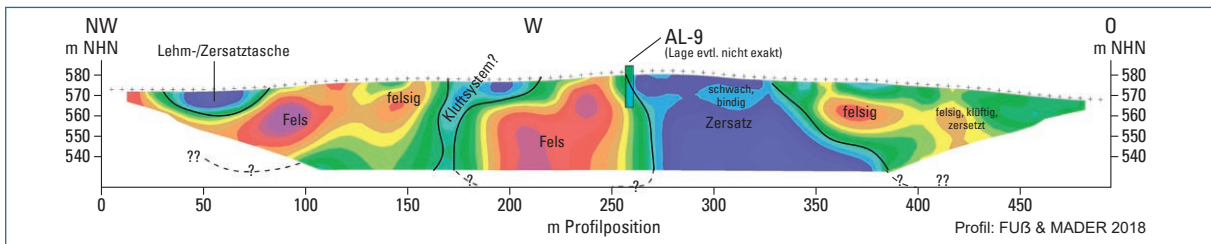


Abb. 65: Ergebnis der Multielektrodenmessung im Untersuchungsgebiet AL-9.

Bereiche mit festerem und weniger festem Gestein wechseln sich ab; der Festgesteinsanteil liegt bei ca. 64 % (Tab. 9).

Tab. 9: Auswertung der geoelektrischen Profilmessung mit geologischer Interpretation.

Spezifischer elektrischer Widerstand [Ohm*m]	Anteil laut Multielektrodenmessung [%]	Geologische Interpretation
>1400	15,70	Massives Carbonatgestein
>500–1400	48,71	Klüftiges Carbonatgestein
>250–500	27,29	Gesteinszersatz (z. B. Dolomitsand)
<250	8,31	Bindiges Material (z. B. Lehm)

Lau-1

Die beiden folgenden Profile in West-Ost-, beziehungsweise Süd-Nord-Richtung (Abb. 66 und Abb. 67) stehen fast senkrecht aufeinander und sollen eine „quasi“ dreidimensionale Erkundung ermöglichen. Auf dem abfallenden östlichen, sowie dem ansteigenden nördlichen Bereich des Messgebiets kann oberflächennah ein Zersetzung mit tieferreichender Verbreitung (etwa 10 m) und einer wahrscheinlichen Lehmfüllung ermittelt werden, worauf in die Tiefe fester Fels oder im Osten felsig-klüftiges Gestein folgt. Der ermittelte Festgesteinsanteil liegt bei ca. 73 % (Tab. 10).

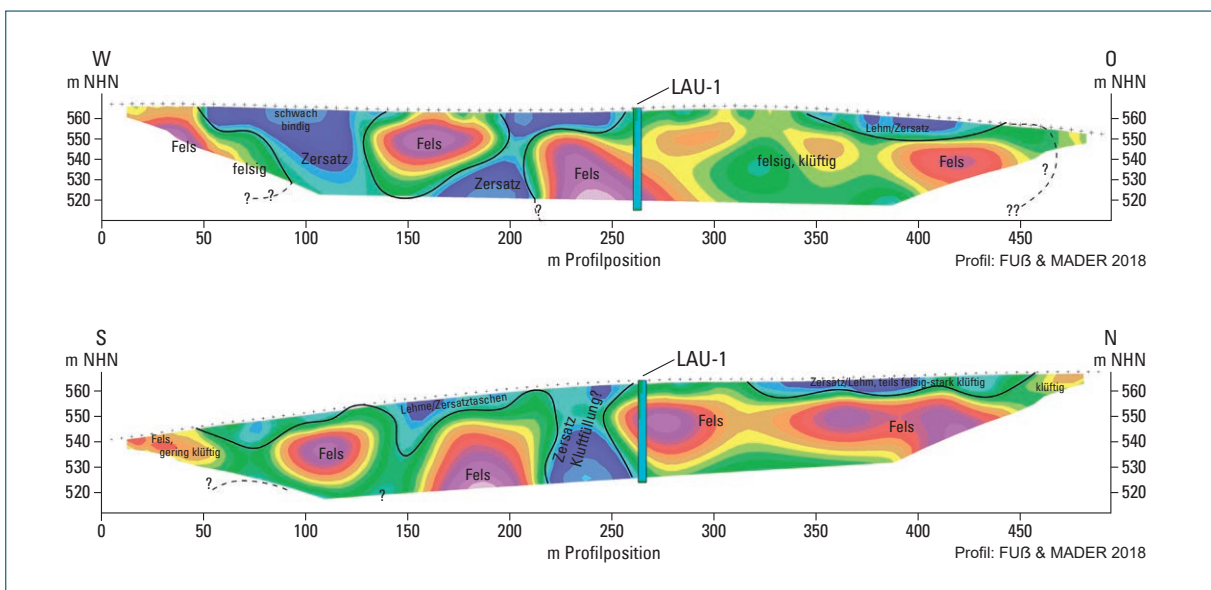


Abb. 66: Ergebnis der Multielektrodenmessung im Untersuchungsgebiet LAU-1.

Oben: Profil über die Bohrung LAU-1. West-Ost-Profil.

Unten: Profil über die Bohrung LAU-1. Nord-Süd-Profil.

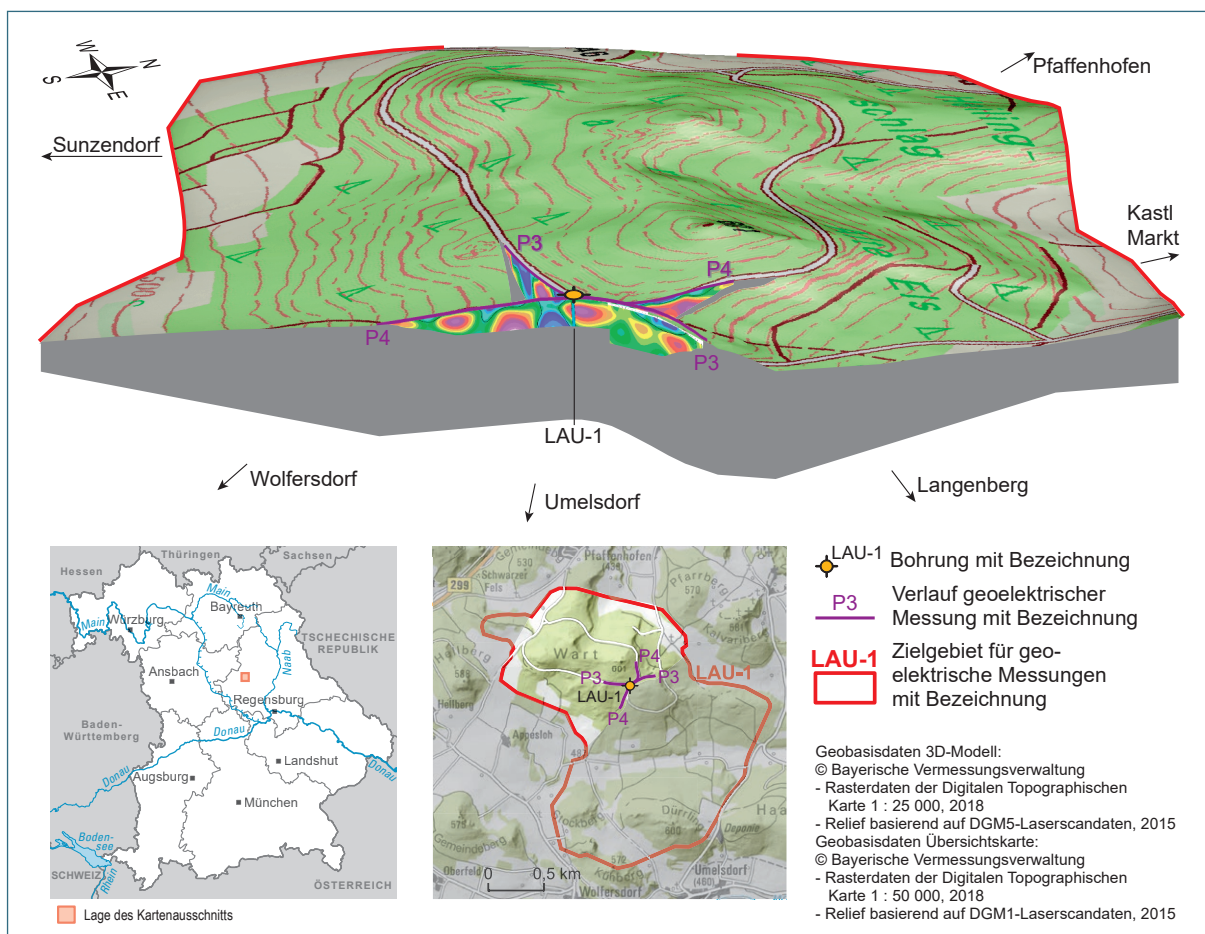


Abb. 67: Verlauf des dreidimensional eingehängten Messprofils in der Nähe der Bohrlokation LAU-1.

Tab. 10: Auswertung der geoelektrischen Profilmessung mit geologischer Interpretation.

Spezifischer elektrischer Widerstand [Ohm*m]	Anteil laut Multielektrodenmessung [%]		Geologische Interpretation
	Lau-1 *P3*	Lau-1 *P4*	
>1400	17,17	20,95	Massives Carbonatgestein
>500–1400	53,88	53,26	Klüftiges Carbonatgestein
>250–500	20,96	22,40	Gesteinszersatz (z. B. Dolomitsand)
<250	7,99	3,39	Bindiges Material (z. B. Lehm)

In der westlichen und südlichen Hälfte wurden größere und sehr tief (40–50 m) reichende Zersatzzonen und Klüfte gefunden, die wahrscheinlich lehmgefüllt sind.

4.5 Kubaturberechnung der Rohstoffkörper

Mit den aus den Kernbohrungen und anschließenden geophysikalischen Untersuchungen der Zielgebiete gewonnenen Informationen sowie den Aussagen aus der digitalen GK25 konnte eine überschlägige Kubatur-Berechnung des Rohstoffs im Untersuchungsgebiet, zumindest bis zu einer Explorationsgrenze, die 50 m unterhalb des Bohransatzpunkts liegt, durchgeführt werden.

Die überschlägig berechneten Vorkommen können jedoch lediglich Orientierungswerte darstellen. Die vorgenommenen Vereinfachungen auf Basis einer Kernbohrung je Untersuchungsgebiet sowie ein bis zwei Geophysik-Profilen sind unter Umständen positiv überbewertete Annahmen, weshalb für eine aussagekräftigere Mengenberechnung eine engräumige Erkundungskampagne unumgänglich ist.

Auf Grundlage der ArcGIS-Erweiterung 3D-Analyst wurde mit dem Werkzeug „Oberflächenvolumen“ das Volumen des jeweiligen Gebiets von der Geländeoberfläche bis maximal zur gesetzten Liegendgrenze ermittelt. Davon wurde ein Abraum-Anteil von 10 % abgezogen. Abzüglich dieser Abraum-Volumina für die Humus- und Bodenbedeckung ergeben sich Gesteinsmengen, von denen anschließend, basierend auf den Ergebnissen der geoelektrischen Messungen, Rohstoff einschränkende Faktoren (wie Verkarstungsstrukturen und so weiter) herausgerechnet und der theoretisch gewinnbare Rohstoff-Anteil pro Gebiet ermittelt wurde (Tab. 11). Mögliche weitere Rohstoff-Verluste durch eine spezielle Abbaugeometrie, Böschungswinkel, erforderliche Zufahrtsrampen sowie Sicherheitsbärmen (oder ähnliches) wurden hier nicht weiter berücksichtigt.

Tab. 11: Theoretisch nutzbare Rohstoffmengen in den einzelnen Zielgebieten.

Zielgebiet		AL-5	AL-8	AL-9	LAU-1
Bohransatzpunkt	[m. ü. NN]	600,0	565,0	586,0	564,0
Teufe der Explorationsgrenze	[m. ü. NN]	550,0	515,0	536,0	514,0
Theoretische Gesteinsvolumina bis Explorationsgrenze	[Mio m ³]	41,6	33,5	9,4	58,3
Abraum (10 % der theoretischen Gesteinsvolumina)	[Mio m ³]	4,2	3,3	0,9	5,8
Theoretische Gesteinsvolumina ohne Abraum	[Mio m ³]	37,4	30,1	8,4	52,5
Festgesteinsanteil auf Grundlage der geoelektrischen Messung	[%]	91,0	55,0	64,0	73,0
Ermittelte Gesteinsvolumina	[Mio m ³]	34,0	16,6	5,4	38,3

Für die Berechnung einer überschlägigen Tonnage der erkundeten Vorkommen wird zusätzlich die Gesteinsdichte benötigt. Diese wurde nach DIN EN 1936:2006 für das jeweilige Zielgebiet ermittelt (Tab. 12, sowie Gesamtergebnistabelle Tab. 27 im Anhang). Für die untersuchten Erkundungsgebiete ergab sich in Summe eine Rohstoffmenge von ca. 244 Mio. t (Tab. 12). Aufgrund der zahlreichen Annahmen und Vereinfachungen ist dieser Wert als eine erste grobe Schätzung zu verstehen. Für eine aussagekräftigere Mengenermittlung wird eine engräumigere Erkundungskampagne empfohlen.

Tab. 12: Berechnung der Tonnage der jeweiligen Zielgebiete.

Zielgebiet		AL-5	AL-8	AL-9	LAU-1
Dichte	[g/m ³]	2,56	2,63	2,67	2,59
Volumen	[Mio m ³]	34,0	16,6	5,4	38,3
Tonnage	[Mio t]	87,1	43,6	14,4	99,3

5 Auswertung

Die mit den unterschiedlichen Untersuchungs- und Bewertungsmethoden ermittelten und im vorherigen Kapitel dargestellten Erkenntnisse führten zu einer Eingrenzung auf potenzielle Vorkommen.

5.1 Potenzialgebiete nach Vorerkundungsergebnissen

Insgesamt konnten bei der Vorerkundung mit oberflächennahen Stichproben 28 Erkundungsgebiete zur Kategorie „reiner Dolomit“ gezählt werden. Die 24 Gebiete, in denen in dieser Studie keine Detailerkundung vorgenommen worden war, könnten sich dennoch für weiterführende Erkundungsbohrungen eignen. Daneben könnten zukünftig auch weitere, in dieser Studie nicht oder schlechter bewertete Vorkommen interessant werden. 29 Erkundungsgebiete zählen zu Kategorie III und acht zu Kategorie IV (Abb. 68). Der Rohstoff der Kategorie II und III eignet sich für die Herstellung einfachem Glas, Düngemittel und Stahl. In allen Zielgebieten sind die Eisengehalte generell in zu hohen Werten vertreten, um die Merkmale von Kategorie I zu erreichen.

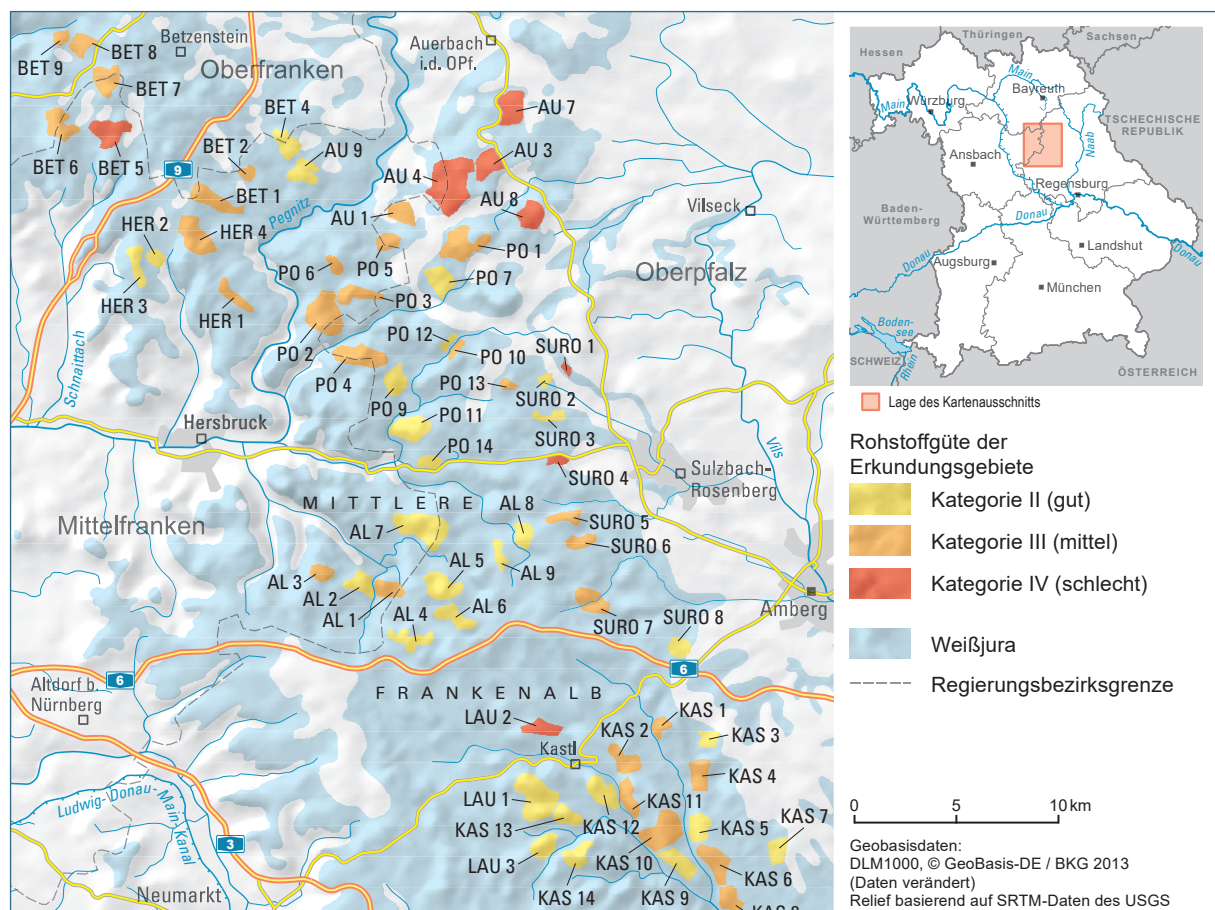


Abb. 68: Bewertung und Einstufung der 65 Erkundungsgebiete anhand der Vorerkundungsproben in Kategorie II, III und IV.

5.2 Steckbriefe der Rohstoffvorkommen

Potenzialgebiet 1 – AL-5

Das Potenzialgebiet AL-5 befindet sich nördlich der A6, westlich des Ortes Frechetsfeld (Birgland) zwischen den Ortschaften Eckeltshof (Buchhof) im Süden und Fürnried im Norden. Das Vorkommen sitzt auf einer Höhenlage, aufgebaut aus Kappersberg, Brunenberg mit Bärenfels und Fuchsberg. Die Fläche ist größtenteils bewaldet. Das Gebiet liegt innerhalb des Geltungsbereiches des LSG „Högenbachtal, Lichtenegg, Beselberg mit westl. Birgland“. Östlich und nördlich des Vorkommens befinden sich Trinkwasserschutzgebiete und ein vorgeschlagenes Schutzgebiet Naturpark/Schutzzone. Im Osten ist in einer Entfernung von etwa 500 m das Wasserschutzgebiet Brunnen II (Frechetsfeld). Die Anbindung an die Autobahn ist mit einer Entfernung von 6 km bei nur einer Ortsdurchfahrt als positiv zu bewerten. Eine Bahnstrecke befindet sich nicht in unmittelbarer Umgebung.

Die Gesteine innerhalb des Gebiets gehören lithologisch größtenteils zu den Formationen des Riff- oder Schwammrasendolomits des mittleren, beziehungsweise unteren Abschnitts der Frankenalb-Formation (wFrm,D / wFru,D). Im östlichen Bereich liegen sowohl die Bronn-Subformation der Pottenstein-Formation, die Fürnried-Subformation und die Torleite-Formation der Weißjura-Schichtfazies als auch Braunkalke (Riffrandkalke) der Weißjura-Massenfazies vor. Oberflächennah wird das Gestein partiell von jüngeren Bildungen, bestehend aus kreidezeitlichen Formationen, Ablehm und kolluvialer Füllung der Trockentäler, überlagert, die jedoch keine allzu große Mächtigkeit erreichen.

Das untersuchte Areal besitzt eine Flächengröße von ca. 2 km². Zur Untersuchung der Rohstoffqualität wurden fünf Beprobungen an der Oberfläche durchgeführt und zwei Kernbohrungen (partiell massive Kernverluste) mit Teufen von 22 m beziehungsweise 47 m abgeteuft (Abb. 69). Die Dichte des erbohrten Dolomitsteins schwankt zwischen 2,25 und 2,71 g/cm³ ($\bar{\rho}$ 2,56 g/cm³) und die ermittelte Porosität liegt bei 3,15 bis 18,48 Vol.-% ($\bar{\rho}$ 7,20 Vol.-%). Die überwiegende Rohstoffqualität lag im Bereich eines reinen bis technischen Dolomits (Tab. 13), der obere Bereich des Vorkommens von etwa 5 m bis in eine Teufe von 41 m weist eine bessere Qualität auf als der Bereich ab etwa 41 m Teufe. Hier nehmen Eisengehalte zu, während Magnesiumgehalte abnehmen. In Analogie zur Geochemie zeigt auch die strukturelle Beschaffenheit des Dolomitsteins Unterschiede in Abhängigkeit der Tiefe. Es sind sowohl zuckerkörnige Bereiche vorhanden die zum Absanden neigen (zum Beispiel zwischen 20 und 28 m), als auch dichtere Partien ausgebildet, die deutlich fester und abrasionsresistenter sind (zum Beispiel zwischen 28 und 40 m). Die geoelektrische Erkundung ermittelte einen Festgesteinsanteil von 91 %.

Tab. 13: Ermittelte Oxidgehalte des erbohrten Dolomitsteins (n = 36) im Potenzialgebiet 1 – AL-5.

Oxide	SiO ₂ [Gew.-%]	Al ₂ O ₃ [Gew.-%]	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%]	MgO [Gew.-%]	CaO [Gew.-%]	P ₂ O ₅ [Gew.-%]
Minimum	<0,01	0,13	0,09	18,11	31,11	0,02
Maximum	0,40	0,41	0,45	21,14	35,12	0,05
Arithmetisches Mittel	0,15	0,28	0,22	19,80	32,75	0,04

Auf Grundlage dieser Parameter konnte eine erste ArcGIS-basierte Berechnung der möglichen Tonnage des Rohstoffkörpers von 87 Mio t ermittelt werden. Die Rohstoffqualitäten erlauben zum Teil eine Verwendung des Dolomitsteins für die Herstellung von normalem Glas (Hohlglas, Behälterglas, etc.), zur Eisen- und Stahlherstellung, sowie aufgrund überdurchschnittlicher Farbkennwerte des gebrannten Dolomits ($L^* = 92,00$; $a^* = 0,83$; $b^* = 5,34$) gegebenenfalls auch zur Verwendung bei der Papierherstellung. Aufgrund der teilweise massiven Verkarstungserscheinungen ist eine weiterführende Detailerkundung und später (im Falle einer Gewinnung) ein selektiver Abbau unumgänglich.

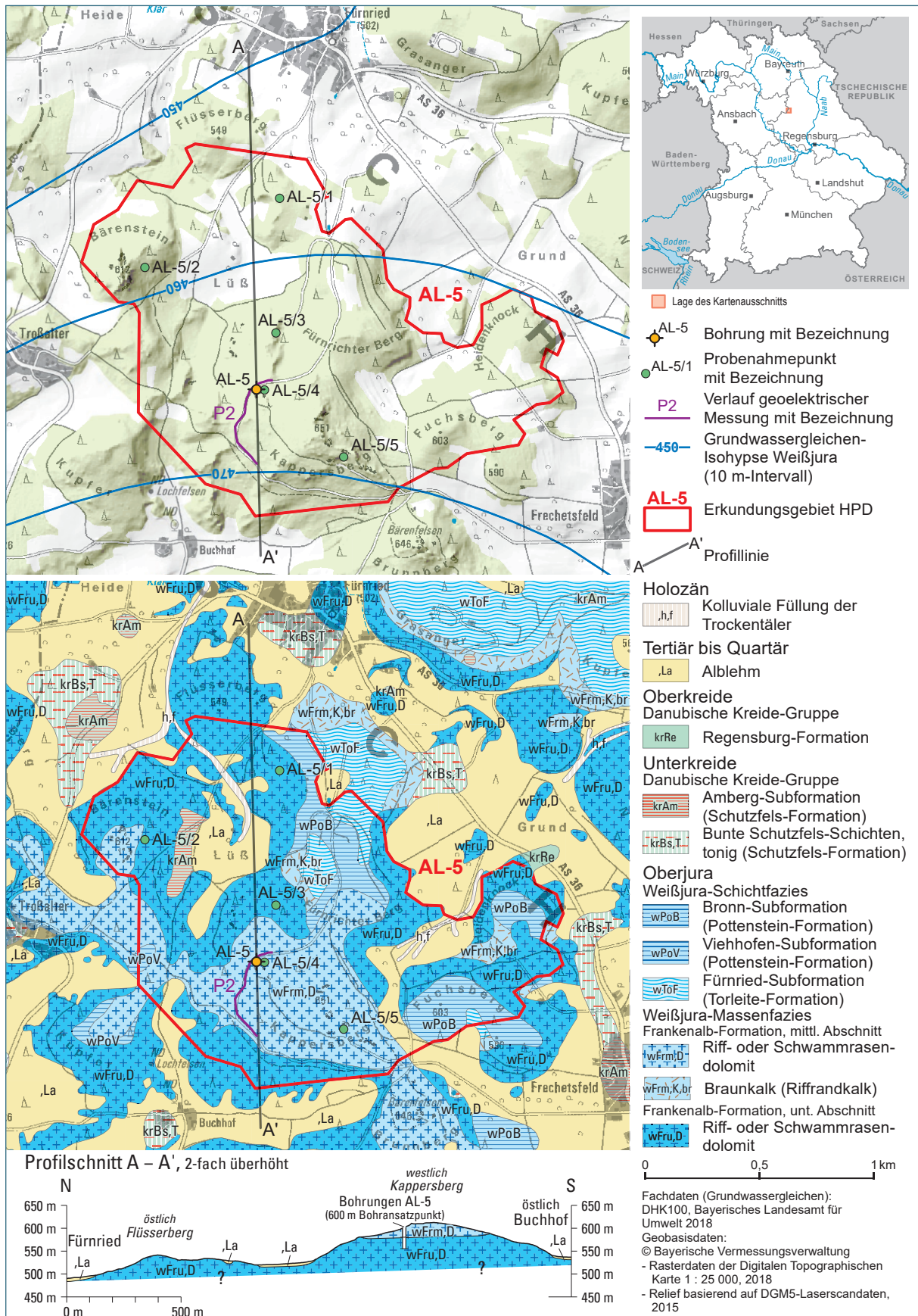


Abb. 69: Lage des Potenzialgebiets AL-5 mit Profilschnitt und Probenlokationen.

Potenzialgebiet 2 – AL-8

Das Potenzialgebiet AL-8 liegt zwischen den Ortschaften Höfling im Norden, Einsricht im Süden und Ammersricht im Westen und wird hauptsächlich forstwirtschaftlich genutzt. Ein Großteil der Fläche ist bewaldet. Das Vorkommen befindet sich auf einer Höhenlage, aufgebaut aus den Erhebungen Hoher Berg, Streitberg, Seibertsberg und Talberg. Es bestehen keine Einschränkungen durch Naturschutzgebiete, Wasserschutzgebiete oder ähnliches. Das Gebiet ist jedoch als landschaftliches Vorbehaltsgebiet und als vorgeschlagenes Schutzgebiet Naturpark eingestuft. Im Westen, in etwa 800 m Entfernung, liegt ein Wasserschutzgebiet (WSG (Br III und Br IV) ZV Bachetsfeldgruppe, Gemeinde Birgland und Illschwang), das sich von Fürnried im Süden bis kurz vor Büchelberg im Norden erstreckt. Über die Staatsstraße 2164 ist die A6 in etwa 5 km zu erreichen. Einsricht und das Gewerbegebiet von Neuöd wurden nicht als Ort für eine Ortsdurchfahrt (und dementsprechend als negativen raumplanerischen Einfluss) gewertet, da es keine Engstellen oder enge Kurvenradien zu überwinden gilt. Eine Bahnstrecke befindet sich nicht in unmittelbarer Umgebung.

Die Gesteine innerhalb des Gebiets sind lithologisch größtenteils aus Riff- oder Schwammrasendolomit des unteren Abschnitts der Frankenalb-Formation (wFru,D) aufgebaut. Im Osten wird die Viehhofen-Subformation (Pottenstein-Formation) partiell von jüngeren Bildungen (Ablehm und tonige Bunte Schutzfels-Schichten) überlagert. Eingeschnittene Trockentäler enthalten eine kolluviale Füllung. Im Süden ist noch ein kleiner Rest des Riff- oder Schwammrasendolomits des mittleren Abschnitts der Frankenalb-Formation (wFrm,D) erhalten.

Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von ca. 1,3 km². Es wurden fünf Probenahmen an der Oberfläche durchgeführt und zusätzlich eine Kernbohrung mit einer Teufe von 57 m niedergebracht (Abb. 70). Die Beschaffenheit des erbohrten Dolomits ist stark heterogen. Es existieren nur vereinzelt feste Partien (zum Beispiel bei 20 m), der überwiegende Teil liegt fragmentiert vor. Die Dichte des erbohrten Dolomitsteins schwankt zwischen 2,58 und 2,67 g/cm³ ($\bar{\rho}$ 2,63 g/cm³) und die ermittelte Porosität beträgt 2,59 bis 7,22 Vol.-% ($\bar{\rho}$ 4,67 Vol.-%). Die Rohstoffqualität liegt aufgrund hoher Gehalte von Störelementen (vor allem SiO₂, bedingt durch zahlreiche im Gestein vorkommende Kieselknollen, vergleiche Tab. 14) überwiegend im Bereich eines technischen und rohen Dolomits. Die durchgeführte geoelektrische Erkundung ermittelte einen Festgesteinsanteil von 55 %.

Tab. 14: Ermittelte Oxidgehalte des erbohrten Dolomitsteins (n = 8) im Potenzialgebiet 2 – AL-8.

Oxide	SiO ₂ [Gew.-%]	Al ₂ O ₃ [Gew.-%]	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%]	MgO [Gew.-%]	CaO [Gew.-%]	P ₂ O ₅ [Gew.-%]
Minimum	0,52	0,29	0,11	14,53	22,36	0,03
Maximum	30,31	1,14	0,75	20,69	31,32	0,13
Arithmetisches Mittel	4,98	0,51	0,40	19,64	29,84	0,06

Eine erste, auf diesen Daten basierende ArcGIS-Modellierung des Rohstoffkörpers ergab eine Tonnage von ca. 44 Mio. t. Bedingt durch hohe Störelementgehalte eignet sich der untersuchte Rohstoff nur für die Verwendung in der Düngemittelindustrie. Aufgrund überdurchschnittlicher Farbkennwerte des gebrannten Dolomits ($L^* = 89,25$; $a^* = 0,69$; $b^* = 6,96$) ist gegebenenfalls auch eine Nutzung im Bereich der Papierherstellung denkbar. Wegen der zum Teil massiven Verkarstungserscheinungen ist eine weiterführende Detailerkundung und später (im Falle einer Gewinnung) ein selektiver Abbau unumgänglich.

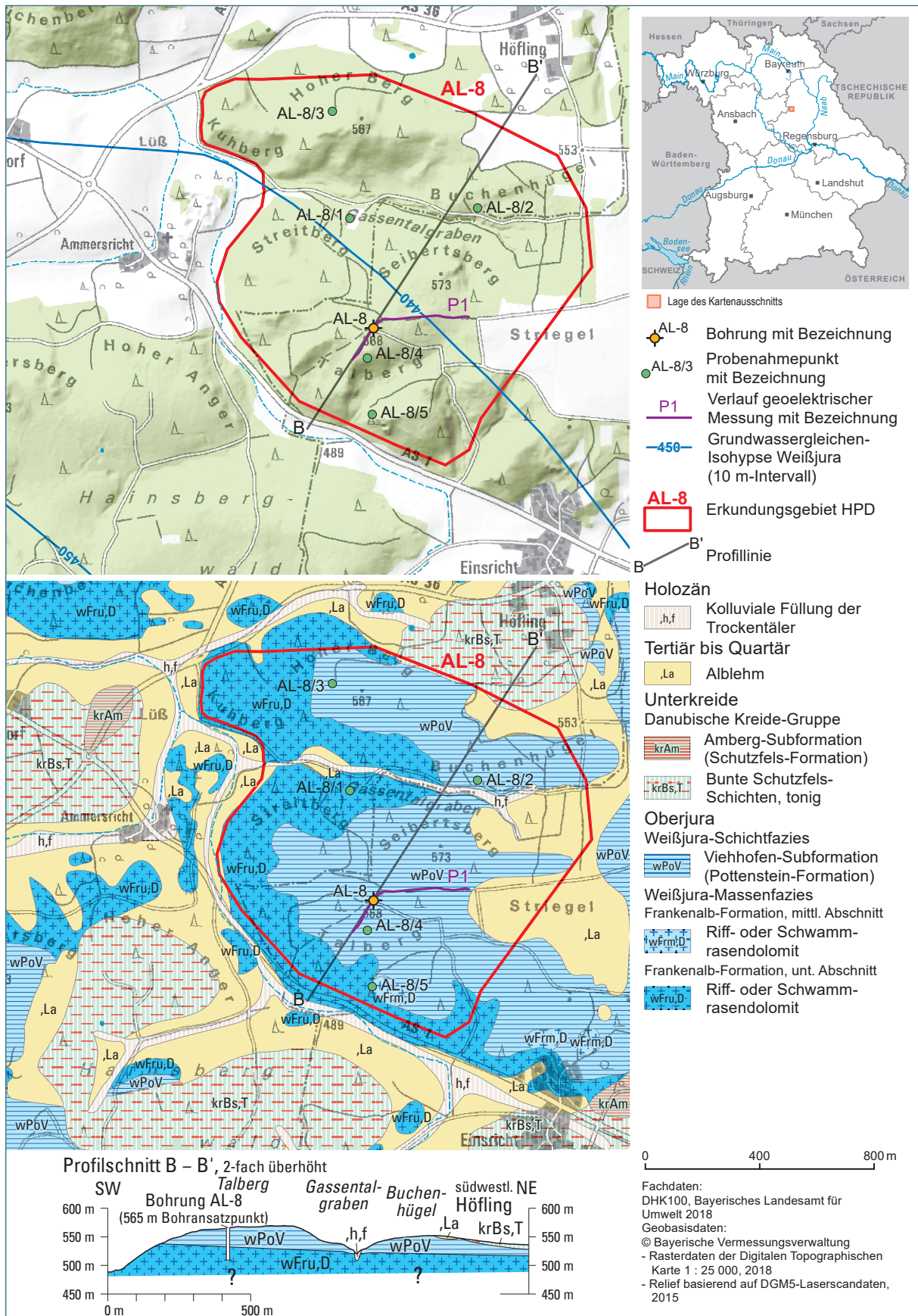


Abb. 70: Lage des Potenzialgebiets AL-8 mit Profilschnitt und Probenlokalitionen.

Potenzialgebiet 3 – AL-9

Das Gebiet AL-9 befindet sich nördlich der A6 zwischen den Orten Nonnhof im Westen, Eckertsfeld im Süden, Einsricht im Osten, Ammersricht im Norden und wird überwiegend forstwirtschaftlich genutzt. Ein Großteil der Fläche ist bewaldet. Das Vorkommen befindet sich auf einer Höhenlage, aufgebaut aus Ammersberg und Hasenberg und besitzt keine Einschränkungen durch Naturschutzgebiete, Wasserschutzgebiete oder ähnliches. Das Gebiet ist jedoch als landschaftliches Vorbehaltsgebiet und als vorgeschlagenes Schutzgebiet Naturpark eingestuft. Im Nordwesten, in etwa 200 m Entfernung, liegt ein Wasserschutzgebiet (WSG (Br III und Br IV) ZV Bachetsfeldgruppe, Gemeinde Birgland und Illschwang), das sich von Fürnried im Süden bis kurz vor Büchelberg im Norden erstreckt. Über die Landesstraße St 2164 ist die A6 in etwa 7 km Entfernung zu erreichen.

Die Gesteine innerhalb des Gebiets sind lithologisch größtenteils aus Riff- oder Schwammrasendolomit des unteren Abschnitts der Frankenalb-Formation (wFru,D) aufgebaut. Im Osten wird die Viehhofen-Subformation (Pottenstein-Formation) partiell von jüngeren Bildungen (Alblehm und tonige bunte Schutzfels-Schichten) überlagert. Im Süden folgen die Formationen des Riff- oder Schwammrasendolomits des mittleren Abschnitts der Frankenalb-Formation (wFrm,D) sowie die Fürnried-Subformation der Torleite-Formation der Weißjura-Schichtfazies.

Das Untersuchungsgebiet besitzt eine Flächengröße von 0,7 km² (Abb. 71). Es wurden sechs Probenahmen an der Oberfläche durchgeführt und eine Kernbohrung mit einer Teufe von 21 m niedergebracht (mit teilweise massiven Kernverlusten). Die Dichte des erbohrten Dolomits beträgt 2,67 g/cm³ und die ermittelte Porosität liegt bei 3,17 Vol.-%. Der überwiegende Teil des Bohrkerns liegt stark fragmentiert vor und die Beschaffenheit des Dolomits schwankt zwischen zuckerkörnig (zum Absanden neigendem) und deutlich festerem Dolomit. Bis auf eine Tiefe von ca. 10 m wurde Dolomitsandbildung mit eingelagertem Dolomitstein-Verwitterungsschutt angetroffen. Die geochemische Analyse der Dolomitgesteinsproben zeigte, dass die Magnesiumgehalte mit zunehmender Tiefe ungünstiger werden (ab 17 m). Die überwiegende Rohstoffqualität lag im Bereich eines reinen bis technischen Dolomits (Tab. 15) und die Farbwertmessung am gebrannten Rohstoff erzielte gute Ergebnisse ($L^* = 93,64$; $a^* = 1,01$; $b^* = 5,19$). Die durchgeführte geoelektrische Erkundung ermittelte einen Festgesteinsanteil von 64 %.

Tab. 15: Ermittelte Oxidgehalte des erbohrten Dolomitsteins (n = 4) im Potenzialgebiet 3 – AL-9.

Oxide	SiO ₂ [Gew.-%]	Al ₂ O ₃ [Gew.-%]	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%]	MgO [Gew.-%]	CaO [Gew.-%]	P ₂ O ₅ [Gew.-%]
Minimum	0,23	0,27	0,17	19,99	31,11	0,02
Maximum	0,63	0,59	0,21	20,95	32,20	0,03
Arithmetisches Mittel	0,46	0,46	0,18	20,60	31,69	0,03

Aufgrund technischer Schwierigkeiten musste die Erkundungsbohrung AL-9 bei einer Teufe von 21 m eingestellt werden. Das geologische Profil nach GLA (1979) zeigt hingegen, dass die Formation der Weißjura-Massenfazies (Riff- oder Schwammrasendolomit des unteren, beziehungsweise mittleren Abschnitts der Frankenalb-Formation) von der Bohrung nicht durchteuft wurde. In Anlehnung an die Ergebnisse der Vorerkundung dürften die Störelementgehalte in der Weißjura-Massenfazies in einem ähnlichen Bereich liegen, wie die des erbohrten Dolomitgesteins.

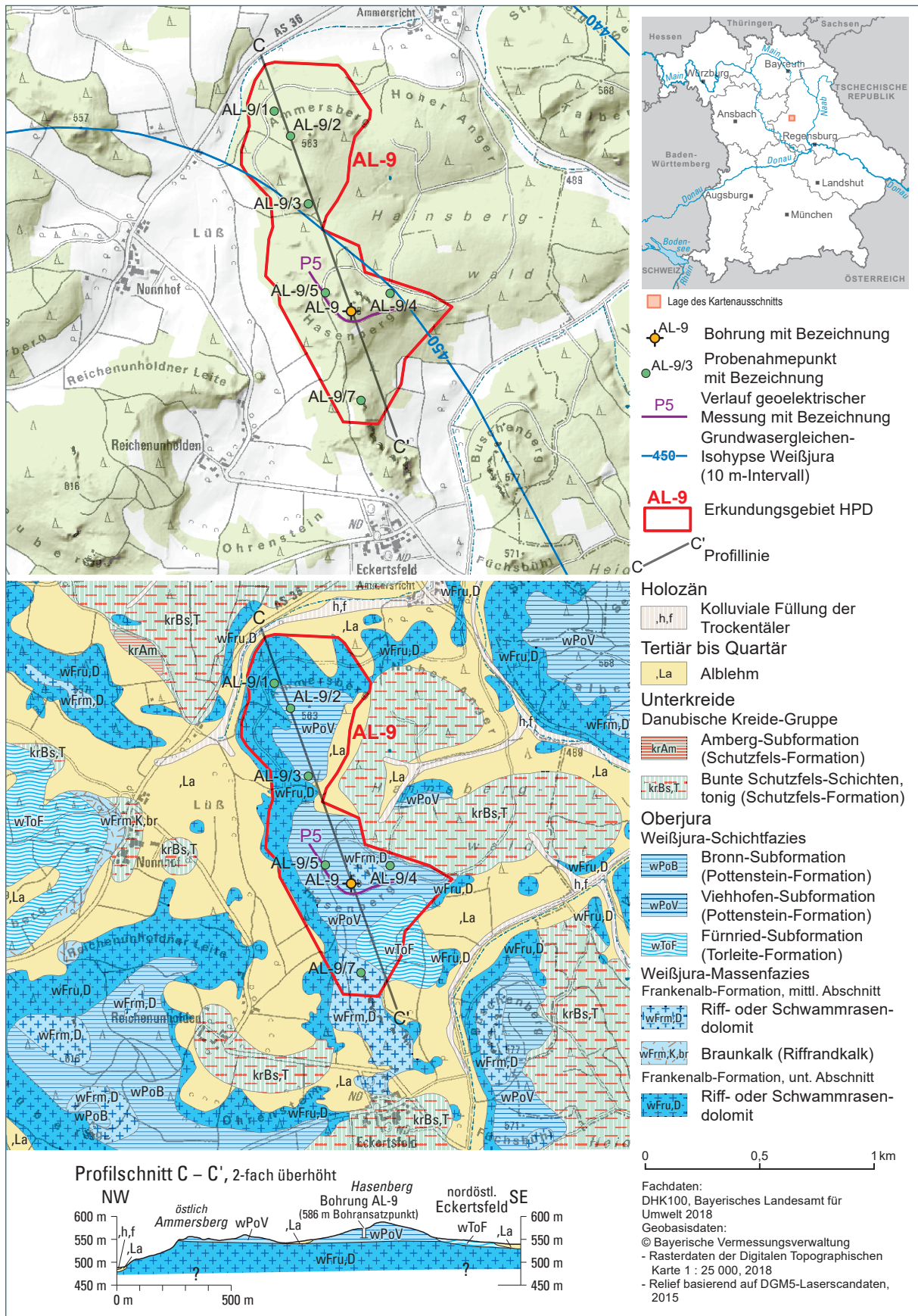


Abb. 71: Lage des Potenzialgebiets AL-9 mit Profilschnitt und Probenlokalitionen.

Eine auf diesen Parametern basierende erste ArcGIS-gestützte Berechnung einer möglichen Tonnage des Rohstoffkörpers ergab eine Menge von ca. 14 Mio. t. Aufgrund der hohen Störelementgehalte ist eine Verwendung des erkundeten Rohstoffs nur in der Eisen-, Stahl-, Düngemittel- und gegebenenfalls Papierindustrie denkbar. Aufgrund der teilweise massiven Verkarstungserscheinungen ist eine weiterführende Detailerkundung und später (im Falle einer Gewinnung) ein selektiver Abbau unumgänglich.

Potenzialgebiet 4 – LAU-1

Das Gebiet LAU-1 befindet sich südlich der Orte Pfaffenhofen und Kastl und nördlich von Wolfersdorf und Umelsdorf. Die nördlich des Gebiets gelegene Autobahn A6 ist entweder über die B 299 oder die St 2164 zu erreichen. Eine Bahnstrecke befindet sich nicht in unmittelbarer Umgebung. Ein Großteil der Fläche ist bewaldet. Das Gebiet wird zu etwa 80 % forstwirtschaftlich und zu etwa 20 % landwirtschaftlich genutzt. Das potenzielle Vorkommen LAU-1 befindet sich auf einer Höhenlage innerhalb des Geltungsbereiches des Landschaftsschutzgebiets „Lauterachtal“ sowie des Naturparks Hirschwald. Das Gelände liegt innerhalb des Bauschutzbereichs Radaranlage Mittersberg.

Das Gestein des Untersuchungsgebiets LAU-1 besteht hauptsächlich aus Rifffdolomit (wFru,D,r). Ganz im Westen des Gebiets tritt die dolomitisierte Arzberg-Formation (wA,D) und die Bernhof-Subformation (Pottenstein-Formation, wPoBe) auf und im Osten die dolomitisierte Hartmannshof-Formation (wH,D). Oberflächennah kann im Gebiet eine geringmächtige Überdeckung von Ablehm erwartet werden.

Das Untersuchungsgebiet besitzt eine Fläche von 3,6 km² (Abb. 72). Im Rahmen der Vorerkundung wurden sechs oberflächennahe Proben analysiert und in der Folge eine Kernbohrung mit einer Tiefe von 52,5 m niedergebracht. Die Dichte des erbohrten Dolomits schwankt zwischen 2,45 und 2,71 g/cm³ (\varnothing 2,59 g/cm³) und die ermittelte Porosität liegt bei 2,44 bis 10,14 Vol.-% (\varnothing 5,98 Vol.-%). Der überwiegende Teil des Bohrkerns liegt in als fester und abrasionsresistenter Dolomitstein vor und nur kleinere Abschnitte neigen zum Absanden. Die geochemische Analyse der Dolomite zeigte, dass die Magnesiumgehalte zum Teil deutlich schwanken, während die Störelemente meist einheitlich hoch sind (Tab. 16). Die Rohstoffqualität liegt im Bereich eines technischen bis rohen Dolomits; die durchgeführten geoelektrischen Erkundungen ergaben einen Festgesteinsanteil von 73 %.

Tab. 16: Ermittelte Oxidgehalte des erbohrten Dolomitsteins (n = 12) im Potenzialgebiet 4 – LAU-1.

Oxide	SiO ₂ [Gew.-%]	Al ₂ O ₃ [Gew.-%]	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%]	MgO [Gew.-%]	CaO [Gew.-%]	P ₂ O ₅ [Gew.-%]
Minimum	0,43	0,45	0,17	17,09	31,32	0,04
Maximum	1,66	0,91	0,46	20,70	35,43	0,10
Arithmetisches Mittel	0,86	0,59	0,29	19,22	33,05	0,05

Eine ArcGIS-basierte Modellierung des Rohstoffkörpers ergab eine überschlägige Tonnage von ca. 99 Mio. t. Bedingt durch partiell sehr hohe Störelementgehalte eignet sich der untersuchte Rohstoff für die Verwendung in der Eisen-, Stahl- oder Düngemittelindustrie. Aufgrund überdurchschnittlicher Farbkennwerte des gebrannten Dolomits ($L^* = 89,75$; $a^* = 0,45$; $b^* = 7,37$) ist gegebenenfalls auch eine Nutzung im Bereich der Papierherstellung denkbar. Aufgrund des geringen ermittelten Festgesteinsanteils ist eine weiterführende Detailerkundung und später (im Falle einer Gewinnung) ein selektiver Abbau unumgänglich.

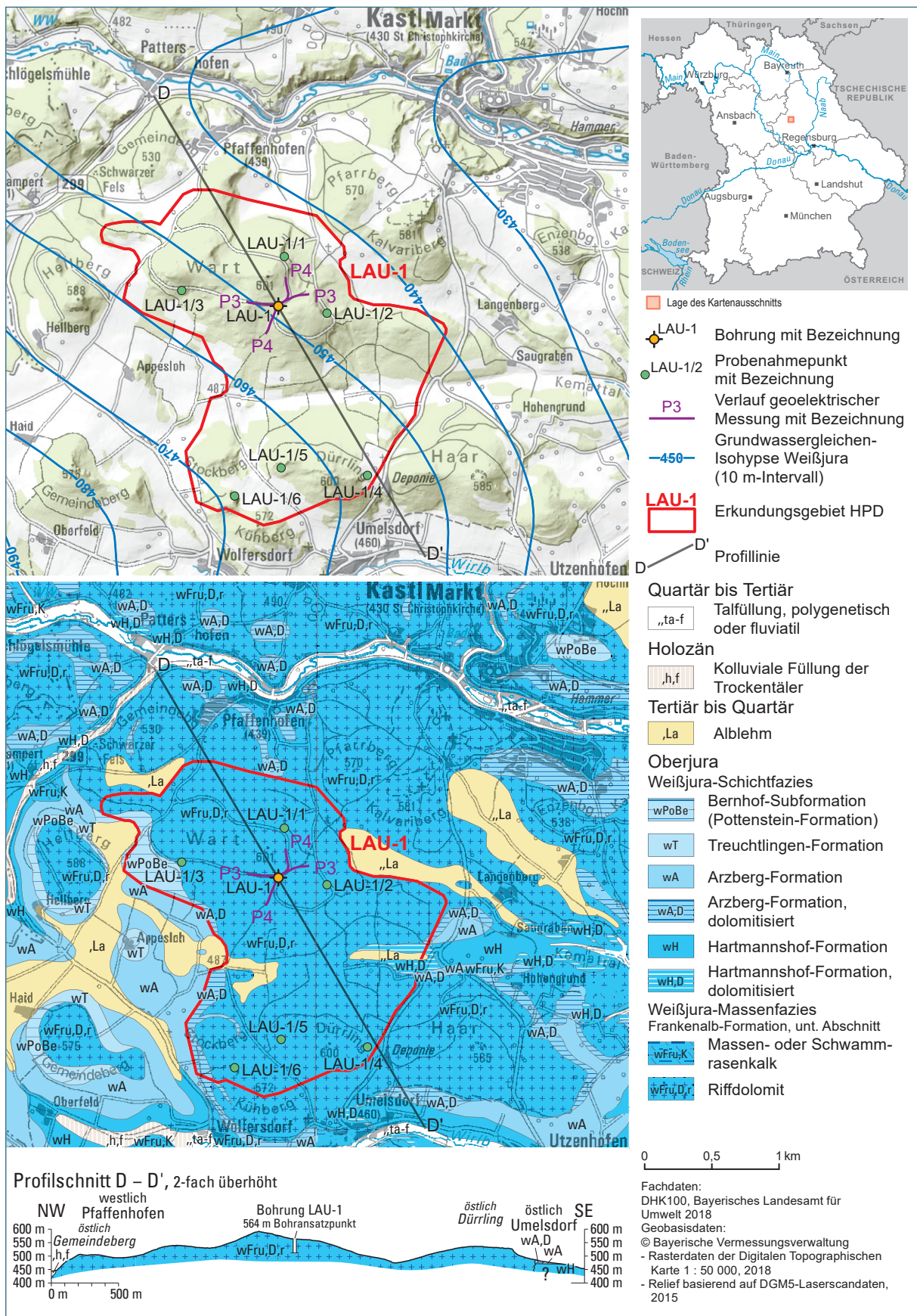


Abb. 72: Lage des Potenzialgebiets LAU-1 mit Profilschnitt und Probenlokalitionen.

5.3 Empfehlung für weiterführende Detailerkundung

In besonderem Maße ist der Kernbereich des Potenzialgebiets AL-5 um den Kappersberg hervorzuheben und für eine weiterführende Erkundung zu empfehlen. Wenngleich die durchgeführte Analytik sich vor allem an der westlichen Flanke des Bergs bei ca. 600 m über NN konzentrierte, besitzt dieser Bereich das größte rohstoffgeologische Potenzial der gesamten Studie. Es existieren Horizonte, deren geochemische Zusammensetzung sich für die Glasherstellung eignen würden und deren ermittelter Grad der Dolomitsteinverwitterung als relativ gering einzustufen ist.

Der höchste Punkt des Kappersbergs liegt auf 651 m und damit 51 m über dem Ansatzpunkt der Erkundungsbohrungen und des geoelektrischen Messprofils (Abb. 73). Typischerweise werden die Störelementgehalte mit zunehmender Tiefe ungünstiger. Dementsprechend kann davon ausgegangen werden, dass der Bereich des Kappersbergs, der über dem Bohransatzpunkt und der Profillinie der Multielektrodenmessung liegt, eine zumindest gleichwertige oder bessere geochemische Reinheit aufweist als die erbohrten Gesteine. Zusätzlich ist nach GLA (1979) die Formation der Weißjura-Massenfazies noch mindestens bis in eine Tiefe von ca. 500 m über NN anstehend.

Eine überschlägige ArcGIS basierte Berechnung des möglichen Dolomitstein-Vorrats ergab hier eine Menge von 33,2 Mio. t bis in eine Tiefe von 100 m (vom höchsten Punkt bei 651 m bis zur Erkundungsgrenze).

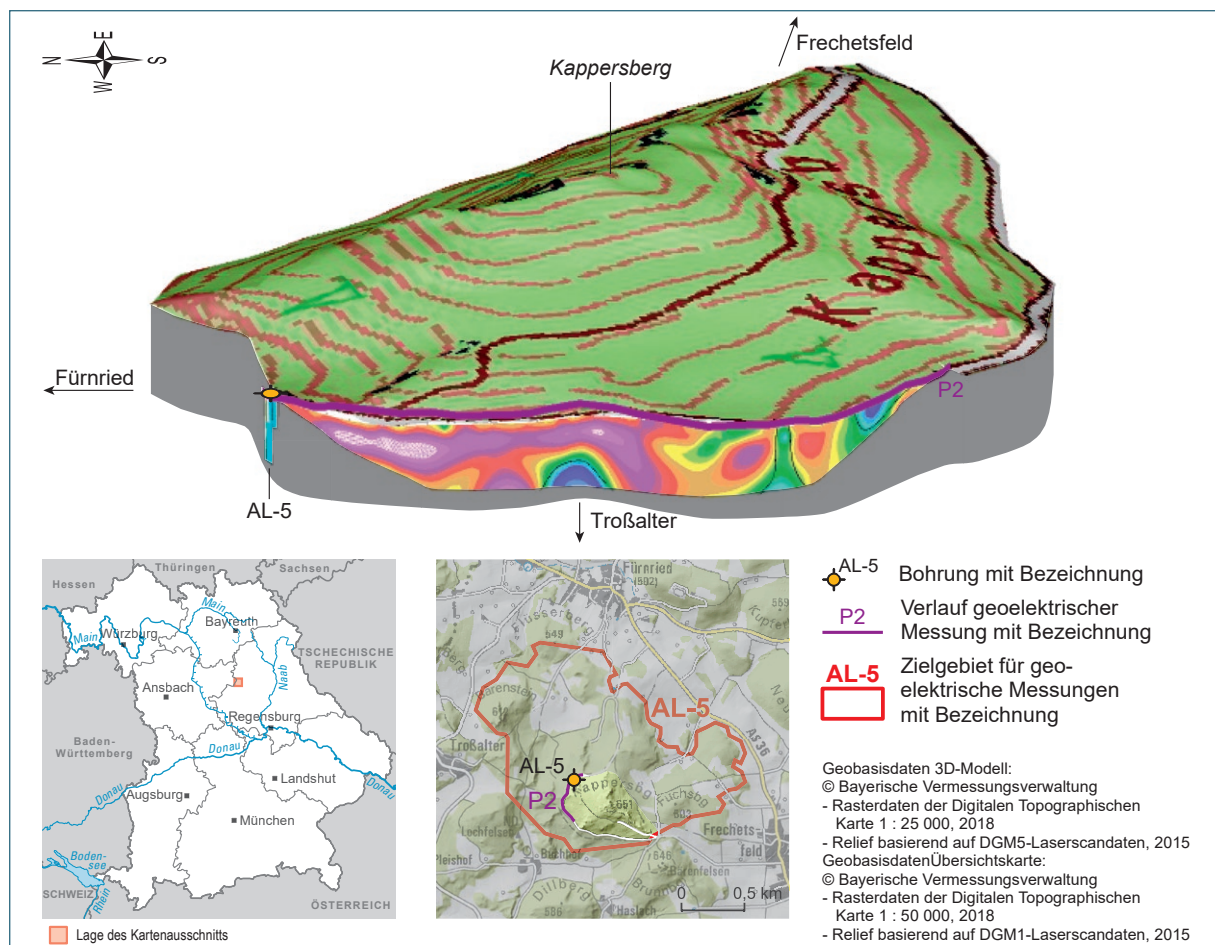


Abb. 73: Darstellung des Kappersberg aus Potenzialgebiet 1 (AL-5) mit den Ergebnissen der geoelektrischen Erkundung.

6 Diskussion der Erkundungsergebnisse

Die Erkundung von Dolomitstein-Vorkommen in der nördlichen Frankenalb stellt aufgrund der komplexen Ablagerungs- und Verwitterungsbedingten Heterogenitäten des Dolomitsteins eine große Herausforderung dar. Es ist – selbst unverwittert und „frisch“ – ein sehr poröses Gestein, seine Porosität und Permeabilität kann auf engstem Raum ohne Übergangsbereiche stark variieren (HOFBAUER 2013). Basierend auf diesen Eigenschaften besitzt der Dolomitstein der Frankenalb einen großen Formschatz, der durch ein komplexes Zusammenspiel von chemischer und physikalischer Verwitterung entstanden ist. Diese Situation ist auch in aktuellen Abbaustellen erkennbar und stellt somit einen wichtigen Ausgangspunkt für jedwede Erkundungsbestrebung in der Frankenalb dar. Dementsprechend kann nicht davon ausgegangen werden, dass der Frankendolomit als Rohstoff hochreiner Qualität in km² großen Arealen und massiver Ausbildung existiert, sondern es handelt sich meist um kleinräumige positive Anomalien, die es in dieser Studie galt aufzufinden und einzugrenzen.

Im Zuge dieser Arbeit zeigte sich, dass die Beprobung und Analyse von oberflächennahem Dolomitgestein häufig ein deutlich positiveres Ergebnis erzeugt, als Analysen von Probenmaterial aus der Tiefe. Diese Beobachtung ist wahrscheinlich bedingt durch einen langanhaltenden Auswaschungsprozess, der begünstigt wird durch eine hohe Porosität und Permeabilität des Dolomitgesteins und reliktschen Gefüge-Eigenschaften des kalkigen Ausgangsmaterials (zum Beispiel Hohlräume und Drucklösungs-Suturen), die Wegsamkeiten für eindringendes Wasser bieten (KOCH 2011, HOFBAUER 2013). Dadurch werden Störelemente aus höher liegenden Horizonten ausgewaschen und in tieferen Bereichen aufkonzentriert. Die Resultate der Oberflächenbeprobung sind dementsprechend nur als grobe Orientierungen zu werten. Interessanterweise zeigen aber auch diese Ergebnisse – in Abhängigkeit ihrer Höhenlage über NN – mit zunehmender Teufe eine Qualitätsverschlechterung (jedoch geringer als in den Bohrungsproben). Diese Beobachtung könnte dafür sprechen, dass auch primäre, Faziesbedingte Unterschiede eine gewisse Rolle spielen. Mit zunehmender Tiefe erhöht sich auch tendenziell der Einfluss der Dedolomitierung auf das Ca/Mg-Verhältnis, wobei dieser negative Trend nicht in allen Bohrungen beobachtet werden konnte.

Die durchgeführten Kernbohrungen bestätigten die komplexen strukturellen Gegebenheiten im Untergrund. Es kam gehäuft zu Kernverlusten und technischen Problemen beim Bohrfortschritt durch den stetigen Wechsel fester, geklüfteter, vergruster und bindiger Abschnitte. Sowohl petrografisch als auch geochemisch sind zahlreiche kleinräumige Wechsel aufgetreten. Der eigentlich in dieser Studie gesuchte „hochreine Dolomit“ konnte jedoch nicht gefunden werden, sehr wohl aber Dolomitgestein, das sich für die Verwendung in der Glasindustrie eignen würde (im Potenzialgebiet AL-5). Das Auftreten dieses qualitativ hochwertigen Rohstoffs ist allerdings, wie auch aus aktuellen Gewinnungsbetrieben bekannt, auf einzelne, mehrere Meter mächtige Horizonte begrenzt. Die überwiegend angetroffene Rohstoffqualität war etwas schlechter und würde sich lediglich für Nutzungszwecke mit geringeren Anforderungen eignen (beispielsweise Düngemittelherstellung, Stahl- und Roheisenproduktion, evtl. zur Herstellung von Papier oder in gebrochener Form als Baustoff).

Um eine bessere räumliche Untersuchung der Rohstoffvorkommen zu realisieren, wurden Multielektrodenmessungen im Bereich der Erkundungsbohrungen durchgeführt. Die so erhaltenen etwa 500 m langen Profile unterstreichen, dass das untersuchte Dolomitgestein in komplexen Strukturen mit zahlreichen kleinräumigen Übergängen zwischen festem Fels und bindigen Zersatzzonen auftritt. Es kann angenommen werden, dass sich solche Zonen und Systeme dreidimensional fortsetzen. Die so erhaltene Auflösung ermöglicht eine Abschätzung des Festgesteinsanteils und bildete die Grundlage für eine überschlägige Berechnung der Rohstoffvorräte.

Zusätzlich zur Erkundung hochreiner Dolomitsteinvorkommen sollte auch die Frage geklärt werden, ob die Farbwertbestimmung eine einfache und schnelle Alternative zur geochemischen Analyse darstellen kann. Die Bestimmung der Farbwerte am ungebrannten Rohstoff kann als sehr grobe Orientierung hinsichtlich des Fe-Oxid-Anteils angesehen werden. Für weiterführende Aussagen zur Reinheit von Dolomitstein kann der Farbkennwert jedoch nicht verwendet werden. Nur am gebrannten Rohstoff lässt sich eine ungefähre Abschätzung des Eisengehalts durchführen. Eine separate chemische Analyse lässt sich damit aufgrund der hohen Qualitätskriterien, die hochreine Dolomite erfüllen müssen, aber nicht ersetzen. Die durch den Brand erreichten Farbverbesserungen erfolgen nicht linear, sondern in unregelmäßiger Art, wahrscheinlich bedingt durch die chemische Zusammensetzung des Rohstoffs (vor allem Organik). Die Farbkennwerte der Rohproben sind daher nicht 1 : 1 (direkt) auf den gebrannten Dolomitstein zu übertragen.

7 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie konnte festgestellt werden, dass die untersuchten Dolomitsteinvorkommen der Mittleren Frankenalb den hohen Qualitätsanforderungen des HPD nicht entsprechen. Demgegenüber stehen jedoch ermittelte Potenziale für Dolomitsteinvorkommen der Kategorie II und III (Tab. 17), sodass die Untersuchung als teilföndig eingestuft werden kann. Eine erste Software-gestützte Abschätzung des Dolomitstein-Rohstoffpotenzials der vier erkundeten Zielgebiete umfasst ein Volumen von etwa 94 Mio. m³ mit einer Tonnage von insgesamt 244 Mio. t.

Da diese Werte auf zahlreichen Annahmen basieren, sollten sie durch weitere engräumige Untersuchungen konkretisiert werden. Nichtsdestotrotz zeigt dieses Ergebnis, dass der Dolomitstein aus der Mittleren Frankenalb durchaus eine umweltfreundliche, nachhaltige und verlässliche Alternative für hiesige Dolomitstein verarbeitende Betriebe aus der Glas-, Papier-, Roheisen-, Stahl- und Düngemittelindustrie darstellen kann.

Tab. 17: Zusammenfassende Betrachtung der Potenzialflächen. (*Festgesteinsanteil auf Grundlage der geoelektrischen Messungen in Teilbereichen der Potenzialgebiete im Umkreis der Bohrungen.)

Potenzialfläche	Mögliche Ausdehnung [km ²]	Rohstoffqualität	Volumen [Mio. m ³]	Ø Dichte Dolomit [g/cm ³]	Festgesteinsanteil* [%]	Tonnage [Mio. t]	Beleg-Bohrkern(e)
AI-5	2,0	Kat. II–IV	34	2,56	91	87	AL-5/1; AL-5/2
AL-8	1,3	Kat. III–IV	17	2,63	55	44	AL-8
AL-9	0,7	Kat. III–IV	5	2,67	64	14	AL-9
LAU-1	3,6	Kat. III–IV	38	2,59	73	99	LAU-1

Die abweichenden Dolomitsteinqualitäten werden vor allem bedingt durch eine unterschiedlich starke Dedolomitisierung und dem Auftreten von oxidisch gebundenen Störelementen (Al₂O₃, SiO₂ sowie Fe₂O₃). Die wachsenden Gehalte an Störelementen und die zunehmende Dedolomitisierung mit steigender Tiefe sprechen möglicherweise für einen langanhaltenden und durchgreifenden Vorgang der Auswaschung von Störelementen in den stratigrafisch höheren Schichten und eine Stauung von meteorischen Wässern, die den Prozess der Dedolomitisierung begünstigen, in den Liegend-Schichten.

Als besonders geeignete Erkundungsmethode ergab sich die Kombination aus Kernbohrungen mit geoelektrischer Erkundung. Die sich so ergebende Auflösung ermöglicht eine ungefähre Unterscheidung der unterschiedlichen Stufen der komplex ausgebildeten Dolomitsteinverwitterung und bildet damit die Grundlage für einen selektiven Abbau, bei dem starke Verkarstungsbereiche möglichst umfahren werden sollten.

Die in Vorbereitung der Kernbohrungen durchgeführte großflächige Oberflächenbeprobung ermittelte 24 weitere potenzielle Dolomitsteinvorkommen, die jedoch aufgrund raumplanerischer Kriterien und ungünstigerer geochemischer Gehalte für eine Detailerkundung ausgeschlossen wurden. Auch diese Erhebung könnte für zukünftige Explorationstätigkeiten eine interessante Grundlage bilden.

8 Literaturverzeichnis

- BAUSCH, W. M. (1980): Tonmineralprovinzen in Malmkalken.- Erlanger Forschungen, Reihe B, Naturwissenschaften und Medizin, Vol. 8, Universitätsbund Erlangen-Nürnberg (Erlangen), 78 S.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1964): Erläuterungen zur Geologischen Karte 1 : 25 000 von Bayern, Blatt 6536 Sulzbach-Rosenberg Süd.- Bearbeiter: GUDDEN, H. & TREIBS, W. (München), 113 S.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1967): Die Böden.- Bearbeiter: WITTMANN, O. S. 163–183. [In]: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1967): Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1 : 25 000 Blatt Nr. 6335 Auerbach.- Bearbeiter: TILLMANN, H. & TREIBS, W. (München), 210 S.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1975): Geologische Karte von Bayern 1 : 25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6334 Betzenstein.- Bearbeiter: GOETZE, F., MEYER, R. F. K. & TREIBS, W. (München), 144 S.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1979): Geologische Karte 1 : 25 000 von Bayern, Blatt 6535 Alfeld.- Geologische Aufnahme: Goetze, F. 1965, Gudden, H. 1966, 1968–1969, Meyer, R. K. F. 1972, 1978–1979 und Winter, B. 1961–1962 (München).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1983A): Erläuterungen zur GK 1 : 25 000 von Bayern, Blatt 6635 Lauterhofen.- Bearbeiter: MEYER, R. K. F. (München), 127 S.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1983B): Geologische Karte 1 : 25 000 von Bayern, Blatt 6636 Kastl.- Geologische Aufnahme: Meyer, R. K. F. 1981–1983 (München).
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1984): Oberflächennahe mineralische Rohstoffe von Bayern.- *Geologica Bavarica*, 86, 2 Beil., Bearbeiter: WEINIG, H., DOBNER, A., LAGALLY, U., STEPHAN, W., STREIT, R. & WEINELT, W. (München), S. 15–506.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1995): Nördliche Frankenalb – Hydrogeologie.- Bearbeiter: APEL, R. & BÜTTNER, G. (München), 119 S.
- BIHK (2015) Rohstoffreport Bayern 2015 – Aktuelle Rohstoffsituation der bayerischen Industrie.- Industrie- und Handelskammern in Bayern, 24 S.
- CORRENS, C. W. (1968): Einführung in die Mineralogie.- 2. Auflage. Springer (Berlin), 458 S.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. (1980): An introduction to the rock forming minerals.- 12. Auflage. Paperback, Longman (London), 528 S.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (DESTATIS, 2019): Produktion im Produzierenden Gewerbe – Produktion des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden, Jahre 2009 bis 2018.- Fachserie 4, Reihe 3.1, Auszug Dolomit.
- DIN 5033-3 (1992): Farbmessung; Farbmaßzahlen.- Beuth (Berlin), 5 S.

- DIN EN 1936:2006: „Prüfverfahren für Naturstein – Bestimmung der Reindichte, der Rohdichte, der offenen Porosität und der Gesamtporosität“.
- DOLOMITWERK JETTENBERG SCHÖNDORFER GMBH (O. J.): Homepage Dolomitwerk Jettenberg Schöndorfer GmbH, www.dolomitwerk.de, aufgerufen am 16.11.2018
- DUNHAM, R. J. (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture.- [In:] HAM, W. E. (Hrsg.): Classification of carbonate rocks – a symposium.- American Association of Petroleum Geologists, Memoir 1 (Tulsa), S. 108–121.
- EICHLER, A. (O. J.): Farbabstände in der industriellen Farbmessung.- COATES SCREEN INKS GMBH (Coates Gruppe, Nürnberg), 4 S. www.coates.de/snd/farbabstaende.pdf, abgerufen am 31.01.2019.
- EXLER, H. J. (1955): Geologie der Fränkischen Alb zwischen Hohenmirsberg und Weidensees. Nebst Untersuchungen über die Entstehung des Bronner Plattendolomit.- Erlanger geol. Abh., 15 (Erlangen), 27 S.
- FLÜGEL, E. (2010): Microfacies of Carbonate Rocks – Analysis, Interpretation and Application, Second Edition.- Springer (Heidelberg), 984 S.
- FROOLOVA, E. K. (1959): On classification of carbonate rocks of limestone-dolomite-magnesite series.- Novosti Neft. Tekhn., Geol., 3, S. 34–35.
- FÜCHTBAUER, H. & RICHTER, D. K. (1988): Karbonatgesteine.- [In:] Füchtbauer, H. (Hrsg.): Sedimente und Sedimentgesteine, 4. Aufl. (Stuttgart), S. 233–434.
- FUSS, C. & MADER, M. (2018): Untersuchungsbericht über geophysikalische Erkundungen zum Projekt High Purity Dolomite (HPD) Oberpfalz.- GEOLOG Fuß/Hepp GbR, Ingenieurbüro für Geophysik und Geologie (Augsburg), 15 S.
- GLA: siehe unter: Bayerisches Geologisches Landesamt
- GÖTZE, J. & GÖBBELS, M. (2017): Einführung in die Angewandte Mineralogie.- Springer Spektrum (Berlin), 271 S.
- GRUNENBERG, T. (2005): Authigene Bildung von Kaolinit in marinen Kalksteinen.- Erlanger Beiträge zur Petrographischen Mineralogie, 15. Jahrgang. S. 15-26.
- HIGHLEY, D., BLOODWORTH, A., BATE, R., CAMERON, D., LUSTY, P. & RAYNER D. (2006): Dolomite – Mineral Planning Factsheet.- British Geological Survey, Natural Environment Research Council, Office of the Deputy Prime Minister, Creating sustainable communities, 8 S.
- HILLEBRAND, E. (2016): Branchenanalyse Rohstoffindustrie – Study Nr. 315.- Hans-Böckler-Stiftung, 84. S.
- HOFBAUER, G. (2013): Verwitterungsformen an Dolomit-Felsen der Frankenalb.- Natur und Mensch. Jahresmitteilungen 2012, Naturhistorische Gesellschaft Nürnberg e. V. (Nürnberg), S. 75–103.

- ILLIG, H.-J., EHRING, R., HERRMANN, V., HÜBSCHER, M., KATZSCHMANN, R., LANGE, J., LAUENROTH, P., MORGENEIER, K.-D. & RENNO, D. (1991): ABC Glas.- 2., stark überarbeitete und erweiterte Auflage. Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie (Leipzig), 328 S.
- KAULICH, B., MEYER, R. K. F. & SCHMIDT-KALER, H. (2000): Von Nürnberg durch die Pegnitz-Alb zur Bayerischen Eisenstraße.- Wanderungen in die Erdgeschichte, Band 11, Verlag Dr. Friedrich Pfeil (München), 128 S.
- KELLER, G. (1961): Bewertung von Dolomitvorkommen im nordwestdeutschen Korallenoolith.- Zeitschrift der Deutsch. Geol. Gesellsch, Band 112 (Stuttgart), S. 483–490.
- KOCH, R. (2011): Dolomit und Dolomit-Zerfall im Malm Süddeutschlands – Verbreitung, Bildungsmodelle, Dolomit-Karst. In: Laichinger Höhlenfreund 46, S. 75–92.
- KREY, F. (1999): Dolomit und Glas.- Dolomitwerk Jettenberg Schöndorfer GmbH, 11 S., www.dolomitwerk.de/fileadmin/pdf/dolomitundglas.pdf, aufgerufen am 15.11.2018
- LANGE, J. (1993): Rohstoffe der Glasindustrie.- 3. überarbeitete Auflage. Verlag für Grundstoffindustrie (Stuttgart), 320 S.
- LEMPE, B. (2012): Die geologischen Verhältnisse auf der GK25 Blatt Nr. 8027 Memmingen unter besonderer Berücksichtigung der Verwitterungserscheinungen in pleistozänen Schmelzwasserschottern und deren Einfluss auf ihre bautechnischen Eigenschaften. Entwicklung einer Verwitterungsklassifizierung.- Dissertation TU München (München), 376 S.,
- LORENZ, W. & GWOSDZ, W. (1998): Bewertungskriterien für Industrieminerale, Steine und Erden, Teil 2: Karbonat- und Sulfatgesteine.- Geologisches Jahrbuch. Reihe H Heft 4, Schweizerbart (Stuttgart), 98 S.
- LUMSDEN, D. N. (1979): Discrepancy between thin section and X-ray estimates of dolomite in limestone.- J. sed. Petrol., 49 (Tulsa), S. 428–435.
- MESCHÉDE, M. (2015): Geologie Deutschlands – Ein prozessorientierter Ansatz.- Springer Spektrum (Berlin), 250 S.
- MEYER, R. K. F. (1972): Stratigraphie und Fazies des Frankendolomits (Malm). 1. Teil: Nördliche Frankenalb.- Erlanger Geol. Abh., 91 (Erlangen), 28 S.
- MEYER, R. K. F. (1974): Stratigraphie und Fazies des Frankendolomits (Malm). 2. Teil: Mittlere Frankenalb.- Erlanger Geol. Abh., 96 (Erlangen), 34 S.
- MEYER, R. K. F. (1977): Stratigraphie und Fazies des Frankendolomits und der Massenkalk (Malm). 3. Teil: Südliche Frankenalb.- Erlanger Geol. Abh., 104 (Erlangen), 40 S.
- MOSHAMMER, B. & LOBITZER, H. (1999): Weißmetrik und Geochemie ausgewählter österreichischer Kalkstein- und Marmor-Vorkommen.- Mitt. Österr. Geol. Ges. (Wien), S. 63–77.
- NIEBUHR, B. & PÜRNER, T. (2014): Plattenkalk und Frankendolomit – Lithostratigraphie der Weißjura-Gruppe der Frankenalb (außeralpiner Oberjura, Bayern).- Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (SDGG), Heft 83 (Hannover), S. 5–71.

- OKRUSCH, M. & MATTHES, S. (2014): Mineralogie – Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde.- 9. Auflage, Springer Spektrum (Berlin), 728 S.
- REINHOLD, C. (1998): Multiple episodes of dolomitization and dolomite recrystallization during shallow burial in Upper Jurassic shelf carbonates: eastern Swabian Alb, southern Germany.- *Sedimentary Geology*, 121, Elsevier Science (Amsterdam), S. 71–95.
- RHI (2016): Hochqualitativer Magnesit und Dolomit – High-Quality Magnesite and Dolomite.- Produktinformation RHI AG, 7 S.
- SCHAEFFER, H. A. & LANGFELD, R. (2014): Werkstoff Glas – Alter Werkstoff mit großer Zukunft.- Technik im Fokus, Daten Fakten Hintergründe. Springer Vieweg (Berlin), 197 S.
- SCHMITZ, M. (2019): freundliche schriftliche Mitteilung, E-Mail vom 04.03.2019. BGR-Mitarbeiter.
- SCHRÖDER, G. (1965): Die Zusammensetzung triassischer und jurassischer Dolomite in Franken und Württemberg.- *Geol. Blätter NO-Bayern*, 15, Erlangen, S. 57–60.
- SICIUS, H. (2016): Erdalkalimetalle: Elemente der zweiten Hauptgruppe – Eine Reise durch das Periodensystem.- Springer Spektrum (Wiesbaden), 56 S.
- SKOWRONEK, A. (2016): *Terrae calcis*.- Handbuch der Bodenkunde. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA (Weinheim), S. 1–38.
- SOBOTT, R. & KOCH, R. (2018): Erläuterungen zu den ergänzenden petrophysikalischen Daten ausgewählter Steinbrüche oder Steinareale.- In Grimm, W.-D. (2018): *Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland*; Teil II: Bildband: 513 – 536; Ebner Verlag Ulm
- STEPHAN, D. (2011): Nanomaterialien im Bauwesen – Stand der Technik, Herstellung, Anwendung und Zukunftsperspektiven.- *Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau*. Universität Kassel, Heft 16 (Kassel), 266 S.
- VBW (2019): Rohstoffe und Ressourcen – Rohstoffsituation der bayerischen Wirtschaft.- 9. Auflage, Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V., 119 S.
- VINX, R. (2011): *Gesteinsbestimmung im Gelände*, 3. Auflage.- Spektrum (Heidelberg), 471 S.
- VOLA, G., CHRISTIANSEN, T. & SARANDREA, L. & FERRI, V. (2013): Carbonate Rocks Characterization For The Industrial Lime Manufacturing: Worldwide Case-Studies.- 14th Euroseminar on Microscopy Applied to Building Materials, 10.–14. Juni 2013 (Helsingør), S. 142–143.
- WWW_1: www.pilkington.com/de-de/de/beruf-und-karriere/ausbildung/weiherhammer, aufgerufen am 26.02.2019.

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Topografische Karte der Fränkischen Alb mit Hauptwasserscheide.	7
Abb. 2:	Geologisches Blockmodell Nordbayerns: Geologischer Schnitt durch Nordbayern, erkennbar ist das Relief des Schichtstufenlandes, das durch die unterschiedliche Verwitterungsanfälligkeit der Gesteinsschichten entsteht.	8
Abb. 3:	(A) Paläogeografische Rekonstruktion Deutschlands zur Zeit des Oberen Jura (verändert nach MESCHÉDE 2015). (B) Rekonstruktion der Ausbildung des Weißjura- γ im Gebiet der Fränkischen Alb (verändert nach GLA 1983A und KAULICH et al. 2000).	9
Abb. 4:	Die Landschaftsentwicklung während der Unterkreide führt zur Entstehung von Lösungsdolinen und Druckröhren im Untergrund (verändert nach KAULICH et al. 2000).	10
Abb. 5:	Das Fortschreiten der Verkarstung führt allmählich zur Bildung von Kegelkarst (verändert nach KAULICH et al. 2000).	10
Abb. 6:	Lehmerfüllte Senken (Poljen) entstanden zwischen steilem Kegelkarst im tropischen Klima der Unterkreide (verändert nach KAULICH et al. 2000).	11
Abb. 7:	In der Kreidezeit kommt es zur kompletten Auffüllung des alten Karstreliefs mit klastischen Sedimenten (verändert nach KAULICH et al. 2000).	11
Abb. 8:	Im Paläogen bildete sich in dem Gebiet bei anhaltendem subtropischen Klima eine Rumpffläche aus (verändert nach KAULICH et al. 2000).	12
Abb. 9:	Im Neogen entstanden in breiten Talzügen die ersten hochgelegenen Flusssysteme (verändert nach KAULICH et al. 2000).	12
Abb. 10:	Teilweise Freilegung der kreidezeitlichen Poljen und Hochtalbildung während des Quartärs (verändert nach KAULICH et al. 2000).	12
Abb. 11:	Eintiefung der heutigen Flusstäler und weitere geomorphologischen Prozesse (verändert nach KAULICH et al. 2000; die Darstellung des rezenten Karstwasserspiegel stammt aus GLA 1995).	13
Abb. 12:	Übersichtskarte von Bayern mit Ausstrich der Weißjura-Gruppe und Lage des Untersuchungsgebietes.	14
Abb. 13:	Fazies-Schema der Stratigrafie der Weißjura-Gruppe der mittleren Frankenalb zwischen der Parsberger und der Wiesent-Riffschranke. Abbildung verändert nach NIEBUHR & PÜRNER (2014).	15
Abb. 14:	Verwitterungsformen von Dolomitstein im Steinbruch des Dolomitwerks Neuensorg GmbH bei Velden. (A) Die ca. 100 m mächtige Abfolge von Dolomitstein am Schrödlberg zeigt massive strukturelle Unterschiede. (B) Massiger Dolomitstein an relativ frischer Gewinnungsstelle. (C) Biologisch besiedelte Oberfläche des Dolomitsteins mit anfänglicher Lochverwitterung und einer durch den kompletten Berg verlaufenden Kluft. (D) Sehr klüftiger Dolomitstein. (E) Dolomitstein im fortgeschrittenen Zerfallsstadium, lokal mit deutlichem Absanden. (F) Detailausschnitt von Abbildung E. (G) Kavernöses bis pseudobrekziöses Gefüge mit deutlicher Dolomit-sand-Bildung als Ergebnis intensiver Lochverwitterung und chemischer Lösung.	18

Abb. 15:	Felsfreistellung nach Karstverwitterung	19
Abb. 16:	Zu Dolomitasche verwitterter Dolomitstein.	19
Abb. 17:	Steinbruch Götzendorf – Abbau von Dolomitstein durch die Fa. Englhard GmbH.	20
Abb. 18:	Probenahme an aufgelassener Entnahmestelle, vorwiegend Dolomitasche (PO3-06).	26
Abb. 19:	Probenahme an massiver Felsfreistellung im Riffdolomit (BET2-02).	26
Abb. 20:	Probenahme an Wegeinschnitt (PO10-01).	26
Abb. 21:	Probenahme an „forstlicher“ Entnahmestelle (KAS6-04).	26
Abb. 22:	Übersicht der Erkundungsgebiete für die Exploration nach hochreinem Dolomitstein (HPD) in Teilen der Nördlichen und Mittleren Frankenalb im Weißjura mit entsprechenden Probenahmepunkten.	27
Abb. 23:	Geöffnete Planetenkugelmühle mit eingespannten, geschlossenen Achateinsätzen. Diese Achatbecher sind mit Achatkugeln und der aufzumahlenden Probenmenge befüllt.	29
Abb. 24:	Schematische Darstellung der einzelnen Aufbereitungsschritte und deren Referenz-Analysen. Als geeignete Materialien beziehungsweise Geräte wurden bei der Hauptaufbereitung anschließend der Backenbrecher mit WC-Einsatz sowie die Planetenkugelmühle mit Achat-Einsatz verwendet.	29
Abb. 25:	Herstellung von Schmelztabletten (Aufschmelzen in Platintiegeln) für die anschließende RFA-Analytik (Bild: Activation Laboratories Ltd., Kanada).	30
Abb. 26:	Übersicht der Lage der Bohrungspunkte LAU-1, AL-9, AL-8 und AL-5.	34
Abb. 27:	Darstellung des Systems des CIÉ-L*a*b*-Farbraums: Der L*-Wert wird durch die vertikale Achse dargestellt. Die a*- und b*- Werte liegen auf der horizontalen Ebene. Verändert nach EICHLER (O. J.).	37
Abb. 28:	Auslage der Kabel für die Messung.	38
Abb. 29:	Einbringen der Elektroden in den Untergrund.	38
Abb. 30:	Durchführung der Geoelektrik-Messung entlang eines Waldweges.	38
Abb. 31:	Prozessieren der Messdaten am angeschlossenen Gelände-PC.	38
Abb. 32:	Bewertung und Einstufung der 65 Erkundungsgebiete anhand der Vorerkundungsproben in Kategorie II, III und IV.	42
Abb. 33:	Dargestellt sind die MgO- und CaO-Gehalte der Vorerkundungsproben in Relation zur Höhenlage.	43
Abb. 34:	Klassifizierung von Carbonatgesteinen auf Basis von Calcit, Dolomit und Tonmineralen, verändert nach FROOLOVA (1959) und VOLA et al. (2013).	44
Abb. 35:	Bohrkern der Bohrung AL-5/1	45
Abb. 36:	Detailaufnahme von Gestein der Bohrung AL-5/1.	46

Abb. 37:	Bohrkern der Bohrung AL-5/2	47
Abb. 38:	Bohrkern der Bohrung AL-5/2, Fortsetzung	48
Abb. 39:	Detailaufnahme von Gestein der Bohrung AL-5/2.	49
Abb. 40:	Detailaufnahmen verschiedener Kieselknollen im Gestein der Bohrung AL-8.	49
Abb. 41:	Bohrkern der Bohrung AL-8	50
Abb. 42:	Bohrkern der Bohrung AL-8, Fortsetzung	51
Abb. 43:	Bohrkern der Bohrung AL-9	52
Abb. 44:	Detailaufnahme von Gestein der Bohrung AL-9.	52
Abb. 45:	Bohrkern der Bohrung LAU-1	53
Abb. 46:	Bohrkern der Bohrung LAU-1, Fortsetzung	54
Abb. 47:	Detailaufnahmen ausgewählter Gesteine und Verwitterungsformen in Bohrung LAU-1.	55
Abb. 48:	Übersicht der Oxidgehalte der Bohrkernproben. A: CaO, B: MgO.	56
Abb. 49:	Übersicht der Oxidgehalte der Bohrkernproben. A: SiO ₂ , B: Al ₂ O ₃ , C: Fe ₂ O ₃	57
Abb. 50:	Geologische Karte mit Profilschnitten (auf Grundlage der digitalen geologischen Karte 25 Blatt 6535 Alfeld, 6635 Lauterhofen und 6636 Kastl) aus dem Untersuchungsgebiet bei Alfeld und Lauterhofen/Kastl.	58
Abb. 51:	Darstellung der Proben nach ihrer Fazies-Einordnung in calcitisch, dolomitisch oder verkieselt.	59
Abb. 52:	Rotwert-zu-Eisenoxidgehalt-Diagramm zur Veranschaulichung der bestehenden Korrelationen im ungebrannten Dolomitstein.	60
Abb. 53:	Gelbwert-zu-Eisenoxidgehalt-Diagramm zur Veranschaulichung der bestehenden Korrelationen im ungebrannten Dolomitstein.	60
Abb. 54:	Weißgrad-zu-Eisenoxidgehalt-Diagramm zur Veranschaulichung der bestehenden Korrelationen im gebrannten Dolomitstein.	61
Abb. 55:	Gelbwert-zu-Eisenoxidgehalt-Diagramm zur Veranschaulichung der bestehenden Korrelationen im gebrannten Dolomitstein.	61
Abb. 56:	Fotografischer Vergleich der ungebrannten (jeweils oben) mit den gebrannten Proben (jeweils darunter).	62
Abb. 57:	Legende der Lithologie und der spezifischen elektrischen Widerstände für die geologische Interpretation der Messwerte.	63
Abb. 58:	Profillagen der drei nördlichen Messstrecken bei Alfeld.	64
Abb. 59:	Profillagen der zwei südlichen Messstrecken im Gebiet LAU-1.	64

Abb. 60:	Oben: Verlauf des dreidimensional eingehängten Messprofils in der Nähe der Bohrlokation AL-5.	65
Abb. 61:	Unten: Ergebnis der Multielektrodenmessung im Untersuchungsgebiet AL-5.	65
Abb. 62:	Oben: Verlauf des dreidimensional eingehängten Messprofils in der Nähe der Bohrlokation AL-8.	66
Abb. 63:	Unten: Ergebnis der Multielektrodenmessung im Untersuchungsgebiet AL-8.	66
Abb. 64:	Verlauf des dreidimensional eingehängten Messprofils in der Nähe der Bohrlokation AL-9.	67
Abb. 65:	Ergebnis der Multielektrodenmessung im Untersuchungsgebiet AL-9.	68
Abb. 66:	Ergebnis der Multielektrodenmessung im Untersuchungsgebiet LAU-1. Oben: Profil über die Bohrung LAU-1. West-Ost-Profil. Unten: Profil über die Bohrung LAU-1. Nord-Süd-Profil.	68
Abb. 67:	Verlauf des dreidimensional eingehängten Messprofils in der Nähe der Bohrlokation LAU-1.	69
Abb. 68:	Bewertung und Einstufung der 65 Erkundungsgebiete anhand der Vorerkundungsproben in Kategorie II, III und IV.	71
Abb. 69:	Lage des Potenzialgebiets AL-5 mit Profilschnitt und Probenlokationen.	73
Abb. 70:	Lage des Potenzialgebiets AL-8 mit Profilschnitt und Probenlokationen.	75
Abb. 71:	Lage des Potenzialgebiets AL-9 mit Profilschnitt und Probenlokationen.	77
Abb. 72:	Lage des Potenzialgebiets LAU-1 mit Profilschnitt und Probenlokationen.	79
Abb. 73:	Darstellung des Kappersberg aus Potenzialgebiet 1 (AL-5) mit den Ergebnissen der geoelektrischen Erkundung.	80

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1:	Angaben zur Produktion von Dolomitstein, weder gebrannt noch gesintert (zum Absatz bestimmt) in Deutschland in den Jahren 2010 bis 2018 (DATENQUELLE: STATISTISCHES BUNDESAMT 2019).	20
Tab. 2:	Kategorisierung der Vorerkundungsgebiete nach Geochemie. Die Abkürzungen stehen für die untersuchten Gebieten und sind nach markanten Punkten oder Ortschaften benannt.	41
Tab. 3:	Durchschnittliche Oxidgehalte der Vorerkundungsproben sortiert nach Höhenlagen.	42
Tab. 4:	Oxidgehalte der Bohrungsproben	56
Tab. 5:	Farbwerte der ungebrannten Dolomitsteinproben der Detailerkundung.	60
Tab. 6:	Farbwerte der gebrannten Dolomitsteinproben der Detailerkundung.	61
Tab. 7:	Auswertung der geoelektrischen Profilmessung mit geologischer Interpretation.	66
Tab. 8:	Auswertung der geoelektrischen Profilmessung mit geologischer Interpretation.	67
Tab. 9:	Auswertung der geoelektrischen Profilmessung mit geologischer Interpretation.	68
Tab. 10:	Auswertung der geoelektrischen Profilmessung mit geologischer Interpretation.	69
Tab. 11:	Theoretisch nutzbare Rohstoffmengen in den einzelnen Zielgebieten.	70
Tab. 12:	Berechnung der Tonnage der jeweiligen Zielgebiete.	70
Tab. 13:	Ermittelte Oxidgehalte des erbohrten Dolomitsteins (n = 36) im Potenzialgebiet 1 – AL-5.	72
Tab. 14:	Ermittelte Oxidgehalte des erbohrten Dolomitsteins (n = 8) im Potenzialgebiet 2 – AL-8.	74
Tab. 15:	Ermittelte Oxidgehalte des erbohrten Dolomitsteins (n = 4) im Potenzialgebiet 3 – AL-9.	76
Tab. 16:	Ermittelte Oxidgehalte des erbohrten Dolomitsteins (n = 12) im Potenzialgebiet 4 – LAU-1.	78
Tab. 17:	Zusammenfassende Betrachtung der Potenzialflächen. (*Festgesteinsanteil auf Grundlage der geoelektrischen Messungen in Teilbereichen der Potenzialgebiete im Umkreis der Bohrungen.)	83
Tab. 18:	Bewertungsmatrix mit Negativ- und Positivkriterien der einzelnen Untersuchungsgebiete hinsichtlich Konflikte mit Schutzgebieten und entsprechender Bewertung in Bezug auf infrastrukturelle Anbindung und Flächengröße (wichtigster Punkt, dieser geht mit Faktor 5 in die Berechnung mit ein).	100
Tab. 19:	Tabellarische Aufstellung der Proben mit Bezug auf die jeweiligen Probenahmepunkte.	100

Tab. 20:	Tabellarische Zusammenstellung der Hauptelement-Gehalte (RFA-Analytik) der Vorerkundungsproben.	104
Tab. 21:	Kategorisierung der Zielgebiete nach Eignungsklassen.	111
Tab. 22:	Farbwerte der ungebrannten Vorerkundungsproben.	112
Tab. 23:	Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Zusammensetzung der 60 untersuchten Bohrungsproben; n.d. = nicht detektiert.	115
Tab. 24:	Berechnung der mineralogischen Zusammensetzung der 60 Bohrungsproben nach LUMSDEN (1979).	117
Tab. 25:	Ergebnisse der Weißgradmessungen der 60 ungebrannten, trockenen Bohrungsproben.	118
Tab. 26:	Ergebnisse der Weißgradmessungen der 60 gebrannten Bohrungsproben.	119
Tab. 27:	Ergebnisse der Messungen zur Bestimmung der Gesteinsdichte.	121
Tab. 28:	Tabellarische Zusammenstellung der Hauptelement-Gehalte (RFA-Analytik) der Proben aus der Detailerkundung.	122

Glossar

- Achat:** Mikrokristalline Varietät des Minerals Quarz. Wird wegen seiner hohen Härte und Widerstandsfähigkeit gegenüber Chemikalien oft in der Technik verwendet.
- Aliquot:** Bezeichnet in der analytischen Chemie eine repräsentative Teilportion einer Gesamtprobe.
- Alteration:** Umwandlung von Mineralen in Sekundärminerale durch Änderung der Kristallstruktur oder durch Änderung der chemischen Zusammensetzung, zum Beispiel im Rahmen von Wechselwirkungen mit hydrothermalen Lösungen.
- Aufbereitung:** Verfahren zur mechanischen Zerkleinerung von Rohstoffen. Veränderung der Beschaffenheit zum Zweck einer Weiterverarbeitung in der Industrie oder einer speziellen Analytik-Form im Labor.
- Backenbrecher (Backenquetsche):** Gerät zur schnellen Grob- und Vorzerkleinerung von spröden, mittelharten und harten Materialien. Der Name stammt von den für die Zerkleinerung notwendigen Brechbacken.
- Brekzie (Adj. brekziös):** Durch eine feinkörnige Grundmasse verkittetes Gestein aus eckigen Gesteinstrümmern.
- Carbonat:** Mineralklasse, in die unter anderem die Minerale Calcit, Aragonit und Dolomit eingeordnet werden. Sie sind anorganische Salze der Kohlensäure.
- Dedolomitisierung (Recalcitisierung):** Kristallisation von Calcit in Hohlräumen (Poren) des Dolomitgesteins, die durch Lösungsvorgänge an Dolomitkristallen, beziehungsweise an Dolomitgestein entstanden sind. Einhergehend erfolgt dadurch die Abreicherung von Magnesium und die Anreicherung von Calcium.
- Dekreptieren:** Zerspringen von Kristallen bei Temperatureinwirkung. Im Rahmen der Erhitzung bei der Glasherstellung geben carbonatische Rohstoffe CO₂ ab. Manche Dolomite zerplatzen dabei mit so hoher Energie, dass Glaswannen mechanisch angegriffen oder sogar Gemengebestandteile in den Gasstrom der Flammen mitgenommen werden.
- Deszendente Wässer:** Bei einem geologischen Vorgang der Schwerkraft folgende, also absteigende Wässer oder Lösungen. Sie sind häufig für den Transport mobiler Elemente verantwortlich und bewegen sich meist während der Verwitterung vom Ort der Lösungs-/Auslaugungszone in die darunter befindliche Zementationszone.
- DGM-1:** Digitales Geländemodell mit 1 m Bodenauflösung. Dieses hochaufgelöste, digitale Höhenmodell basiert auf Laserscan-Daten und wird für eine genaue 3D-Modellierung benötigt.
- Diagenese:** Geologischer Vorgang der Verfestigung von Sedimenten und der weiteren Veränderung des dadurch entstandenen Sedimentgesteins unter verhältnismäßig niedrigen Drücken und Temperaturen.
- Dolomitisierung:** Vorgang der nachträglichen Durchdringung ursprünglich nicht-dolomitischer Kalke von magnesiumreichen Lösungen und dadurch bedingter Umwandlung enthaltener, primärer Minerale (Calcit, Aragonit) in sekundären Dolomit. Dabei werden vorher gegebenenfalls vorhandene Fossilien und Sedimentstrukturen meist zerstört.
- Elektrode:** Sie dient dazu, nicht elektronenleitende Bereiche mit Kabeln zu verbinden und besteht aus elektrischen Leitern, meist Metall oder Graphit.

Extrapolation: Hochrechnung. Erschließen von noch unbekanntem Werten aus bekannten Daten unter Voraussetzung eines gleichbleibenden Verlaufs.

Farbvalenz: Physiologische Kenngröße eines Lichtstrahls. Sie beschreibt die Wirkung des Lichtstrahls auf die farbempfindlichen Sinneszellen des menschlichen Auges und beschränkt sich auf eine durch drei Zahlenwerte darstellbare Information.

Fauna-Flora-Habitat-Schutzgebiet (FFH): Eingetragenes Schutzgebiet für Fauna (Tiere), Flora (Pflanzen) und Habitat (Lebensraum) nach der Richtlinie 92/43/EWG zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen, sie ist eine Naturschutz-Richtlinie der Europäischen Union (EU).

Fazies (im engeren Sinne sedimentäre F.): Begriff zur Beschreibung der Gesteinseigenschaften von Sedimenten (sogenannte Lithofazies), die auf die Bedingungen während der Sedimentation ohne die nachfolgende Diagenese zurückzuführen sind und damit den ehemaligen Ablagerungsraum charakterisieren.

Flussmittel (Schmelzbehandlungsmittel, Flussmittel, Schmelzsalz oder Schmelzmittel): Niedrig schmelzender Zusatz beim Schmelzen von Material zur Optimierung der Qualität der Schmelze. Herabsetzung des Schmelzpunkts des Schmelzgutes, Entfernung störender Elemente, sowie Begünstigung einer feinkörnigen Erstarrung.

Glühverlust (englisch: loss on ignition, L. O. I.): Gewichtsverlust einer bei 105 °C vorgetrockneten Probe beim Aufheizen auf 1050 °C. Durch Differenzwägung von Ursprungsprobe zu Glührückstand nach der thermischen Behandlung wird dadurch der Gehalt flüchtiger Bestandteile bestimmt. Der Wert setzt sich je nach Originalzusammensetzung der Probe im Wesentlichen aus ausgetriebenem Kristallwasser, organischem Kohlenstoff sowie Schwefel zusammen.

Homogenität (Gegenteil: Inhomogenität, Heterogenität): Gleichmäßige (gleichartige) Beschaffenheit eines Materials, das Gegenteil ist heterogen oder inhomogen. Homogenisierung ist die Herstellung einer einheitlichen (homogenen) Mischung aus verschiedenen Komponenten (Vergleichmäßigung).

Hydraulische Presse: Kraftgebundene Pressmaschine, die zur Grobzerkleinerung von Material (zum Beispiel Gesteinsproben) verwendet werden kann.

Inhomogenität: Stellenweise nicht-Homogenität eines Materials. Ungleichmäßige und unregelmäßige Beschaffenheit.

Intergranularraum: Raum zwischen den Mineralkörnern eines Gesteins.

Kation: positiv geladenes Ion.

Kluft: Felsspalte/tiefer Riss im Gestein.

Kompaktion: Die Verfestigung und Volumenverkleinerung von Sedimenten durch den Druck darüber liegender Gesteinsschichten, die bei der Versenkung des Sedimentes in eine gewisse Tiefe auftritt.

Kontamination: Verunreinigung eines Stoffs mit unerwünschten Stoffanteilen.

Kornverband: Gesamtheit der Bestandteile eines Gesteins. Der Zusammenhalt eines Gesteins erfolgt sowohl durch Verzahnung der Minerale untereinander als auch durch Grenzflächenkräfte zwischen den Mineraloberflächen. Lockergesteine = unverbundene Mineralkörner; Festgesteine = fest verbundene Mineralkörner.

Kristallinität (Kristallinitätsgrad, Kristallisationsgrad): Anteil eines kristallinen Bereichs an der inneren Struktur eines Festkörpers. Die Spannweite reicht von holokristallin (komplett kristallin) über hypokristallin (teilkristallin) bis hyalin (amorph).

Kubatur: Bezeichnet ein geometrisch messbares Volumen, unabhängig von Gestaltung oder Material, auch Rauminhalt genannt.

Lagerstätte: Räumlich abgrenzbare Bereiche der Erdkruste, in denen sich natürlich hohe Konzentrationen von festen, flüssigen oder gasförmigen Rohstoffen (Bodenschätze) befinden, deren Abbau sich aus heutiger Sicht wirtschaftlich lohnt.

Malm: Veralteter Begriff eines Erdzeitalters, heute Weißer Jura (Weißjura), auch Oberjura oder Oberer Jura, oberste chronostratigrafische Serie des Jura.

Mergel: Sedimentgestein aus Kalk und silikatischen Bestandteilen meist kleiner Korngröße (Ton und/oder Schluff). Mergel ist ein wichtiger Rohstoff für die Zementherstellung.

Meteorisches Wasser: Aus Niederschlägen gespeistes Grundwasser.

Mikrobalite: Mikrobiell ausgefällte Kalke.

Nachweisgrenze: Kleinster beziehungsweise unterster Wert eines Messverfahrens, bis zu dem die Messgröße gerade noch zuverlässig nachgewiesen werden kann.

Netzwerkbildner (Glasbildner): Sie formen die molekulare Glas-Grundstruktur, beispielsweise SiO_2 . Für die Glasbildung sind keine weiteren Stoffe notwendig, denn Glasbildner sind in der Lage, als Einzelkomponente das Glas zu bilden, zur Erzielung von Struktureigenschaften können aber Glaswandler hinzugegeben werden.

Netzwerkwanler (Glaswandler): Verbindungen, die zusammen mit einem oder mehreren Netzwerkbildnern in einem Glas vorkommen beziehungsweise zielgerichtet zugegeben werden. Netzwerkwanler verändern Struktur und Eigenschaften des Glases. Beispielsweise haben Glaswandler die Aufgabe, die Schmelztemperaturen des Glases zu senken.

Optische Emissionsspektroskopie (ICP-OES): Ein Messverfahren, bei dem ein heißes Argon-Plasma (ca. 10.000 K, „induktiv gekoppeltes Plasma“ = ICP) zur Anregung der optischen Emission der zu analysierenden Elemente dient.

Permeabilität: Bezeichnet die Durchlässigkeit von Materie für andere Stoffe, zum Beispiel von Gesteinen oder Böden für Gase oder Flüssigkeiten.

Planetenkugelmühle (Planetenmühle): Sonderform der Kugelmühle. Gerät zur Feinst-Zerkleinerung von sehr hartem Material durch planetenartige Rotationsbewegung der Mahlwerkzeuge.

Raumwiderstand: Maß für die Machbarkeit von Infrastrukturmaßnahmen. Mögliche Gebiete werden dafür Klassen zugeordnet (hoher, mittlerer und niedriger Raumwiderstand). Ein hoher Raumwiderstand kann die Realisierung einer Maßnahme verzögern, erschweren, verteuern oder verhindern. Indikator für die Schwierigkeit, geplante Vorhaben zu realisieren. Geologische, bautechnische Eignung, sowie Nutzung der Flächen spielt eine Rolle, beispielsweise Flächenwidmungen, Schutzgebiete, soziale Widerständen der ansässigen Bevölkerung, deren Häuser, Siedlungen, Militärgelände, Wasser- und Naturschutzgebiete.

Regionalplan: Regionalpläne werden aus dem Landesentwicklungsprogramm heraus entwickelt und konkretisieren die darin beschriebenen räumlichen und inhaltlichen Festlegungen für alle 18 Regionalplanungsregionen Bayerns. Regionalpläne enthalten Einigungen fachlichen und überfachlichen Belangen der Landesentwicklung, wie Siedlungsentwicklung oder zur Sicherung und Gewinnung von Bodenschätzen. Regionalplanungsverbände stellen diese Regionalpläne auf und schreiben sie bei Bedarf fort. Die Regionalplanung dient als regionale Raumordnung und nimmt damit eine vermittelnde Stellung zwischen gesamtstaatlicher Planung (Landesentwicklung) und kommunaler Gemeindeentwicklung ein.

Rekristallisation: Umformung, beziehungsweise Neubildung eines festen Minerals bei Aufheizung über Rekristallisationstemperatur oder unter hohem Druck. Anschließendes Wiederauskristallisieren des gleichen Minerals nach Änderung äußerer Faktoren wie Druck- und Temperaturbedingungen. Gleichzeitiger Abbau von Gitterfehlern innerhalb der Kristallite durch Neubildung des Gefüges aufgrund von Kristallisationskeimbildung und Mineralkornwachstum. Kristallstrukturen und Kristallsysteme können sich dabei zusätzlich ändern.

Restriktion: Verringerung der Handlungs- oder Wahlmöglichkeiten.

Rietveld-Methode: Berechnungsmethode zur Bestimmung der quantitativen Phasenzusammensetzung auf Grundlage der Röntgendiffraktometrie.

Röntgendiffraktometrie (XRD, Röntgenbeugung): Analysemethode für Probenuntersuchung von Kristallstrukturen (Röntgendiffraktometrie), auch zur Phasenanalyse (qualitative oder quantitative Bestimmung kristalliner Phasen anhand ihres Beugungsbildes, Bestimmung von Mineralen), Bestimmung der Gitterparameter (Gitterkonstanten) eines Kristalls, Kristallstrukturanalyse (Bestimmung der Symmetrie (Raumgruppe) und die Kristallstrukturbestimmung der Atompositionen innerhalb der Elementarzelle).

Säure-Aufschluss (Saurer Aufschluss): Präparativer Vorgang der anorganisch-chemischen Analytik, in dem schwerlösliche Stoffe mittels Aufschlussmitteln in säure- oder wasserlösliche Verbindungen zur nachfolgenden Analytik überführt werden.

Sedimente, Sedimentgesteine: Sind im geowissenschaftlichen Sinn verschiedene biogene (organische) und/oder mineralische (anorganische) Lockergesteine, die – nicht selten nach einem kürzeren oder längeren Transport durch Schwerkraft oder ein strömendes Medium – auf dem trockenen Land oder am Grund eines Gewässers abgelagert und mehr oder weniger gut verfestigt werden. Biogene oder chemische Sedimente, wie Carbonate oder Evaporite werden durch Lebewesen aufgebaut oder aus einer gesättigten Lösung (zum Beispiel Meerwasser) ausgefällt.

Spektralphotometer: Spezielle Art eines Photometers, das durch Beleuchten einer Messfläche über das gesamte Spektrum des sichtbaren Lichts die diffuse Reflexion von Lichtwellen misst.

Stöchiometrie: Grundlegendes mathematisches Hilfsmittel in der Chemie zur Berechnung der tatsächlichen Mengenverhältnisse (Reaktionsgleichung) und Stoffmengen aus der qualitativen Kenntnis der Reaktanten (auch Reaktand, Reagens, Ausgangsstoff oder Edukt) und Produkte (entstehender Stoff) einer Reaktion.

Stratigrafie (Stratigraphie): Lehre von der Schichtabfolge und -korrelation in der Geologie.

Teufe: Bergmannssprache für „Tiefe“.

Tithon: Erdzeitalter, auch Tithonium, höchste chronostratigrafische Stufe des Jura.

Transgression: Das Vordringen eines Meeres auf bis dahin trocken liegende Teile eines Kontinents.

Versenkungsdiagenese: Geologischer Prozess der Verfestigung von Sedimenten und Veränderung der dadurch entstandenen Sedimentgesteine durch Zementation und Kompaktion.

Vorbehaltsgebiet: Gebiete, in denen die Gewinnung von Bodenschätzen eine besondere Gewichtung gegenüber anderen Nutzungsansprüchen eingeräumt wird.

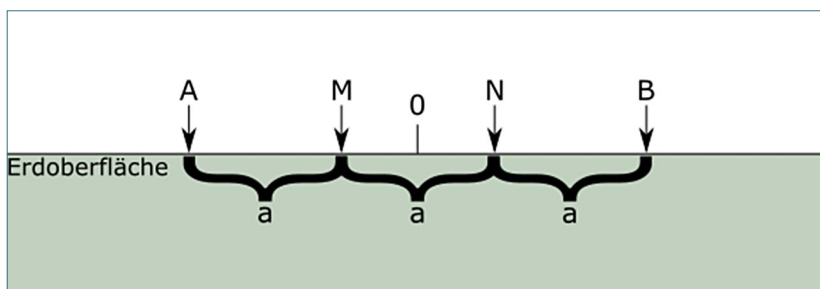
Vorkommen: Rohstoffanhäufung in einem Bereich der Erdkruste, der noch nicht erkundet oder ausreichend untersucht wurde, sodass deren Qualität und Wirtschaftlichkeit noch nicht bekannt ist und daher eine Abgrenzung als Lagerstätte nicht zulässt.

Vorranggebiet: Gebiete; in denen das festgelegte Ziel (zum Beispiel die Gewinnung von Bodenschätzen) gegenüber konkurrierenden Nutzungsansprüchen der Vorrang einzuräumen ist (Ziel der Regionalplanung).

Wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (WD-RFA),

Röntgenfluoreszenzspektroskopie (RFS): Methode aus der Materialanalytik auf Grundlage der Röntgenfluoreszenz. Sie ist eine der am häufigsten eingesetzten zerstörungsfreien Methoden zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der elementaren Zusammensetzung einer Probe.

Wenner-Anordnung: Anordnungsschema der Elektroden im Untergrund bei der Messung von elektrischen Widerständen. Zwei äußere Einspeiseelektroden (A, B), deren Abstände variiert werden, speisen Strom in den Boden ein, während die Widerstände des Untergrunds über die dazwischen gelegenen Messelektroden (M, N) gemessen werden, deren Abstände jeweils so angepasst werden, dass die Abstände aller Elektroden jeweils gleich groß sind.



Wolframcarbid: Sehr harte, nichtoxidische Keramik aus den Elementen Wolfram und Kohlenstoff, die häufig als Material für Werkzeuge genutzt wird.

Zementation: Frühdiagenetische (bereits kurz nach der Ablagerung) ablaufende Bildung von Kristallen im Porenraum des Sediments durch Abscheidung von Salzen aus dem im Porenraum befindlichen Wassers.

Anhang

Bewertungsschema für die Rohstofferkundungsgebiete „Hochreiner Dolomitstein“ im Hinblick auf Konflikte mit Schutzgebieten und ihrer entsprechenden Bewertung in Bezug auf infrastrukturelle Anbindung und Flächengröße.

Vorgehensweise:

Die Grundbewertung (1. und 2. Bewertungsschritt) erfolgte nach der in Kapitel 3.4 (Bewertungsschritt 1 – Vorkommen sowie Bewertungsschritt 2 – Analytik und Mineralogie) beschriebenen Vorgehensweise. Die elf am besten geeigneten Erkundungsgebiete (Kategorie II, vergleiche Kapitel 3.4 Bewertungsschritt 3 – Raumordnung & Infrastruktur) wurden auf ihre „raumordnerischen“ Kriterien überprüft (3. Bewertungsschritt). Für die Bewertung der Gewinnbarkeit wurden die einzelnen Gebiete nach den folgenden Kriterien bewertet. Die erhaltenen Punkte (aus Kriterien A–H) werden aufsummiert und mit der Flächengröße des Gebiets (Bewertungskriterium I) mit dem Faktor 5 multipliziert.

Punktesystem für die Kriterien A–I:

Gute Bewertung:	1–X Punkte, je nach Flächengröße
Keine Auf- oder Abwertung:	0 Punkte
Abwertung:	je eine negative Bewertung je Punkt oder Entfernungskilometer

Kriterien:

A: FFH-Gebiet: (Flora-Fauna-Habitat)	Kein FFH-Gebiet = 0 Punkte, FFH-Gebiet = -1 Punkt
B: Landschaftsschutzgebiet:	Kein Landschaftsschutzgebiet = 0 Punkte, Landschaftsschutzgebiet = -1 Punkt
C: Naturpark:	Kein Naturpark = 0 Punkte, Naturpark = -1 Punkt
Entfernung zu nächster	D: Staatsstraße: pro Kilometer jeweils -1 Punkt
	E: Bundesstraße: pro Kilometer jeweils -1 Punkt
	F: Autobahn: pro Kilometer jeweils -1 Punkt
Anzahl der	G: Ortsdurchfahrten: pro Ortsdurchfahrt jeweils -1 Punkt
	H: Kreisverkehre: pro Kreisverkehr jeweils -1 Punkt
I: Flächengröße des Gebiets in km ² :	Bewertung positiv, mit Faktor 5, ein Punkt je 1 km ²

Auswertung:

Die vier resultierenden Gebiete mit den besten Bewertungen werden mittels Kernbohrung im Detail erkundet.

Tab. 18: Bewertungsmatrix mit Negativ- und Positivkriterien der einzelnen Untersuchungsgebiete hinsichtlich Konflikte mit Schutzgebieten und entsprechender Bewertung in Bezug auf infrastrukturelle Anbindung und Flächengröße (wichtigster Punkt, dieser geht mit Faktor 5 in die Berechnung mit ein). A: FFH-Gebiet (Flora-Fauna-Habitat); B: Landschaftsschutzgebiet; C: Naturpark; Entfernung zu nächsten D: Staatsstraße; E: Bundesstraße; F: Autobahn; Anzahl der G: Ortsdurchfahrten; H: Kreisverkehre; I: Flächengröße des Gebiets in km² (Bewertung positiv, mit Faktor 5); Summe: Wertung grüner Haken gut, rotes X schlecht.

Untersuchungsgebiet	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Summe
AL 4	0	0	0	-4	0	-6	-3	0	+1	-13 +5 = -8
AL 5	0	-1	0	-5	0	-6	-1	0	+2	-13 +10 = -3
AL 6	0	-1	0	-6	0	-6	0	0	+1	-13 +5 = -8
AL 8	0	0	0	-1	0	-6	0	0	+1	-7 +5 = -2
AL 9	0	0	0	-2	0	-7	0	0	+1	-9 +5 = -4
BET 4	-1	-1	-1	-2	0	-6	-1	-1	+1	-13 +5 = -8
KAS 3	0	-1	-1	0	-5	-6	-2	0	+1	-15 +5 = -10
KAS 12	0	-1	-1	0	-3	-13	-2	0	+2	-20 +10 = -10
KAS 14	0	-1	-1	0	-9	-13	-1	-1	+1	-26 +5 = -21
LAU 1	0	-1	-1	0	-2	-13	-3	0	+3	-20 +15 = -5
PO 7	0	-1	-1	-6	-7	-19	-7	-1	+1	-42 +5 = -37

Probenlisten der Vorerkundung

Tab. 19: Tabellarische Aufstellung der Proben mit Bezug auf die jeweiligen Probenahmepunkte.

Probe	Rechtswert	Hochwert	Höhe über NN [m]
AL1-01	4468163,19	5478581,42	540,1
AL1-02	4467969,86	5478796,56	568,1
AL1-03	4467940,98	5478430,59	531,0
AL1-04	4468871,86	5478612,44	465,4
AL1-05	4469056,15	5478434,98	471,3
AL2-01	4467477,47	5478297,34	484,6
AL2-02	4467240,39	5478613,71	502,2
AL2-03	4466169,91	5478815,88	555,7
AL2-05	4466753,02	5479283,81	506,5
AL3-01	4464908,45	5478978,85	581,6
AL3-02	4464652,54	5479772,71	530,4
AL3-03	4465065,82	5479627,87	580,8
AL3-04	4465354,53	5479390,10	585,8
AL3-05	4465370,94	5479513,12	553,2
AL4-01	4468512,64	5476542,58	570,0
AL4-02	4468886,63	5476530,29	564,5
AL4-03	4469259,08	5476521,06	584,1
AL4-04	4470070,54	5475984,03	580,9
AL4-05	4470447,65	5476150,66	580,2
AL4-06	4469189,53	5475619,83	563,4
AL5-01	4470763,39	5479378,36	559,3
AL5-02	4470174,25	5479075,99	573,6
AL5-03	4470746,71	5478790,08	566,3
AL5-04	4470696,87	5478540,88	604,4
AL5-05	4471043,06	5478248,46	628,4
AL6-01	4470914,13	5477141,03	527,5
AL6-02	4470983,00	5477636,16	570,5
AL6-03	4471393,33	5477942,57	607,5
AL6-04	4472424,77	5476851,24	612,0
AL7-01	4470556,93	5480568,30	528,2
AL7-02	4469501,71	5481711,45	537,7
AL7-03	4469428,48	5482160,20	520,6
AL7-04	4468762,84	5482150,16	529,9
AL7-05	4470027,74	5481309,22	507,9
AL7-06	4470343,99	5482037,05	549,8
AL8-01	4474856,96	5481376,53	504,6
AL8-02	4475302,78	5481412,25	544,0
AL8-03	4474795,50	5481750,05	551,7

Probe	Rechtswert	Hochwert	Höhe über NN [m]
AL8-04	4474918,08	5480887,58	559,2
AL8-05	4474935,01	5480691,26	531,6
AL9-01	4473484,93	5480858,22	536,1
AL9-02	4473556,11	5480748,95	551,0
AL9-03	4473634,16	5480452,88	548,2
AL9-04	4473991,87	5480061,82	556,8
AL9-05	4473708,77	5480064,47	582,4
AL9-07	4473864,35	5479594,57	566,3
AU1-01	4468307,24	5497339,74	419,5
AU1-02	4468434,38	5497204,11	424,9
AU1-03	4468403,58	5497153,68	424,9
AU1-04	4468705,98	5496856,43	433,9
AU1-05	4469325,05	5496806,78	487,3
AU1-06	4469095,27	5497431,20	435,2
AU1-07	4468534,67	5497506,86	418,9
AU3-01	4473345,18	5500089,45	515,7
AU3-02	4473456,19	5499744,72	519,2
AU3-03	4473154,73	5499495,76	513,7
AU3-04	4472954,59	5499482,04	504,8
AU3-05	4472864,15	5499298,66	544,4
AU4-01	4471908,24	5497649,98	569,2
AU4-02	4471350,46	5498057,98	567,0
AU4-03	4471654,55	5499097,48	513,8
AU4-04	4471687,09	5498682,19	503,3
AU4-05	4471545,17	5499697,64	481,4
AU4-06	4470915,32	5499272,65	517,5
AU4-07	4470992,20	5498821,40	509,4
AU4-08	4470650,87	5498185,34	511,3
AU4-09	4471129,26	5497794,02	538,8
AU7-01	4473897,77	5502830,45	461,4
AU7-02	4474874,93	5502730,63	477,8
AU7-03	4473962,49	5501900,85	485,0
AU7-04	4473788,48	5501839,25	484,0
AU7-05	4474333,81	5501404,23	471,6
AU8-01	4474870,04	5496432,27	591,6
AU8-02	4475167,26	5496575,45	583,4
AU8-02-2	4475167,26	5496575,45	583,4
AU8-03	4475385,92	5497107,52	572,3
AU8-04	4475402,84	5497575,60	529,6
AU9-01	4464676,11	5499096,51	481,0
AU9-02-1	4464756,02	5498776,89	479,0
AU9-02-2	4464756,02	5498776,89	479,0
AU9-02-3	4464756,02	5498776,89	479,0
AU9-03	4463626,60	5498634,97	439,4
AU9-04	4463859,63	5499440,91	441,6
AU9-05	4463668,21	5498876,08	483,8
AU9-06	4464128,87	5498680,00	467,5
BET1-01	4459027,58	5497597,03	560,4
BET1-02	4459519,18	5497486,11	516,3
BET1-03	4461122,73	5497091,51	476,7

Probe	Rechtswert	Hochwert	Höhe über NN [m]
BET1-04	4460268,72	5497192,39	493,3
BET1-05	4459287,95	5498261,16	552,3
BET1-06	4459527,83	5498097,86	539,9
BET2-01	4461463,11	5499427,44	520,5
BET2-02	4460910,05	5499128,27	475,7
BET2-03	4461030,16	5498878,65	463,2
BET2-04	4461514,90	5498590,42	473,6
BET4-01	4463324,60	5500879,95	506,9
BET4-02	4462755,17	5501006,66	458,9
BET4-03	4463783,36	5500536,21	487,1
BET4-04	4463363,98	5500390,23	478,9
BET4-05	4463634,89	5500065,55	481,3
BET5-01.1	4454611,94	5500253,99	528,7
BET5-01-2	4454611,94	5500253,99	528,7
BET5-02	4454324,30	5500528,03	495,9
BET5-03	4454631,71	5501124,31	502,2
BET5-04	4454293,54	5501093,56	501,8
BET5-06	4453634,96	5501183,52	506,0
BET5-07	4455406,64	5501376,38	550,2
BET6-01	4453146,95	5501060,08	509,5
BET6-02	4452906,20	5501320,84	514,8
BET6-03	4452486,22	5500699,41	552,5
BET6-04	4452171,13	5501553,69	567,8
BET6-05	4451547,50	5501714,09	526,4
BET7-01	4454433,10	5503322,63	531,0
BET7-02	4454599,81	5503462,67	540,3
BET7-03	4454633,81	5503139,21	583,5
BET7-04	4454763,59	5503049,92	593,1
BET7-05-1	4454662,79	5502793,53	567,7
BET7-05-2	4454662,79	5502793,53	567,7
BET7-06	4454083,29	5504063,04	527,1
BET7-07	4454446,89	5504085,92	541,9
BET7-08	4454601,31	5504093,51	528,2
BET7-09	4454820,59	5504261,01	556,2
BET8-01	4453678,19	5505405,61	514,4
BET8-02	4453095,40	5505856,86	477,6
BET8-03	4452737,80	5505380,32	468,6
BET8-04	4453127,94	5504998,75	461,9
BET8-05	4453237,30	5504967,07	468,0
BET9-01	4452388,96	5505385,06	488,3
BET9-02	4452605,36	5505641,54	463,8
BET9-03	4452281,90	5505742,92	467,8
BET9-04	4452144,76	5505353,38	521,6
BET9-05	4451672,37	5505429,73	506,2
BR-PD	4460351,67	5509142,52	429,4
GÖ1	4479760,20	5476877,05	482,0
HER1-01	4461195,36	5492783,50	509,7
HER1-02	4460301,76	5493066,86	553,6
HER1-03	4460137,77	5493606,38	537,1
HER1-04	4460077,30	5493196,07	569,5

Probe	Rechtswert	Hochwert	Höhe über NN [m]
HER1-05	4461334,43	5492390,85	528,4
HER2-01	4457131,22	5494542,06	503,5
HER2-02	4456564,88	5494678,71	509,7
HER2-03	4456822,57	5495196,38	502,1
HER2-04	4457386,07	5494748,46	451,5
HER3-01	4455924,57	5495263,14	560,2
HER3-02	4455977,95	5494735,28	564,4
HER3-03	4456203,79	5494284,08	558,2
HER3-04	4455849,38	5494266,64	561,3
HER3-05	4456064,80	5493450,76	544,7
HER4-01	4458809,07	5496820,51	532,5
HER4-02	4458279,57	5496302,37	553,4
HER4-03	4458700,85	5495988,69	523,6
HER4-04	4458517,28	5495341,33	569,0
HER4-05	4459026,78	5495266,17	566,3
HER4-06	4459315,69	5495394,24	554,4
KAS10-01	4480834,83	5466113,98	436,3
KAS10-02	4480861,75	5466793,24	481,9
KAS10-03	4481767,39	5466384,14	495,1
KAS10-04	4482306,32	5467246,40	462,6
KAS10-05	4482578,77	5467067,05	423,8
KAS1-01	4481617,00	5471373,00	510,7
KAS1-02	4481448,00	5471559,00	488,9
KAS1-03	4481752,00	5472129,00	515,3
KAS11-01	4480396,48	5467375,36	445,7
KAS11-02	4479930,84	5467804,15	435,8
KAS11-03	4479610,48	5468320,58	434,2
KAS11-04	4479562,21	5468939,17	435,5
KAS11-05	4480306,23	5468790,71	545,8
KAS11-06	4480045,40	5468595,04	503,6
KAS12-01	4478637,54	5469410,84	471,2
KAS12-02	4478241,41	5469252,61	515,9
KAS12-03	4478397,95	5468970,18	522,7
KAS12-04	4479093,93	5468068,23	499,8
KAS12-05	4479374,06	5468227,02	455,2
KAS13-01	4476604,69	5467283,46	497,7
KAS13-02	4477229,99	5467411,70	520,6
KAS13-03	4477629,52	5467183,81	518,1
KAS14-01	4477488,93	5465492,36	538,3
KAS14-02	4477207,86	5465539,05	543,9
KAS14-03	4478036,76	5466164,93	536,7
KAS14-04	4477834,60	5465898,81	560,2
KAS2-01	4479224,00	5470747,00	467,2
KAS2-02	4479536,00	5469709,00	443,0
KAS2-03	4479493,00	5470026,00	441,9
KAS2-04	4480394,00	5469816,00	508,9
KAS2-05	4480215,00	5470440,00	509,5
KAS3-01	4483571,00	5471041,00	491,6
KAS3-02	4484182,00	5471068,00	520,4
KAS3-03	4483480,00	5471601,00	496,7

Probe	Rechtswert	Hochwert	Höhe über NN [m]
KAS3-04	4484267,00	5471630,00	514,4
KAS4-01	4483879,65	5468830,00	498,4
KAS4-02	4483785,63	5469350,70	464,4
KAS4-03	4483405,09	5469479,40	445,3
KAS4-04	4483185,22	5469751,83	447,5
KAS4-05	4483699,24	5470128,77	527,3
KAS5-01	4483578,75	5467548,89	479,8
KAS5-02	4483159,29	5467043,40	451,3
KAS5-03	4483738,18	5467043,38	498,3
KAS5-04	4483536,33	5466545,01	471,2
KAS6-01	4483673,01	5466041,25	476,1
KAS6-02	4483882,45	5465326,25	457,6
KAS6-03	4484683,23	5464191,17	441,7
KAS6-04	4484796,88	5464819,22	446,3
KAS6-05	4484707,65	5465628,36	477,5
KAS7-01	4486891,25	5466025,62	461,9
KAS7-02	4487380,52	5466012,62	484,3
KAS7-03	4487034,10	5465361,92	449,6
KAS7-04	4487511,90	5465378,26	499,4
KAS8-01	4484931,57	5463733,29	479,1
KAS8-02	4484538,41	5463129,10	422,4
KAS8-03	4485550,79	5463152,91	462,2
KAS8-04	4485035,46	5463329,01	460,2
KAS8-05	4485105,97	5463973,02	460,7
KAS9-01	4482265,79	5465809,82	470,7
KAS9-02	4481791,06	5465428,85	472,3
KAS9-03	4483361,98	5464799,64	452,8
KAS9-04	4483109,33	5464963,81	458,7
KAS9-05	4482509,61	5464985,11	474,0
LAU1-01	4475551,63	5469159,04	549,3
LAU1-02	4475868,70	5468737,90	536,4
LAU1-03	4474787,20	5468906,98	537,5
LAU1-04	4476169,36	5467531,45	538,0
LAU1-05	4475527,08	5467588,51	548,0
LAU1-06	4475181,76	5467377,59	549,1
LAU2-01	4476538,74	5471490,35	464,0
LAU2-02	4475799,44	5471663,11	518,5
LAU2-03	4474918,84	5471621,56	538,3
LAU3-01	4476025,97	5466593,34	486,9
LAU3-02	4476323,25	5466317,01	510,0
LAU3-03	4475676,66	5465828,61	530,7
LAU3-04	4475744,04	5465306,62	496,7
LAU3-05	4475300,27	5465954,42	553,9
PO10-01	4471660,67	5490660,40	457,8
PO10-02	4471779,39	5490372,06	513,2
PO10-03	4471395,67	5489880,32	515,3
PO1-01	4472171,08	5496197,39	559,3
PO1-02	4472148,48	5495940,36	569,0
PO1-03	4473095,92	5495569,14	576,3
PO1-04	4472643,42	5495267,38	573,4

Probe	Rechtswert	Hochwert	Höhe über NN [m]
PO1-05	4471829,49	5494983,23	563,8
PO1-06	4471514,42	5495473,38	555,0
PO1-07	4471112,28	5494940,08	502,3
PO11-01	4468385,55	5486522,21	448,6
PO11-02	4468385,55	5486443,60	434,0
PO11-03	4469800,84	5486207,63	540,4
PO11-04	4469815,62	5486234,70	542,6
PO11-05	4469816,82	5486527,19	535,3
PO11-06	4469758,72	5485970,05	525,7
PO12-01	4470927,92	5490449,07	488,6
PO12-02	4471325,40	5490772,90	475,5
PO12-03	4471468,85	5491132,40	475,4
PO13-01	4474432,11	5488406,26	489,5
PO13-02	4474135,77	5488421,48	500,9
PO13-03	4474010,23	5488405,07	517,6
PO13-04	4473925,05	5488823,53	500,7
PO14-01	4470297,26	5485140,69	503,9
PO14-02	4469959,78	5484981,18	463,3
PO14-03	4470112,71	5484622,20	417,7
PO14-04	4470760,09	5484846,36	449,3
PO2-01	4465854,44	5492370,72	422,4
PO2-02	4465359,72	5492728,65	460,2
PO2-03	4464367,41	5491740,68	480,1
PO2-04	4464610,71	5492306,91	493,3
PO2-05	4465191,52	5492220,78	470,5
PO2-06	4465463,91	5492279,07	450,9
PO2-07	4465062,26	5491499,22	518,5
PO2-08	4465532,45	5491053,20	475,8
PO2-09	4465239,24	5491198,45	499,8
PO2-10	4465682,73	5491203,29	475,1
PO2-11	4466023,95	5491478,81	418,0
PO3-01	4466817,61	5493283,63	519,4
PO3-02	4466385,36	5493364,20	515,6
PO3-03	4466203,26	5492861,91	510,1
PO3-04	4465950,43	5493142,21	435,7
PO3-05	4466264,37	5492567,64	480,8
PO3-06	4467386,01	5492917,43	516,3
PO4-01-1	4465971,14	5490478,41	440,5
PO4-01-2	4465971,14	5490478,41	440,5
PO4-01-3	4465971,14	5490478,41	440,5
PO4-02	4467309,97	5490371,96	495,5
PO4-03	4467047,58	5490293,26	534,2
PO4-04	4467803,89	5490184,97	467,8
PO4-05	4465659,33	5489971,24	500,6
PO4-06	4466562,81	5489757,14	526,1
PO5-01	4468362,07	5495966,50	455,9
PO5-02	4468381,35	5495414,57	484,8
PO5-03	4467993,08	5495504,59	486,9
PO5-04	4467964,76	5495777,43	472,0

Probe	Rechtswert	Hochwert	Höhe über NN [m]
PO6-01	4465615,64	5494069,70	467,0
PO6-02	4465470,41	5494275,09	476,1
PO6-03	4465542,66	5494880,07	551,0
PO6-04	4465450,94	5494839,83	542,9
PO6-05	4465221,97	5494957,12	528,8
PO7-01	4470917,97	5494386,07	486,3
PO7-02	4471039,52	5492896,57	442,8
PO7-03	4470831,70	5493070,57	478,9
PO7-04	4470523,88	5493658,16	473,8
PO9-01	4468218,51	5488552,14	482,1
PO9-02	4468614,33	5488113,66	459,5
PO9-03	4468531,55	5489295,93	492,7
PO9-04	4468855,71	5489604,75	496,1
PO9-05	4468798,19	5488950,91	498,4
PO9-06	4468851,46	5488918,95	484,4
SURO1-01	4476838,70	5489412,03	480,2
SURO1-02	4477017,10	5489370,23	488,9
SURO2-01	4476024,14	5489090,55	464,7
SURO2-02	4475985,77	5488742,62	439,0
SURO2-03	4476260,68	5489011,97	476,7
SURO2-04	4476116,21	5488881,79	468,0
SURO3-01	4475662,49	5487294,69	487,9
SURO3-02	4475638,15	5487104,71	492,4
SURO3-03	4475786,32	5486895,43	493,7
SURO3-04	4476886,32	5487307,14	460,1
SURO3-05	4476399,09	5487177,93	468,6
SURO4-01	4477092,34	5484884,80	456,7
SURO4-02	4476387,00	5485181,43	491,2
SURO4-03	4476623,63	5485094,21	479,4
SURO5-01	4476270,33	5482049,79	517,8
SURO5-02	4476984,99	5482307,02	507,7
SURO5-03	4477116,20	5482386,48	495,0
SURO5-04	4477235,26	5482381,71	487,6
SURO5-05	4477615,47	5481717,74	498,3
SURO5-06	4477710,19	5482477,49	478,8
SURO6-01	4477231,33	5480865,71	498,5
SURO6-02	4477412,01	5481004,53	504,7
SURO6-03	4478437,06	5481069,80	495,5
SURO7-01	4477519,35	5478164,67	550,6
SURO7-02	4477879,31	5477578,20	535,1
SURO7-03	4478089,04	5478620,00	475,0
SURO7-04	4478577,47	5478248,95	463,6
SURO7-05	4478984,77	5477911,20	514,5
SURO8-01	4482831,04	5476009,46	464,7
SURO8-02	4482843,86	5475806,50	468,2
SURO8-03	4482190,54	5476038,80	482,4
SURO8-04	4482023,57	5475690,41	486,3
SURO8-05	4482124,99	5475514,54	484,3

Analytik Voruntersuchung

Tab. 20: Tabellarische Zusammenstellung der Hauptelement-Gehalte (RFA-Analytik) der Vorerkundungsproben.

Nachweisgrenze Probe	SiO ₂ [Gew.-%] 0,01	Al ₂ O ₃ [Gew.-%] 0,01	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%] 0,01	MnO [Gew.-%] 0,001	MgO [Gew.-%] 0,01	CaO [Gew.-%] 0,01	Na ₂ O [Gew.-%] 0,01	K ₂ O [Gew.-%] 0,01	TiO ₂ [Gew.-%] 0,01	P ₂ O ₅ [Gew.-%] 0,01	LOI [Gew.-%]	Total [Gew.-%]
AL1-01	0,65	0,39	0,2	0,02	20,51	31,02	< 0,01	< 0,01	0,02	0,13	46,56	99,5
AL1-02	0,17	0,23	0,14	0,01	20,72	31,02	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,66	98,98
AL1-03	0,76	0,35	0,24	0,01	20,52	30,89	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,74	99,57
AL1-04	1,18	0,26	0,16	0,02	19,99	31,65	< 0,01	< 0,01	0,02	0,07	46,32	99,68
AL1-05	0,62	0,31	0,14	0,02	20,37	31,41	< 0,01	< 0,01	0,02	0,08	46,99	99,95
AL2-01	0,87	0,3	0,22	0,02	19,86	32,41	0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,38	100,1
AL2-02	0,63	0,28	0,18	0,01	20,5	30,85	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,78	99,31
AL2-03	0,09	0,17	0,1	0,01	20,67	31,73	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,61	99,43
AL2-05	0,55	0,3	0,1	0,01	19,6	32,9	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,5	100
AL3-01	0,41	0,23	0,21	0,01	19,63	32,78	< 0,01	< 0,01	0,01	0,06	46,51	99,86
AL3-02	0,94	0,34	0,11	0,02	18,56	33,22	0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,29	99,56
AL3-03	0,26	0,23	0,09	0,01	20,37	31,1	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,48	98,6
AL3-04	0,96	0,2	0,15	0,02	18,89	32,91	< 0,01	< 0,01	0,01	0,08	46,2	99,42
AL3-05	0,38	0,17	0,1	0,01	20,14	32,03	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,19	99,08
AL4-01	0,36	0,24	0,19	0,02	20,79	31,11	< 0,01	< 0,01	0,01	0,07	46,02	98,81
AL4-02	0,19	0,18	0,09	0,01	20,65	31,23	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,8	99,19
AL4-03	0,62	0,25	0,09	0,01	20,74	31,4	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,24	99,42
AL4-04	0,03	0,11	0,15	0,01	20,91	31,85	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	45,9	98,98
AL4-05	0,08	0,2	0,18	0,01	20,84	31,53	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	45,96	98,84
AL4-06	0,03	0,17	0,16	0,02	20,42	31,61	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,14	98,58
AL5-01	< 0,01	0,15	0,13	0,01	20,88	31,5	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,89	99,59
AL5-02	< 0,01	0,14	0,07	0,01	20,78	31,41	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,63	99,04
AL5-03	0,04	0,22	0,11	0,01	20,69	31,94	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,76	99,82
AL5-04	< 0,01	0,12	0,1	0,01	20,67	31,15	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,59	98,62
AL5-05	< 0,01	0,09	0,11	0,02	20,07	32,39	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,61	99,3
AL6-01	1,02	0,49	0,21	0,02	20,45	31,25	< 0,01	< 0,01	0,03	0,05	46,37	99,88
AL6-02	0,02	0,17	0,13	0,01	21,02	31,7	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,53	99,64
AL6-03	< 0,01	0,13	0,09	0,01	20,68	32,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,56	99,46
AL6-04	< 0,01	0,09	0,09	0,01	20,71	31,55	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,62	99,11
AL7-01	0,07	0,18	0,23	0,01	20,76	31,55	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,08	98,92
AL7-02	0,32	0,24	0,13	0,02	20,5	31,39	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	45,88	98,56
AL7-03	0,39	0,26	0,16	0,03	20,8	31,06	< 0,01	< 0,01	0,01	0,07	45,95	98,73
AL7-04	0,63	0,31	0,14	0,01	20,95	31,2	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,54	99,83
AL7-05	0,49	0,29	0,11	0,01	20,83	31,16	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,73	99,69
AL7-06	0,61	0,29	0,27	0,02	20,67	30,96	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,33	99,23
AL8-01	0,46	0,17	0,21	0,03	20,9	31,08	0,01	< 0,01	0,01	0,06	46,69	99,61
AL8-02	0,57	0,28	0,21	0,02	20,66	30,68	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,33	98,82
AL8-03	0,23	0,33	0,19	0,02	20,33	31,85	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,49	99,5
AL8-04	0,22	0,25	0,16	0,01	20,83	31,4	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,63	99,55
AL8-05	0,28	0,14	0,21	0,01	20,73	31,4	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,62	99,45
AL9-01	0,68	0,29	0,37	0,02	20,65	31	0,01	< 0,01	0,02	0,05	45,46	98,55
AL9-02	0,17	0,22	0,13	0,01	20,84	31,11	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,52	99,05
AL9-03	0,13	0,24	0,09	0,01	20,89	31,52	0,01	< 0,01	0,01	0,02	45,82	98,74
AL9-04	0,1	0,23	0,13	0,01	20,81	31,14	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,65	99,12
AL9-05	0,11	0,21	0,16	0,01	21,01	31,61	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	45,41	98,57

Nachweisgrenze Probe	SiO ₂ [Gew.-%] 0,01	Al ₂ O ₃ [Gew.-%] 0,01	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%] 0,01	MnO [Gew.-%] 0,001	MgO [Gew.-%] 0,01	CaO [Gew.-%] 0,01	Na ₂ O [Gew.-%] 0,01	K ₂ O [Gew.-%] 0,01	TiO ₂ [Gew.-%] 0,01	P ₂ O ₅ [Gew.-%] 0,01	LOI [Gew.-%]	Total [Gew.-%]
AL9-07	0,03	0,17	0,11	0,01	20,91	31,52	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	45,82	98,6
AU1-01	0,17	0,18	0,06	0,011	19,13	33,25	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,79	99,66
AU1-02	0,83	0,48	0,1	0,015	18,08	33,15	< 0,01	< 0,01	0,03	0,04	46,24	98,97
AU1-03	0,01	0,2	0,05	0,011	20,45	31,05	< 0,01	< 0,01	0,01	0,06	46,82	98,66
AU1-04	0,67	0,18	0,12	0,017	20,31	31,41	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	46,65	99,41
AU1-05	< 0,01	0,21	0,06	0,011	20,19	32,86	< 0,01	< 0,01	0,01	0,06	46,38	99,78
AU1-06	0,04	0,14	0,09	0,014	20,65	31,98	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,47	99,44
AU1-07	0,15	0,09	0,09	0,014	20,31	30,91	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	47	98,62
AU3-01	0,18	0,14	0,09	0,011	17,47	34,39	< 0,01	0,02	0,01	0,04	46,48	98,84
AU3-02	0,59	0,35	0,11	0,034	14,7	38,35	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	45,82	100
AU3-03	0,35	0,34	0,07	0,015	17,08	34,85	< 0,01	0,02	0,01	0,05	46,34	99,15
AU3-04	0,2	0,14	0,09	0,014	19,52	33,82	< 0,01	0,01	0,01	0,03	46,26	100,1
AU3-05	0,46	0,15	0,09	0,018	17,55	34,95	< 0,01	0,02	0,02	0,05	46,37	99,67
AU4-01	0,36	0,36	0,13	0,014	18,00	34,1	< 0,01	0,01	0,01	0,07	46,52	99,58
AU4-02	0,84	0,32	0,14	0,016	18,01	33,78	< 0,01	0,06	0,02	0,06	46,22	99,5
AU4-03	1,05	0,38	0,17	0,023	17,37	34,08	< 0,01	0,09	0,03	0,04	46	99,23
AU4-04	0,61	0,21	0,14	0,02	18,44	33,23	< 0,01	0,04	0,01	0,04	46,56	99,39
AU4-05	0,49	0,31	0,14	0,014	19,87	31,02	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,77	98,69
AU4-06	1,28	0,48	0,19	0,023	17,2	34,09	< 0,01	0,09	0,03	0,14	45,82	99,35
AU4-07	1,27	0,37	0,16	0,025	17,29	34,47	< 0,01	0,07	0,03	0,09	45,88	99,66
AU4-08	0,54	0,19	0,09	0,018	17,42	34,46	< 0,01	0,04	0,02	0,07	46,4	99,24
AU4-09	0,31	0,33	0,12	0,011	18,73	32,62	< 0,01	0,03	0,01	0,03	46,53	98,73
AU7-01	0,6	0,29	0,12	0,01	20,4	31,9	< 0,01	0,01	0,02	0,04	46,66	100,1
AU7-02	0,68	0,33	0,19	0,02	20,17	32,08	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,03	99,59
AU7-03	1,03	0,32	0,11	0,02	18,59	34,01	0,01	0,01	0,02	0,05	46,18	100,3
AU7-04	1,98	0,27	0,09	0,01	16,95	30,62	0,01	0,02	0,02	0,05	49,91	99,94
AU7-05	0,95	0,28	0,14	0,02	18,34	33,71	0,01	0,02	0,02	0,1	46,1	99,7
AU8-01	0,86	0,31	0,16	0,03	17,91	34,09	< 0,01	0,05	0,02	0,07	46,09	99,61
AU8-02	0,27	0,28	0,07	0,015	18,7	32,53	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,74	98,68
AU8-02.2	0,74	0,34	0,14	0,017	17,01	34,45	< 0,01	0,06	0,02	0,06	46,05	98,91
AU8-03	0,19	0,25	0,07	0,013	20,97	31,67	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,85	100,1
AU8-04	0,1	0,25	0,12	0,017	18,78	34,53	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,34	100,2
AU9-01	< 0,01	0,12	0,09	0,013	20,78	31,38	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,81	99,23
AU9-02.1	0,11	0,24	0,14	0,016	20,41	30,61	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,97	98,56
AU9-02.2	0,07	0,19	0,1	0,015	20,79	31,42	< 0,01	< 0,01	0,01	0,07	46,6	99,27
AU9-02.3	< 0,01	0,2	0,08	0,013	20,74	31,53	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,77	99,37
AU9-03	0,15	0,35	0,15	0,017	20,87	31,4	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,75	99,73
AU9-04	0,84	0,47	0,23	0,02	20,94	31,17	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,24	100
AU9-05	0,14	0,38	0,17	0,016	20,95	31,61	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,76	100,1
AU9-06	0,07	0,38	0,11	0,015	20,85	31,61	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,68	99,79
BET1-01	0,59	0,31	0,1	0,017	19,36	33,14	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46	99,6
BET1-02	0,73	0,45	0,21	0,017	19,53	33,17	< 0,01	< 0,01	0,02	0,08	45,78	100
BET1-03	0,55	0,17	0,15	0,013	20,05	30,5	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	47,05	98,54
BET1-04	0,83	0,51	0,18	0,011	18,88	28,59	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	49,9	99,01
BET1-05	1,11	0,43	0,25	0,021	20,55	31,68	< 0,01	0,07	0,03	0,08	46,08	100,3
BET1-06	0,69	0,35	0,37	0,011	16,5	35,33	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,22	99,53
BET2-01	1,1	0,44	0,35	0,019	19,91	30,49	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,16	98,55
BET2-02	0,56	0,36	0,16	0,011	20,48	30,78	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	47,03	99,44
BET2-03	1,14	0,53	0,2	0,019	20,06	30,28	< 0,01	< 0,01	0,03	0,1	46,36	98,71

Nachweisgrenze Probe	SiO ₂ [Gew.-%] 0,01	Al ₂ O ₃ [Gew.-%] 0,01	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%] 0,01	MnO [Gew.-%] 0,001	MgO [Gew.-%] 0,01	CaO [Gew.-%] 0,01	Na ₂ O [Gew.-%] 0,01	K ₂ O [Gew.-%] 0,01	TiO ₂ [Gew.-%] 0,01	P ₂ O ₅ [Gew.-%] 0,01	LOI [Gew.-%]	Total [Gew.-%]
BET2-04	1,12	0,44	0,23	0,032	20,61	31,19	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,22	99,93
BET4-01	< 0,01	0,18	0,08	0,012	20,06	30,44	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	49,07	99,87
BET4-02	0,4	0,34	0,13	0,018	20,56	31,82	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,6	99,94
BET4-03	< 0,01	0,06	0,1	0,015	20,82	32,03	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,73	99,82
BET4-04	0,1	0,16	0,15	0,015	20,92	31,51	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,77	99,67
BET4-05	< 0,01	0,35	0,09	0,013	20,84	31,79	< 0,01	< 0,01	0,01	0,07	46,6	99,75
BET5-01.1	0,1	0,17	0,1	0,011	19,43	32,24	< 0,01	0,02	0,01	0,02	47,33	99,51
BET5-01.2	0,3	0,26	0,1	0,01	19,63	32,01	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	47,65	100
BET5-02	0,35	0,22	0,07	0,012	4,02	50,49	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	44,24	99,46
BET5-03	0,53	0,17	0,09	0,01	19,68	31,3	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,87	98,73
BET5-04	0,3	0,26	0,06	0,009	19,54	32,15	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,93	99,3
BET5-06	0,76	0,31	0,11	0,012	17,53	34,73	< 0,01	0,04	0,02	0,04	46,26	99,81
BET5-07	0,06	0,13	0,15	0,014	17,96	34,38	< 0,01	0,01	0,01	0,04	46,9	99,66
BET6-01	0,73	0,39	0,18	0,009	20,64	31,07	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,95	100,1
BET6-02	0,66	0,59	0,13	0,014	19,83	30,79	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,45	98,56
BET6-03	0,54	0,2	0,1	0,01	20,35	30,61	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,75	98,64
BET6-04	0,35	0,15	0,08	0,01	20,81	31,66	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	47,02	100,2
BET6-05	0,55	0,16	0,12	0,008	20,33	30,56	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02	46,93	98,7
BET7-01	4,51	0,47	0,18	0,021	18,99	29,55	< 0,01	0,03	0,02	0,06	44,66	98,51
BET7-02	0,02	0,23	0,08	0,01	18,61	34,27	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,39	99,67
BET7-03	< 0,01	0,25	0,08	0,013	18,66	34,48	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,24	99,76
BET7-04	< 0,01	0,18	0,15	0,009	20,28	30,73	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	48,16	99,54
BET7-05.1	0,05	0,19	0,1	0,013	19,69	33,52	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,26	99,88
BET7-05.2	< 0,01	0,31	0,04	0,01	20,91	31,62	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,7	99,62
BET7-06	0,34	0,22	0,1	0,01	19,38	32,95	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,88	99,94
BET7-07	0,24	0,14	0,1	0,01	20,46	31,19	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,83	99,03
BET7-08	0,01	0,11	0,03	0,008	20,68	30,88	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	47,16	98,92
BET7-09	0,04	0,15	0,04	0,01	20,8	31,56	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,83	99,48
BET8-01	0,48	0,36	0,13	0,006	20,36	30,39	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	47,07	98,86
BET8-02	0,38	0,22	0,22	0,016	20,6	30,77	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	47,04	99,31
BET8-03	0,38	0,25	0,3	0,011	20,58	30,77	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,83	99,2
BET8-04	1,1	0,39	0,09	0,023	18,15	32,49	< 0,01	0,01	0,02	0,04	46,15	98,48
BET8-05	0,57	0,3	0,27	0,017	20,2	30,47	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,59	98,51
BET9-01	0,7	0,31	0,41	0,02	20,59	30,98	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	45,54	98,65
BET9-02	0,66	0,3	0,18	0,01	20,66	30,8	< 0,01	0,01	0,02	0,03	46,5	99,19
BET9-03	0,26	0,27	0,15	0,01	20,78	31,04	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,81	99,35
BET9-04	0,08	0,14	0,22	0,01	19,04	33,2	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,24	98,99
BET9-05	0,21	0,14	0,12	0,01	20,94	31,73	0,01	< 0,01	0,02	0,03	46,92	100,1
BR-PD	< 0,01	0,16	0,05	0,01	20,77	31,42	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,67	99,12
GÖ1	0,56	0,32	0,11	0,01	20,70	31,1	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	47,21	100,1
HER1-01	0,86	0,31	0,13	0,02	20,26	31,83	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,24	99,72
HER1-02	0,53	0,31	0,16	0,02	19,64	32,33	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,77	99,84
HER1-03	0,22	0,18	0,06	0,01	21,07	31,34	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	47,17	100,1
HER1-04	0,62	0,28	0,07	0,02	19,90	31,89	< 0,01	< 0,01	0,01	0,14	46,58	99,51
HER1-05	0,65	0,2	0,17	0,02	20,59	31,41	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,54	99,64
HER2-01	0,34	0,33	0,11	0,011	20,31	30,72	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,94	98,83
HER2-02	0,46	0,49	0,1	0,017	19,73	31,07	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,69	98,63
HER2-03	0,85	0,11	0,14	0,014	20,30	30,6	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,78	98,85
HER2-04	0,52	0,31	0,17	0,022	20,48	31,09	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,57	99,23

Nachweisgrenze Probe	SiO ₂ [Gew.-%] 0,01	Al ₂ O ₃ [Gew.-%] 0,01	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%] 0,01	MnO [Gew.-%] 0,001	MgO [Gew.-%] 0,01	CaO [Gew.-%] 0,01	Na ₂ O [Gew.-%] 0,01	K ₂ O [Gew.-%] 0,01	TiO ₂ [Gew.-%] 0,01	P ₂ O ₅ [Gew.-%] 0,01	LOI [Gew.-%]	Total [Gew.-%]
HER3-01	0,15	0,19	0,05	0,008	20,95	31,48	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	47,11	100
HER3-02	0,37	0,24	0,15	0,013	20,51	30,72	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,91	98,97
HER3-03	1,37	0,66	0,24	0,016	20,09	30,18	< 0,01	< 0,01	0,04	0,22	46,2	99,02
HER3-04	0,28	0,21	0,12	0,008	20,44	30,52	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02	47,02	98,64
HER3-05	0,45	0,2	0,07	0,012	20,40	30,53	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	47,07	98,79
HER4-01	0,62	0,36	0,13	0,012	20,23	30,45	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	47,06	98,91
HER4-02	0,29	0,23	0,09	0,01	20,20	30,78	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	46,93	98,58
HER4-03	0,27	0,23	0,13	0,013	20,34	30,58	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,98	98,57
HER4-04	0,81	0,62	0,19	0,017	19,86	31,99	< 0,01	< 0,01	0,02	0,07	46,26	99,84
HER4-05	0,37	0,24	0,09	0,011	20,92	31,44	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,99	100,1
HER4-06	0,29	0,26	0,06	0,009	20,43	30,52	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,94	98,57
KAS10-01	0,66	0,32	0,29	0,02	20,65	31,64	< 0,01	< 0,01	0,01	0,07	46,31	99,99
KAS10-02	0,14	0,24	0,11	0,02	20,92	31,5	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,44	99,4
KAS10-03	0,56	0,29	0,18	0,02	20,96	31,42	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	45,96	99,47
KAS10-04	1,63	0,46	0,3	0,02	20,25	30,46	0,02	0,03	0,03	0,07	45,86	99,14
KAS10-05	1,05	0,34	0,23	0,03	19,41	33,09	0,01	0,02	0,02	0,04	46,32	100,6
KAS1-01	0,44	0,23	0,35	0,01	21,11	31,25	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	47,24	100,7
KAS1-02	0,39	0,21	0,15	0,01	20,90	31,35	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	47,08	100,1
KAS1-03	0,23	0,12	0,3	0,02	20,74	31,46	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	47,09	100
KAS11-01	0,24	0,23	0,15	0,02	19,98	32,32	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,46	99,45
KAS11-02	0,58	0,34	0,23	0,02	20,22	31,5	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,48	99,44
KAS11-03	2,18	0,54	0,38	0,03	20,46	30,82	0,03	0,07	0,03	0,04	45,45	100
KAS11-04	0,45	0,3	0,21	0,02	20,74	31,17	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	45,65	98,62
KAS11-05	0,48	0,28	0,24	0,01	20,94	31,19	0,01	< 0,01	0,01	0,05	45,92	99,16
KAS11-06	0,3	0,23	0,21	0,02	21,01	31,52	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	45,9	99,25
KAS12-01	0,13	0,17	0,08	0,01	20,33	31,79	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,11	98,66
KAS12-02	0,3	0,22	0,11	0,01	20,88	31,3	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,65	99,51
KAS12-03	0,64	0,15	0,12	0,01	20,79	31,62	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,52	99,91
KAS12-04	0,32	0,09	0,1	0,01	21,04	31,86	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	47,1	100,6
KAS12-05	0,3	0,21	0,23	0,02	20,39	31,73	< 0,01	< 0,01	0,01	0,07	46,6	99,56
KAS13-01	0,36	0,27	0,16	0,02	20,49	31,49	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,77	99,6
KAS13-02	0,07	0,2	0,07	0,02	20,91	31,08	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,88	99,26
KAS13-03	0,23	0,28	0,13	0,02	21,31	31,74	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,66	100,4
KAS14-01	0,15	0,18	0,07	0,02	20,80	31,54	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,39	99,2
KAS14-02	0,28	0,22	0,06	0,01	20,77	31,04	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,73	99,15
KAS14-03	0,32	0,24	0,2	0,02	20,25	31,55	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,23	98,87
KAS14-04	0,16	0,19	0,19	0,02	20,27	32,66	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	45,63	99,16
KAS2-01	1,69	0,49	0,4	0,04	19,61	31,41	0,01	0,01	0,04	0,04	45,77	99,53
KAS2-02	0,35	0,23	0,19	0,02	20,96	31,29	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	47,01	100,1
KAS2-03	0,07	0,16	0,17	0,02	20,92	31,14	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	47,19	99,7
KAS2-04	0,08	0,1	0,16	0,01	20,91	31,52	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	47,15	99,96
KAS2-05	0,61	0,21	0,23	0,01	20,71	31,09	< 0,01	< 0,01	0,02	0,12	46,85	99,87
KAS3-01	0,23	0,19	0,27	0,02	20,78	31,21	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,92	99,67
KAS3-02	0,15	0,08	0,23	0,01	20,70	31,27	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	47,09	99,6
KAS3-03	0,75	0,16	0,16	0,02	18,65	34,06	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	45,01	98,89
KAS3-04	< 0,01	0,14	0,1	0,01	20,83	31,19	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	47,09	99,37
KAS4-01	1,17	0,38	0,24	0,01	20,55	31,05	< 0,01	< 0,01	0,03	0,04	46,38	99,87
KAS4-02	0,23	0,17	0,19	0,02	20,54	31,35	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,58	99,14
KAS4-03	1,37	0,22	0,2	0,02	20,35	31,22	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	45,77	99,2

Nachweisgrenze Probe	SiO ₂ [Gew.-%] 0,01	Al ₂ O ₃ [Gew.-%] 0,01	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%] 0,01	MnO [Gew.-%] 0,001	MgO [Gew.-%] 0,01	CaO [Gew.-%] 0,01	Na ₂ O [Gew.-%] 0,01	K ₂ O [Gew.-%] 0,01	TiO ₂ [Gew.-%] 0,01	P ₂ O ₅ [Gew.-%] 0,01	LOI [Gew.-%]	Total [Gew.-%]
KAS4-04	1,09	0,36	0,27	0,03	19,48	31,78	< 0,01	< 0,01	0,03	0,09	46,13	99,26
KAS4-05	0,04	0,21	0,25	0,02	20,66	31,18	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,91	99,31
KAS5-01	0,5	0,39	0,12	0,01	20,94	31,69	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,91	100,6
KAS5-02	0,78	0,36	0,15	0,02	19,69	32,24	< 0,01	0,02	0,02	0,03	46,64	99,96
KAS5-03	0,16	0,13	0,15	0,02	21,00	31,84	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,73	100,1
KAS5-04	0,21	0,24	0,1	0,01	20,76	31,34	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,64	99,35
KAS6-01	0,29	0,27	0,14	0,02	20,78	31,23	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,64	99,43
KAS6-02	1,52	0,46	0,46	0,03	20,56	30,59	0,01	0,01	0,03	0,05	45,62	99,34
KAS6-03	0,18	0,22	0,17	0,02	20,86	31,66	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	45,78	98,93
KAS6-04	0,84	0,37	0,19	0,02	19,98	31,84	< 0,01	< 0,01	0,01	0,07	46,24	99,55
KAS6-05	1,73	0,21	0,22	0,02	20,54	30,86	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	45,62	99,26
KAS7-01	0,28	0,22	0,09	0,01	21,08	31,93	< 0,01	< 0,01	0,01	0,07	46,75	100,4
KAS7-02	1,19	0,37	0,16	0,03	20,22	31,16	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,23	99,44
KAS7-03	0,36	0,32	0,15	0,02	20,55	31,25	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,78	99,46
KAS7-04	0,13	0,22	0,12	0,02	19,33	32,76	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,75	99,37
KAS8-01	0,19	0,22	0,15	0,02	21,12	31,98	< 0,01	< 0,01	0,01	0,08	45,17	98,93
KAS8-02	0,72	0,3	0,18	0,02	18,92	33,48	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,34	100
KAS8-03	0,38	0,24	0,22	0,03	20,23	31,6	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,99	99,76
KAS8-04	0,33	0,06	0,14	0,01	20,71	31,66	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	47,02	99,96
KAS8-05	2,13	0,36	0,2	0,02	19,89	30,77	< 0,01	0,01	0,03	0,06	45,65	99,1
KAS9-01	0,35	0,3	0,14	0,02	20,94	31,5	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,57	99,89
KAS9-02	0,4	0,31	0,11	0,01	20,81	31,21	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	47,05	99,94
KAS9-03	0,12	0,21	0,17	0,02	20,63	31,1	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,76	99,07
KAS9-04	0,09	0,23	0,19	0,02	20,27	31,55	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,6	98,98
KAS9-05	0,57	0,28	0,27	0,02	18,59	33,34	< 0,01	< 0,01	0,02	0,09	46,14	99,33
LAU1-01	0,24	0,19	0,34	0,02	17,36	35,14	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,42	99,74
LAU1-02	0,42	0,2	0,11	0,01	21,00	31,24	< 0,01	0,01	0,01	0,02	47,1	100,1
LAU1-03	0,54	0,25	0,16	0,02	20,77	31,07	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,4	99,29
LAU1-04	0,21	0,2	0,08	0,01	20,85	31,55	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	47,12	100,1
LAU1-05	0,61	0,23	0,17	0,02	20,83	31,37	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	46,63	99,91
LAU1-06	0,32	0,13	0,09	0,02	20,67	30,71	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	47	99
LAU2-01	0,2	0,21	0,23	0,02	20,81	31,06	< 0,01	< 0,01	0,01	0,06	46,76	99,38
LAU2-02	0,39	0,21	0,23	0,01	13,14	39,92	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	45,54	99,52
LAU2-03	0,14	0,19	0,08	0,01	20,73	31,39	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,82	99,42
LAU3-01	0,55	0,2	0,21	0,02	20,61	31,53	< 0,01	< 0,01	0,01	0,11	46,03	99,3
LAU3-02	0,56	0,34	0,1	0,02	20,64	31,19	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,78	99,7
LAU3-03	0,58	0,29	0,14	0,01	20,93	31,47	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	46,61	100,1
LAU3-04	0,11	0,19	0,09	0,02	20,87	31,35	0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,39	99,06
LAU3-05	0,5	0,27	0,15	0,02	20,66	31,49	< 0,01	< 0,01	0,02	0,07	45,98	99,17
PO10-01	0,42	0,32	0,15	0,018	21,09	31,45	< 0,01	< 0,01	0,01	0,06	46,62	100,2
PO10-02	0,55	0,35	0,13	0,015	20,88	31,55	< 0,01	< 0,01	0,01	0,12	46,39	100
PO10-03	0,46	0,33	0,15	0,02	20,79	31,45	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,46	99,73
PO1-01	0,13	0,16	0,08	0,014	20,56	31,97	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,89	99,85
PO1-02	0,08	0,16	0,14	0,017	20,35	31,02	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,98	98,8
PO1-03	0,98	0,42	0,21	0,021	17,77	32,96	< 0,01	< 0,01	0,03	0,03	46,15	98,61
PO1-04	1,65	0,58	0,16	0,024	17,26	33,05	< 0,01	0,01	0,02	0,05	45,8	98,63
PO1-05	0,42	0,35	0,12	0,014	20,31	30,86	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,6	98,73
PO1-06	0,29	0,33	0,08	0,013	20,41	30,72	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,99	98,9
PO1-07	0,11	0,17	0,08	0,016	20,99	31,6	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,9	99,92

Nachweisgrenze Probe	SiO ₂ [Gew.-%] 0,01	Al ₂ O ₃ [Gew.-%] 0,01	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%] 0,01	MnO [Gew.-%] 0,001	MgO [Gew.-%] 0,01	CaO [Gew.-%] 0,01	Na ₂ O [Gew.-%] 0,01	K ₂ O [Gew.-%] 0,01	TiO ₂ [Gew.-%] 0,01	P ₂ O ₅ [Gew.-%] 0,01	LOI [Gew.-%]	Total [Gew.-%]
PO11-01	0,82	0,57	0,23	0,021	20,33	31,11	< 0,01	0,01	0,02	0,06	46,47	99,64
PO11-02	0,29	0,25	0,14	0,019	20,11	31,1	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	47,05	99,05
PO11-03	0,78	0,26	0,19	0,02	20,44	31,29	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,54	99,57
PO11-04	0,64	0,21	0,18	0,019	20,32	31,48	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,5	99,42
PO11-05	0,16	0,18	0,16	0,015	20,70	31,48	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,71	99,46
PO11-06	0,4	0,23	0,12	0,021	20,37	31,32	< 0,01	< 0,01	0,01	0,06	46,55	99,08
PO12-01	0,49	0,28	0,1	0,018	20,14	30,67	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,99	98,76
PO12-02	0,37	0,22	0,17	0,018	20,15	30,5	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	47,08	98,57
PO12-03	0,76	0,36	0,26	0,019	20,09	30,36	< 0,01	< 0,01	0,02	0,15	46,71	98,74
PO13-01	0,42	0,25	0,11	0,02	20,75	30,99	0,02	< 0,01	0,02	0,05	46,58	99,21
PO13-02	0,54	0,29	0,11	0,02	20,62	30,53	0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,45	98,64
PO13-03	0,61	0,33	0,17	0,03	20,57	30,84	< 0,01	< 0,01	0,02	0,08	46,48	99,12
PO13-04	1,29	0,43	0,24	0,03	20,63	30,95	< 0,01	0,01	0,03	0,09	46,07	99,75
PO14-01	0,56	0,34	0,22	0,027	20,14	30,94	< 0,01	< 0,01	0,02	0,12	46,35	98,72
PO14-02	0,5	0,26	0,19	0,019	19,40	32,77	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,57	99,77
PO14-03	0,4	0,22	0,12	0,013	20,06	30,66	< 0,01	< 0,01	0,02	0,02	46,97	98,48
PO14-04	0,63	0,3	0,26	0,015	20,64	31,06	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,79	99,77
PO2-01	1,69	0,41	0,27	0,026	18,43	31,93	< 0,01	0,03	0,03	0,07	45,72	98,61
PO2-02	0,49	0,35	0,15	0,012	20,27	30,72	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,97	99,04
PO2-03	0,9	0,29	0,22	0,012	15,77	35,14	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,2	98,61
PO2-04	0,86	0,26	0,33	0,015	20,30	30,38	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,91	99,12
PO2-05	0,44	0,26	0,08	0,015	20,19	31,02	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,86	98,92
PO2-06	0,18	0,2	0,07	0,013	21,03	31,89	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,99	100,4
PO2-07	0,47	0,26	0,24	0,012	20,27	31,93	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,79	100
PO2-08	0,46	0,46	0,1	0,012	20,34	30,59	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	47,04	99,1
PO2-09	0,56	0,37	0,11	0,016	19,25	33,22	< 0,01	< 0,01	0,01	0,06	46,35	99,96
PO2-10	0,15	0,29	0,1	0,014	20,24	30,62	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	47,1	98,57
PO2-11	0,62	0,31	0,14	0,019	20,26	31,29	< 0,01	< 0,01	0,02	0,08	46,36	99,11
PO3-01	0,87	0,3	0,11	0,017	18,38	32,45	< 0,01	< 0,01	0,02	0,11	46,25	98,5
PO3-02	1,06	0,5	0,13	0,018	20,24	30,58	< 0,01	< 0,01	0,02	0,08	46,44	99,07
PO3-03	1,13	0,44	0,11	0,015	19,63	30,73	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,48	98,59
PO3-04	0,79	0,23	0,24	0,013	20,07	30,12	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,99	98,51
PO3-05	0,56	0,33	0,11	0,015	20,14	30,95	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	47,64	99,81
PO3-06	1,4	0,32	0,32	0,018	19,96	30,97	< 0,01	< 0,01	0,01	0,06	46,19	99,27
PO4-01.1	0,21	0,21	0,13	0,013	18,75	32,58	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,8	98,74
PO4-01.2	0,12	0,33	0,15	0,014	18,31	34,62	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,36	99,98
PO4-01.3	0,49	0,4	0,27	0,013	20,25	30,65	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,9	99,05
PO4-02	0,07	0,17	0,05	0,014	20,60	32,1	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,86	99,89
PO4-03	< 0,01	0,27	0,08	0,015	19,93	31,99	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,67	99,02
PO4-04	0,35	0,39	0,11	0,020	20,99	31,6	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,8	100,3
PO4-05	0,9	0,34	0,11	0,018	20,20	30,41	< 0,01	< 0,01	0,03	0,04	46,79	98,84
PO4-06	0,21	0,3	0,1	0,011	20,74	31,54	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	47,14	100,1
PO5-01	< 0,01	0,15	0,06	0,012	20,82	31,84	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,4	99,36
PO5-02	< 0,01	0,15	0,06	0,012	19,48	33,16	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,4	99,31
PO5-03	< 0,01	0,17	0,07	0,012	18,51	34,7	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,08	99,59
PO5-04	< 0,01	0,15	0,06	0,013	20,37	31,96	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,48	99,09
PO6-01	0,61	0,26	0,13	0,018	20,32	30,77	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,87	99,05
PO6-02	1,13	0,4	0,13	0,013	19,70	30,71	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,65	98,81
PO6-03	0,42	0,35	0,08	0,018	19,10	31,91	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,57	98,5

Nachweisgrenze Probe	SiO ₂ [Gew.-%] 0,01	Al ₂ O ₃ [Gew.-%] 0,01	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%] 0,01	MnO [Gew.-%] 0,001	MgO [Gew.-%] 0,01	CaO [Gew.-%] 0,01	Na ₂ O [Gew.-%] 0,01	K ₂ O [Gew.-%] 0,01	TiO ₂ [Gew.-%] 0,01	P ₂ O ₅ [Gew.-%] 0,01	LOI [Gew.-%]	Total [Gew.-%]
PO6-04	0,42	0,08	0,13	0,013	20,28	31,22	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,84	99,03
PO6-05	0,34	0,28	0,11	0,012	20,09	30,44	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	47,58	98,91
PO7-01	< 0,01	0,22	0,07	0,01	20,80	31,41	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,84	99,4
PO7-02	0,71	0,36	0,14	0,026	20,51	31,11	< 0,01	< 0,01	0,02	0,07	46,55	99,5
PO7-03	0,11	0,05	0,07	0,016	20,56	31,53	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,8	99,21
PO7-04	0,04	0,27	0,08	0,017	18,98	33,31	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,55	99,31
PO9-01	0,4	0,24	0,11	0,015	20,97	31,69	< 0,01	< 0,01	0,02	0,05	46,63	100,1
PO9-02	1,26	0,47	0,24	0,028	18,20	32,62	< 0,01	< 0,01	0,02	0,14	45,89	98,9
PO9-03	0,06	0,16	0,06	0,015	20,64	31,1	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,79	98,86
PO9-04	0,47	0,16	0,09	0,014	19,96	31,23	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	46,71	98,69
PO9-05	0,17	0,17	0,13	0,016	20,68	31,61	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,66	99,49
PO9-06	0,36	0,3	0,13	0,023	20,58	31,29	< 0,01	< 0,01	0,01	0,07	46,65	99,42
SURO1-01	0,2	0,15	0,15	0,02	20,76	31,38	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,67	99,38
SURO1-02	0,23	0,2	0,08	0,01	0,55	54,84	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	43,61	99,56
SURO2-01	0,33	0,25	0,14	0,02	20,5	30,71	< 0,01	< 0,01	0,02	0,06	46,56	98,59
SURO2-02	1,08	0,36	0,13	0,02	19,21	33,13	0,01	0,02	0,02	0,07	46,17	100,3
SURO2-03	0,27	0,27	0,07	0,01	20,8	30,85	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,64	98,96
SURO2-04	0,45	0,19	0,13	0,02	20,72	31,04	< 0,01	< 0,01	0,01	0,05	46,32	98,95
SURO3-01	0,95	0,35	0,2	0,03	19,98	31,52	< 0,01	< 0,01	0,02	0,07	46,25	99,39
SURO3-02	0,14	0,18	0,1	0,01	20,71	31,4	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,62	99,19
SURO3-03	0,22	0,2	0,13	0,02	20,45	31,78	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,56	99,42
SURO3-04	0,35	0,23	0,24	0,02	20,73	31,38	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,55	99,56
SURO3-05	0,87	0,37	0,23	0,02	20,85	31,56	< 0,01	< 0,01	0,02	0,03	46,45	100,4
SURO4-01	0,26	0,24	0,12	0,01	10,45	43,53	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	45,09	99,75
SURO4-02	1,02	0,25	0,13	0,03	20,71	30,95	< 0,01	0,01	0,01	0,04	46,31	99,46
SURO4-03	0,26	0,21	0,24	0,02	20,69	31,73	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,75	99,96
SURO5-01	0,73	0,3	0,26	0,02	20,75	30,96	< 0,01	0,01	0,02	0,06	46,52	99,64
SURO5-02	0,28	0,24	0,28	0,02	19,75	32,59	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,56	99,78
SURO5-03	0,48	0,23	0,29	0,02	20,96	31,36	< 0,01	0,01	0,01	0,05	46,85	100,3
SURO5-04	0,53	0,22	0,36	0,02	20,46	30,91	< 0,01	< 0,01	0,01	0,07	46,51	99,09
SURO5-05	0,12	0,19	0,13	0,01	20,98	31,17	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	47	99,65
SURO5-06	0,67	0,24	0,24	0,02	20,77	31,5	< 0,01	< 0,01	0,02	0,07	46,72	100,3
SURO6-01	0,35	0,18	0,23	0,02	20,4	31,73	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	47,03	100
SURO6-02	0,3	0,21	0,2	0,02	20,84	31,45	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,72	99,8
SURO6-03	0,06	0,16	0,17	0,02	20,59	31,05	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,74	98,84
SURO7-01	0,02	0,19	0,38	0,02	20,65	31,55	< 0,01	< 0,01	0,01	0,02	46,86	99,7
SURO7-02	0,7	0,42	0,31	0,02	19,19	32,78	< 0,01	< 0,01	0,01	0,09	46,27	99,81
SURO7-03	0,56	0,35	0,17	0,02	21,05	31,38	< 0,01	< 0,01	0,02	0,04	46,77	100,4
SURO7-04	0,05	0,16	0,25	0,02	20,91	31,3	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,88	99,61
SURO7-05	< 0,01	0,15	0,19	0,02	21,37	32,19	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,82	100,7
SURO8-01	1,16	0,22	0,22	0,02	20,28	31,62	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,42	99,99
SURO8-02	0,6	0,4	0,24	0,02	20,67	31,53	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,81	100,3
SURO8-03	0,01	0,18	0,1	0,01	20,87	31,28	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,73	99,25
SURO8-04	0,14	0,21	0,23	0,02	20,91	31,41	< 0,01	< 0,01	0,01	0,03	46,9	99,84
SURO8-05	0,07	0,14	0,2	0,02	21,10	31,48	< 0,01	< 0,01	0,01	0,04	46,88	99,93

Tab. 21: Kategorisierung der Zielgebiete nach Eignungsklassen.

Nummer	Gebiet	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (T)	MgO	CaO	Bewertung
1	AL1	0,68	0,31	0,18	20,42	31,20	Kat. III
2	AL2	0,54	0,26	0,15	20,16	31,97	Kat. II
3	AL3	0,59	0,23	0,13	19,52	32,41	Kat. III
4	AL4	0,22	0,19	0,14	20,73	31,46	Kat. II
5	AL5	0,01	0,14	0,10	20,62	31,68	Kat. II
6	AL6	0,26	0,22	0,13	20,72	31,63	Kat. II
7	AL7	0,42	0,26	0,17	20,75	31,22	Kat. II
8	AL8	0,35	0,23	0,20	20,69	31,28	Kat. II
9	AL9	0,20	0,23	0,17	20,85	31,32	Kat. II
10	AU1	0,27	0,21	0,08	19,87	32,09	Kat. III
11	AU3	0,36	0,22	0,09	17,26	35,27	Kat. IV
12	AU4	0,75	0,33	0,14	18,04	33,54	Kat. IV
13	AU7	1,05	0,30	0,13	18,89	32,46	Kat. IV
14	AU8	0,43	0,29	0,11	18,67	33,45	Kat. IV
15	AU9	0,17	0,29	0,13	20,79	31,34	Kat. II
16	BET1	0,75	0,37	0,21	19,15	32,07	Kat. III
17	BET2	0,98	0,44	0,24	20,27	30,69	Kat. III
18	BET4	0,10	0,22	0,11	20,64	31,52	Kat. II
19	BET5	0,34	0,22	0,10	16,83	35,33	Kat. IV
20	BET6	0,57	0,30	0,12	20,39	30,94	Kat. III
21	BET7	0,52	0,23	0,09	19,85	32,08	Kat. III
22	BET8	0,58	0,30	0,20	19,98	30,98	Kat. III
23	BET9	0,38	0,23	0,22	20,40	31,55	Kat. III
24	HER1	0,58	0,26	0,12	20,29	31,76	Kat. III
25	HER2	0,54	0,31	0,13	20,21	30,87	Kat. II
26	HER3	0,52	0,30	0,13	20,48	30,69	Kat. II
27	HER4	0,44	0,32	0,12	20,33	30,96	Kat. III
28	KAS1	0,35	0,19	0,27	20,92	31,35	Kat. III
29	KAS2	0,56	0,24	0,23	20,62	31,29	Kat. III
30	KAS3	0,28	0,14	0,19	20,24	31,93	Kat. II
31	KAS4	0,78	0,27	0,23	20,32	31,32	Kat. III
32	KAS5	0,41	0,28	0,13	20,60	31,78	Kat. II
33	KAS6	0,91	0,31	0,24	20,54	31,24	Kat. III
34	KAS7	0,49	0,28	0,13	20,30	31,78	Kat. II
35	KAS8	0,75	0,24	0,18	20,17	31,90	Kat. III
36	KAS9	0,31	0,27	0,18	20,25	31,74	Kat. II
37	KAS10	0,81	0,33	0,22	20,44	31,62	Kat. III
38	KAS11	0,71	0,32	0,24	20,56	31,42	Kat. III
39	KAS12	0,34	0,17	0,13	20,69	31,66	Kat. II
40	KAS13	0,22	0,25	0,12	20,90	31,44	Kat. II
41	KAS14	0,23	0,21	0,13	20,52	31,70	Kat. II
42	LAU1	0,39	0,20	0,16	20,25	31,85	Kat. II
43	LAU2	0,24	0,20	0,18	18,23	34,12	Kat. IV
44	LAU3	0,46	0,26	0,14	20,74	31,41	Kat. II
45	PO1	0,52	0,31	0,12	19,66	31,74	Kat. III
46	PO2	0,62	0,31	0,16	19,67	31,70	Kat. III
47	PO3	0,97	0,35	0,17	19,74	30,97	Kat. III
48	PO4	0,29	0,30	0,13	19,97	31,94	Kat. III
49	PO5	0,01	0,16	0,06	19,80	32,92	Kat. III
50	PO6	0,58	0,27	0,12	19,90	31,01	Kat. III

Nummer	Gebiet	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (T)	MgO	CaO	Bewertung
51	PO7	0,22	0,23	0,09	20,21	31,84	Kat. II
52	PO9	0,45	0,25	0,13	20,17	31,59	Kat. II
53	PO10	0,48	0,33	0,14	20,92	31,48	Kat. III
54	PO11	0,52	0,28	0,17	20,38	31,30	Kat. II
55	PO12	0,54	0,29	0,18	20,13	30,51	Kat. II
56	PO13	0,72	0,33	0,16	20,64	30,83	Kat. III
57	PO14	0,52	0,28	0,20	20,06	31,36	Kat. II
58	SURO1	0,22	0,18	0,12	10,66	43,11	Kat. IV
59	SURO2	0,53	0,27	0,12	20,31	31,43	Kat. II
60	SURO3	0,51	0,27	0,18	20,54	31,53	Kat. II
61	SURO4	0,51	0,23	0,16	17,28	35,40	Kat. IV
62	SURO5	0,47	0,24	0,26	20,61	31,42	Kat. III
63	SURO6	0,24	0,18	0,20	20,61	31,41	Kat. III
64	SURO7	0,27	0,25	0,26	20,63	31,84	Kat. III
65	SURO8	0,40	0,23	0,20	20,77	31,46	Kat. II

Tab. 22: Farbwerte der ungebrannten Vorkundungsproben.

Probe	L*	a*	b*	Weißgrad nach TAPPI 452	Weißgrad nach ASTM E313	Gelbwert ASTM E313
AL1-01	91,24	0,71	9,38	68,25	35,01	14,66
AL1-02	91,10	0,73	8,76	68,63	37,60	13,77
AL1-03	89,68	0,79	9,42	65,12	30,81	14,93
AL1-04	87,69	1,25	9,68	61,07	24,54	15,60
AL1-05	89,54	0,76	8,20	66,18	36,27	13,06
AL2-01	89,62	0,69	8,17	66,35	36,58	13,03
AL2-02	89,32	0,35	7,46	66,54	39,18	11,95
AL2-03	91,88	0,44	6,62	72,64	49,53	10,41
AL2-05	90,03	0,48	6,24	69,27	46,77	9,97
AL3-01	89,40	1,11	11,07	62,84	22,27	17,45
AL3-02	90,67	0,54	6,19	70,63	48,55	9,85
AL3-03	91,49	0,72	7,17	71,21	46,05	11,30
AL3-04	90,26	0,88	8,91	66,78	34,70	14,10
AL3-05	91,98	0,53	5,77	73,83	53,78	9,10
AL4-01	91,40	1,05	9,93	67,93	32,93	15,49
AL4-02	92,46	0,38	4,47	76,39	61,01	7,03
AL4-03	91,62	0,58	5,97	72,86	51,97	9,42
AL4-04	91,22	1,01	9,44	68,11	34,72	14,79
AL4-05	90,87	1,01	9,42	67,45	33,89	14,79
AL4-06	90,91	1,07	11,38	65,41	24,82	17,68
AL5-01	90,58	1,04	10,39	65,83	28,60	16,28
AL5-02	92,03	0,48	6,47	73,18	50,66	10,14
AL5-03	91,45	0,86	9,15	68,93	36,67	14,31
AL5-04	90,72	0,60	7,66	69,13	41,74	12,10
AL5-05	90,95	0,90	7,71	69,54	42,16	12,15
AL6-01	89,20	0,42	8,08	65,65	35,95	12,91
AL6-02	90,57	0,44	6,99	69,57	44,53	11,06
AL6-03	91,23	0,90	7,61	70,20	43,30	11,98
AL6-04	92,00	0,62	7,43	72,02	46,12	11,61
AL7-01	89,08	1,62	12,35	60,86	15,41	19,45
AL7-02	91,10	0,64	8,00	69,51	41,12	12,58

Probe	L*	a*	b*	Weißgrad nach TAPPI 452	Weißgrad nach ASTM E313	Gelbwert ASTM E313
AL7-03	90,34	0,92	8,95	66,94	34,72	14,13
AL7-04	91,28	0,33	7,12	70,84	45,67	11,22
AL7-05	92,32	0,28	5,93	74,39	53,84	9,30
AL7-06	90,37	1,29	12,06	63,61	20,21	18,79
AL8-01	89,69	0,86	11,77	62,73	19,69	18,37
AL8-02	92,14	0,44	6,34	73,53	51,53	9,94
AL8-03	91,05	1,08	10,62	66,47	28,75	16,57
AL8-04	89,44	1,15	10,17	63,85	26,65	16,10
AL8-05	89,74	0,84	10,31	64,29	26,74	16,26
AL9-01	89,23	2,12	14,11	59,29	7,53	22,02
AL9-02	91,46	0,81	9,14	68,93	36,74	14,29
AL9-03	90,94	0,83	7,71	69,50	42,11	12,16
AL9-04	93,42	0,57	8,16	74,10	46,38	12,60
AL9-05	91,80	1,02	9,95	68,70	33,88	15,47
AL9-07	92,48	0,41	6,34	74,27	52,37	9,90
AU1-01	89,74	0,40	6,43	68,52	45,13	10,27
AU1-02	90,28	0,30	5,73	70,40	49,79	9,12
AU1-03	89,79	0,72	7,69	67,25	39,29	12,22
AU1-04	90,82	0,42	6,68	70,42	46,60	10,59
AU1-05	91,18	0,44	6,86	70,98	46,68	10,79
AU1-06	88,92	0,27	7,87	65,41	36,25	12,55
AU1-07	91,46	0,50	7,10	71,29	46,28	11,14
AU1-07-WC	91,80	0,42	6,12	73,10	51,69	9,61
AU1-07-ZiO	92,00	0,43	6,64	72,93	49,75	10,39
AU3-01	91,12	0,48	5,89	71,92	51,09	9,32
AU3-02	87,97	0,82	7,07	64,31	37,80	11,49
AU3-03	90,65	0,51	6,15	70,67	48,72	9,76
AU3-04	90,81	0,57	5,69	71,50	51,25	9,05
AU3-05	90,48	0,62	6,11	70,35	48,48	9,73
AU4-01	91,01	0,34	7,47	69,98	43,36	11,75
AU4-02	89,94	0,14	5,93	69,52	47,97	9,44
AU4-03	90,44	0,08	5,14	71,41	52,93	8,16
AU4-04	90,98	0,55	7,05	70,33	45,27	11,14
AU4-05	90,68	0,80	7,52	69,17	42,36	11,92
AU4-06	89,52	0,75	8,59	65,76	34,31	13,64
AU4-07	88,24	0,46	6,49	65,48	41,26	10,51
AU4-08	89,80	0,47	6,12	68,97	46,78	9,79
AU4-09	89,82	0,41	6,36	68,74	45,64	10,17
AU7-01	90,66	0,38	6,88	69,88	45,25	10,89
AU7-02	90,37	0,45	7,20	68,93	43,03	11,42
AU7-03	89,69	0,53	6,46	68,37	44,88	10,34
AU7-04	87,27	1,11	7,85	62,15	32,38	12,80
AU7-05	88,35	0,96	7,60	64,49	36,19	12,27
AU8-01	90,23	0,64	8,84	66,89	34,95	13,92
AU8-02	89,94	0,10	5,57	69,90	49,71	8,88
AU8-02-2	91,16	0,50	6,47	71,36	48,43	10,22
AU8-03	91,26	0,29	4,76	73,52	56,70	7,53
AU8-04	90,76	0,54	7,59	69,29	42,18	12,00
AU9-01	90,95	0,33	8,42	68,79	38,74	13,19
AU9-02-1	89,83	0,63	9,36	65,51	31,46	14,78

Probe	L*	a*	b*	Weißgrad nach TAPPI 452	Weißgrad nach ASTM E313	Gelbwert ASTM E313
AU9-02-2	92,06	0,55	6,94	72,69	48,54	10,86
AU9-02-3	90,66	0,85	8,20	68,41	39,08	12,94
AU9-03	91,53	0,47	7,40	71,06	45,04	11,62
AU9-04	90,53	0,94	12,56	63,47	18,23	19,42
AU9-05	89,80	0,78	11,56	63,17	20,96	18,04
AU9-06	89,37	1,02	8,72	65,27	33,35	13,90
BET1-01	91,52	0,55	6,75	71,77	48,03	10,63
BET1-02	90,58	0,95	10,24	66,01	29,29	16,02
BET1-03	90,27	0,35	8,18	67,68	38,13	12,93
BET1-04	88,95	0,56	9,64	63,52	27,84	15,33
BET1-05	89,04	0,95	10,99	62,24	21,65	17,38
BET1-06	86,89	1,30	16,44	53,05	-10,33	25,69
BET2-01	87,85	1,60	13,98	57,00	4,29	22,04
BET2-02	90,41	0,22	8,65	67,46	36,24	13,60
BET2-03	89,66	0,48	8,24	66,41	36,33	13,08
BET2-04	89,41	0,63	10,11	63,91	26,79	15,96
BET4-01	90,53	0,38	5,38	71,32	52,05	8,56
BET4-02	89,81	0,64	9,12	65,75	32,53	14,41
BET4-03	90,69	0,84	9,53	67,03	32,88	14,93
BET4-04	89,51	0,68	10,27	63,95	26,31	16,18
BET4-05	91,96	0,84	8,77	70,37	39,76	13,68
BET5-01.1	88,95	0,64	8,53	64,71	33,17	13,61
BET5-01-2	87,44	0,09	7,38	63,05	34,97	11,97
BET5-02	91,30	0,83	6,63	71,43	48,09	10,47
BET5-03	89,77	0,28	6,67	68,32	44,05	10,63
BET5-04	91,03	0,52	6,42	71,15	48,40	10,15
BET5-06	90,43	0,23	5,32	71,16	52,08	8,47
BET5-07	87,60	1,30	13,29	57,32	6,89	21,00
BET6-01	87,77	0,64	10,05	60,84	22,87	16,15
BET6-02	89,96	0,71	7,85	67,37	38,95	12,50
BET6-03	90,99	0,48	6,92	70,51	45,92	10,92
BET6-04	91,73	0,36	6,43	72,60	50,05	10,10
BET6-05	87,21	0,33	6,90	63,07	36,78	11,28
BET7-01	85,84	1,00	8,60	58,77	25,23	14,15
BET7-02	90,70	0,57	7,51	69,25	42,41	11,88
BET7-03	90,40	0,98	7,74	68,37	40,61	12,28
BET7-04	87,60	1,84	12,48	58,06	10,86	19,88
BET7-05-1	87,56	1,26	8,98	61,57	27,64	14,52
BET7-05-2	90,43	0,86	7,29	68,95	42,81	11,57
BET7-06	90,47	0,45	8,02	68,22	39,42	12,68
BET7-07	91,39	0,62	7,79	70,32	42,87	12,24
BET7-08	91,15	0,23	5,42	72,55	53,34	8,56
BET7-09	92,03	0,36	5,80	73,93	53,72	9,11
BET8-01	84,90	0,17	6,74	58,95	32,15	11,24
BET8-02	86,85	0,86	10,27	58,95	19,51	16,62
BET8-03	88,09	1,38	13,52	57,93	7,11	21,29
BET8-04	84,54	1,14	8,59	56,46	22,21	14,29
BET8-05	88,03	1,70	14,91	56,39	0,31	23,34
BET9-01	85,37	2,38	15,17	51,53	-8,06	24,36
BET9-02	88,12	0,94	10,23	61,30	22,97	16,38

Probe	L*	a*	b*	Weißgrad nach TAPPI 452	Weißgrad nach ASTM E313	Gelbwert ASTM E313
BET9-03	89,50	0,98	10,77	63,36	23,94	16,98
BET9-04	86,66	1,97	13,81	55,12	1,95	21,99
BET9-05	89,33	0,70	9,35	64,55	30,22	14,84
BR-PD	88,96	0,82	6,60	66,75	42,46	10,66
GÖ1	90,76	0,16	6,43	70,61	47,61	10,16
HER1-01	87,93	1,09	9,89	61,33	24,12	15,86
HER1-02	89,64	0,75	9,40	65,11	30,81	14,88
HER1-03	91,92	0,31	4,73	74,95	58,47	7,45
HER1-04	89,13	0,84	6,85	66,80	41,70	11,02
HER1-05	88,01	1,09	9,22	62,16	27,57	14,83
HER2-01	88,83	0,53	7,74	65,28	36,65	12,44
HER2-02	86,26	1,15	8,94	59,19	24,61	14,63
HER2-03	89,87	0,70	8,54	66,43	35,47	13,57
HER2-04	87,38	1,13	8,68	61,51	28,58	14,09
HER3-01	91,86	0,48	5,76	73,60	53,55	9,08
HER3-02	89,69	0,83	10,56	63,92	25,41	16,63
HER3-03	89,04	0,35	7,29	66,23	39,34	11,67
HER3-04	89,90	0,90	10,13	64,79	28,00	15,97
HER3-05	89,50	0,51	7,04	67,34	41,62	11,27
HER4-01	90,32	0,55	7,28	68,73	42,54	11,56
HER4-02	90,09	0,30	4,95	70,85	53,00	7,94
HER4-03	90,17	0,55	8,57	67,00	36,05	13,57
HER4-04	91,13	0,88	9,36	68,05	34,83	14,65
HER4-05	91,99	0,50	6,85	72,65	48,76	10,74
HER4-06	91,07	0,32	4,73	73,14	56,39	7,52
KAS10-01	87,94	1,06	8,42	62,83	31,24	13,61
KAS10-02	92,88	0,41	6,36	75,10	53,31	9,90
KAS10-03	92,38	0,61	7,25	72,96	47,92	11,33
KAS10-04	90,91	0,21	7,47	69,74	43,08	11,76
KAS10-05	89,95	0,62	8,25	66,93	37,02	13,09
KAS1-01	89,14	1,61	15,41	57,89	1,00	23,82
KAS1-02	91,01	0,31	6,88	70,58	46,12	10,88
KAS1-03	91,97	0,78	9,46	69,60	36,61	14,71

Probenlisten der Bohrungsproben und deren Analytik

Tab. 23: Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Zusammensetzung der 60 untersuchten Bohrungsproben; n.d. = nicht detektiert.

Probe	Teufe [m]	Dolomit [M.-%]	Calcit [M.-%]	Quarz [M.-%]	amorphe Bestandteile [M.-%]
B-AL8_1	6,4-6,8 m	99,1	n.d.	0,9	n.d.
B-AL8_2	14,4-14,8 m	99,3	n.d.	0,7	n.d.
B-AL8_3	23,3-23,7 m	68,5	n.d.	15,3	16,2
B-AL8_4	40,0-40,3 m	99,5	n.d.	0,5	n.d.
B-AL8_5	45,4-45,7 m	99	n.d.	1	n.d.
B-AL8_6	49,8-50,0 m	99,7	n.d.	0,3	n.d.
B-AL8_7	52,2-52,3 m	97,1	2,1	0,8	n.d.

Probe	Teufe [m]	Dolomit [M.-%]	Calcit [M.-%]	Quarz [M.-%]	amorphe Bestandteile [M.-%]
B-AL8_8	52,7-52,8 m	98,6	0,5	0,9	n.d.
B-AL-5/1_1	3,7-3,9 m	91,3	8,7	n.d.	n.d.
B-AL-5/1_2	6,7-7,0 m	96,4	3,5	0,1	n.d.
B-AL-5/1_3_a	7,0-7,2 m	97,3	2,7	n.d.	n.d.
B-AL-5/1_3_b	7,2-7,4 m	97,8	2,2	n.d.	n.d.
B-AL-5/1_3_c	7,4-7,6 m	97,1	2,9	n.d.	n.d.
B-AL-5/1_3_d	7,6-7,8 m	98,3	1,7	n.d.	n.d.
B-AL-5/1_3_H	7,0-7,8 m	97,7	2,3	n.d.	n.d.
B-AL-5/1_4	21,1-21,2 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL-5/1_5	21,4-21,5 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_1	20,7-20,8 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_2	26,2-26,3 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_3	28,0-28,15 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_4	28,6-28,8 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_5	30,3-30,6 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_6	31,6-31,8 m	99,9	n.d.	0,1	n.d.
B-AL-5/2_7	40,0-40,1 m	99,9	n.d.	0,1	n.d.
B-AL-5/2_8	40,15-40,3 m	99,9	n.d.	0,1	n.d.
B-AL-5/2_9	40,6-40,8 m	96,8	3,2	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_10	41,2-41,6 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_11	41,6-41,75 m	97,1	2,7	0,2	n.d.
B-AL-5/2_12_a	42,0-42,2 m	90,1	9,7	0,2	n.d.
B-AL-5/2_12_b	42,2-42,4 m	97	2,8	0,2	n.d.
B-AL-5/2_12_c	42,4-42,6 m	91,2	8,6	0,2	n.d.
B-AL-5/2_12_d	42,6-42,8 m	90,5	9,5	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_12_e	42,8-43,0 m	94,2	5,6	0,2	n.d.
B-AL-5/2_12_H	42,0-43,0 m	93,5	6,5	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_13_a	43,4-43,6 m	88	12	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_13_b	43,6-43,8 m	91,4	8,3	0,3	n.d.
B-AL-5/2_13_c	43,8-44,0 m	89,3	10,7	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_13_H	43,4-44,0 m	91,7	8,2	0,1	n.d.
B-AL-5/2_14_a	44,65-44,80 m	94,7	5,3	n.d.	n.d.
B-AL-5/2_14_b	44,80-44,95 m	92,5	7,4	0,1	n.d.
B-AL-5/2_14_H	44,65-44,95 m	94,6	5,3	0,1	n.d.
B-AL-5/2_15_a	45,2-45,30 m	88,3	11,5	0,2	n.d.
B-AL-5/2_15_b	45,3-45,40 m	89,7	10,1	0,2	n.d.
B-AL-5/2_15_H	45,2-45,40 m	87,8	12	0,2	n.d.
B-AL9_1	9,7-9,9 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL9_2	11,55-11,8 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL9_3	12,1-12,5 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
B-AL9_4	16,3-16,6 m	94,8	5,2	n.d.	n.d.
LAU-1_1	11,6-12,0 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
LAU-1_2	17,1-17,5 m	89,8	10,2	n.d.	n.d.
LAU-1_3	30,2-30,5 m	99,2	0,8	n.d.	n.d.
LAU-1_4	32,0-32,8 m	96,3	3,4	0,3	n.d.
LAU-1_5	37,1-37,5 m	100	n.d.	n.d.	n.d.
LAU-1_6	40,45-40,65 m	97,6	2,4	n.d.	n.d.
LAU-1_7	41,0-41,12 m	96,7	3,3	n.d.	n.d.
LAU-1_8	41,6-41,8 m	97,9	2,1	n.d.	n.d.
LAU-1_9	42,0-42,3 m	91,3	8,7	n.d.	n.d.

Probe	Teufe [m]	Dolomit [M.-%]	Calcit [M.-%]	Quarz [M.-%]	amorphe Bestandteile [M.-%]
LAU-1_10	49,0-49,3 m	99,5	0,3	0,2	n.d.
LAU-1_11	50,4-50,7 m	98,6	1,1	0,3	n.d.
LAU-1_12	51,2-51,4 m	94,2	5,6	0,2	n.d.

Tab. 24: Berechnung der mineralogischen Zusammensetzung der 60 Bohrungsproben nach LUMSDEN (1979).

Probe	Korrigierte Gitterabstände der (104) Karbonat-Peaks [Å]			Dolomit: Berechnung nach LUMSDEN (1979)		Calcit: Berechnung nach LUMSDEN (1979)	
	Dolomit 1	Dolomit 2	Calcit	Mol-% CaCO ₃ (Dolomit 1)	Mol-% MgCO ₃ (Dolomit 1)	Mol-% CaCO ₃ (Calcit)	Mol-% MgCO ₃ (Calcit)
B-AL8_1	2,888			50,82	49,18		
B-AL8_2	2,888			50,77	49,23		
B-AL8_3	2,890			51,42	48,58		
B-AL8_4	2,889			50,85	49,15		
B-AL8_5	2,884			49,29	50,71		
B-AL8_6	2,890			51,40	48,60		
B-AL8_7	2,888		3,029	50,68	49,32	97,54	2,46
B-AL8_8	2,885		3,029	49,52	50,48	97,64	2,36
B-AL-5/1_1	2,892		3,035	51,94	48,06	99,58	0,42
B-AL-5/1_2	2,887		3,033	50,49	49,51	98,92	1,08
B-AL-5/1_3_a	2,889		3,031	51,06	48,94	98,48	1,52
B-AL-5/1_3_b	2,886		3,034	50,09	49,91	99,18	0,82
B-AL-5/1_3_c	2,891		3,034	51,66	48,34	99,49	0,51
B-AL-5/1_3_d	2,888		3,029	50,67	49,33	97,61	2,39
B-AL-5/1_3_H	2,886		3,029	49,86	50,14	97,78	2,22
B-AL-5/1_4	2,885			49,53	50,47		
B-AL-5/1_5	2,886			50,01	49,99		
B-AL-5/2_1	2,890			51,18	48,82		
B-AL-5/2_2	2,888			50,70	49,30		
B-AL-5/2_3	2,887			50,32	49,68		
B-AL-5/2_4	2,887			50,26	49,74		
B-AL-5/2_5	2,887			50,42	49,58		
B-AL-5/2_6	2,887			50,36	49,64		
B-AL-5/2_7	2,888			50,79	49,21		
B-AL-5/2_8	2,890			51,32	48,68		
B-AL-5/2_9	2,890		3,028	51,21	48,79	97,17	2,83
B-AL-5/2_10	2,889			50,86	49,14		
B-AL-5/2_11	2,887		3,028	50,36	49,64	97,22	2,78
B-AL-5/2_12_a	2,889		3,028	51,00	49,00	97,32	2,68
B-AL-5/2_12_b	2,889		3,028	51,04	48,96	97,44	2,56
B-AL-5/2_12_c	2,890		3,030	51,31	48,69	98,09	1,91
B-AL-5/2_12_d	2,889		3,034	51,06	48,94	99,22	0,78
B-AL-5/2_12_e	2,892		3,031	52,14	47,86	98,34	1,66
B-AL-5/2_12_H	2,887		3,031	50,29	49,71	98,40	1,60
B-AL-5/2_13_a	2,891		3,034	51,63	48,37	99,33	0,67
B-AL-5/2_13_b	2,890		3,033	51,21	48,79	98,84	1,16
B-AL-5/2_13_c	2,886		3,030	50,11	49,89	97,99	2,01
B-AL-5/2_13_H	2,887		3,031	50,48	49,52	98,34	1,66
B-AL-5/2_14_a	2,888		3,035	50,65	49,35	99,54	0,46
B-AL-5/2_14_b	2,889		3,033	51,07	48,93	99,02	0,98

Probe	Korrigierte Gitterabstände der (104) Karbonat-Peaks [Å]			Dolomit: Berechnung nach LUMSDEN (1979)		Calcit: Berechnung nach LUMSDEN (1979)	
	Dolomit 1	Dolomit 2	Calcit	Mol-% CaCO ₃ (Dolomit 1)	Mol-% MgCO ₃ (Dolomit 1)	Mol-% CaCO ₃ (Calcit)	Mol-% MgCO ₃ (Calcit)
B-AL-5/2_14_H	2,883		3,031	49,04	50,96	98,17	1,83
B-AL-5/2_15_a	2,891		3,032	51,61	48,39	98,80	1,20
B-AL-5/2_15_b	2,886		3,033	50,16	49,84	98,99	1,01
B-AL-5/2_15_H	2,887		3,033	50,36	49,64	98,92	1,08
B-AL9_1	2,887			50,49	49,51		
B-AL9_2	2,888			50,71	49,29		
B-AL9_3	2,892			51,93	48,07		
B-AL9_4	2,889		3,028	51,02	48,98	97,45	2,55
LAU-1_1	2,889	2,904		51,16	48,84		
LAU-1_2	2,898		3,032	53,96	46,04	98,57	1,43
LAU-1_3	2,903		3,033	55,68	44,32	99,11	0,89
LAU-1_4	2,891	2,903	3,033	51,83	48,17	98,95	1,05
LAU-1_5	2,891			51,63	48,37		
LAU-1_6	2,890	2,902	3,034	51,45	48,55		
LAU-1_7	2,892	2,903	3,035	51,94	48,06	99,66	0,34
LAU-1_8	2,896	2,904	3,034	53,27	46,73	99,25	0,75
LAU-1_9	2,889	2,903	3,031	50,87	49,13	98,40	1,60
LAU-1_10	2,889		3,036	51,07	48,93	99,95	0,05
LAU-1_11	2,889		3,033	51,04	48,96	99,07	0,93
LAU-1_12	2,895	2,907	3,033	53,00	47,00	99,01	0,99
Mittelwert				51,03	48,97	98,56	1,44

Tab. 25: Ergebnisse der Weißgradmessungen der 60 ungebrannten, trockenen Bohrungsproben.

Probe	Probenbezeichnung	L*	a*	b*	Weißgrad nach ASTM E313	Gelbwert nach ASTM E313	Helligkeit/Weißgrad nach TAPPI 452
Probe 1	B-AL8_1	86,70	1,29	10,88	16,22	17,57	58,05
Probe 2	B-AL8_2	86,80	1,42	11,34	14,27	18,29	57,73
Probe 3	B-AL8_3	85,68	2,07	13,42	1,28	21,66	53,73
Probe 4	B-AL8_4	81,39	4,72	20,51	-45,06	33,08	40,77
Probe 5	B-AL8_5	84,55	4,10	19,98	-33,48	31,45	45,88
Probe 6	B-AL8_6	87,01	2,49	16,10	-8,08	25,32	53,44
Probe 7	B-AL8_7	88,74	1,99	11,21	19,98	17,91	61,32
Probe 8	B-AL8_8	85,26	3,37	20,33	-33,36	31,69	46,69
Probe 9	B-AL-5/1_1	86,01	2,65	18,67	-23,28	29,10	49,47
Probe 10	B-AL-5/1_2	87,72	0,86	10,90	18,66	17,45	59,89
Probe 11	B-AL-5/1_3_a	86,33	1,33	13,14	4,25	21,07	55,18
Probe 12	B-AL-5/1_3_b	87,04	0,75	10,74	17,67	17,30	58,81
Probe 13	B-AL-5/1_3_c	87,13	1,06	12,25	10,64	19,57	57,47
Probe 14	B-AL-5/1_3_d	86,43	1,09	12,66	6,77	20,33	55,82
Probe 15	B-AL-5/1_3_H	87,22	0,79	10,51	19,28	16,93	59,37
Probe 16	B-AL-5/1_4	87,75	1,45	12,68	10,26	20,13	58,12
Probe 17	B-AL-5/1_5	87,57	1,14	11,50	15,42	18,38	58,99
Probe 18	B-AL-5/2_1	87,80	0,80	10,30	21,74	16,54	60,63
Probe 19	B-AL-5/2_2	88,09	1,09	10,90	19,67	17,38	60,58
Probe 20	B-AL-5/2_3	85,31	1,73	12,47	4,91	20,26	54,04
Probe 21	B-AL-5/2_4	86,82	1,50	12,33	9,52	19,78	56,81
Probe 22	B-AL-5/2_5	86,99	1,93	13,99	1,96	22,22	55,49
Probe 23	B-AL-5/2_6	87,21	1,60	13,53	4,70	21,50	56,32

Probe	Probenbezeichnung	L*	a*	b*	Weißgrad nach ASTM E313	Gelbwert nach ASTM E313	Helligkeit/Weißgrad nach TAPPI 452
Probe 24	B-AL-5/2_7	84,42	2,62	16,37	-16,52	26,25	48,95
Probe 25	B-AL-5/2_8	85,06	2,48	15,99	-12,93	25,56	50,32
Probe 26	B-AL-5/2_9	85,45	2,39	15,58	-9,90	24,89	51,33
Probe 27	B-AL-5/2_10	86,27	1,80	12,83	5,65	20,65	55,33
Probe 28	B-AL-5/2_11	85,80	2,09	14,18	-2,15	22,75	53,24
Probe 29	B-AL-5/2_12_a	87,29	1,91	13,20	6,58	21,01	56,77
Probe 30	B-AL-5/2_12_b	86,15	1,82	13,11	4,01	21,07	54,88
Probe 31	B-AL-5/2_12_c	86,40	2,09	14,08	-0,02	22,48	54,36
Probe 32	B-AL-5/2_12_d	86,27	2,03	14,03	-0,16	22,43	54,19
Probe 33	B-AL-5/2_12_e	85,74	2,09	14,25	-2,69	22,85	53,07
Probe 34	B-AL-5/2_12_H	85,89	2,23	14,92	-5,45	23,80	52,72
Probe 35	B-AL-5/2_13_a	85,27	2,22	14,26	-3,91	22,99	52,27
Probe 36	B-AL-5/2_13_b	84,59	2,56	15,98	-14,15	25,66	49,56
Probe 37	B-AL-5/2_13_c	84,97	2,60	16,20	-14,16	25,89	49,98
Probe 38	B-AL-5/2_13_H	84,97	2,39	15,78	-12,17	25,27	50,37
Probe 39	B-AL-5/2_14_a	85,31	1,94	14,22	-3,65	22,89	52,39
Probe 40	B-AL-5/2_14_b	85,29	1,97	14,20	-3,60	22,87	52,37
Probe 41	B-AL-5/2_14_H	85,27	1,97	14,44	-4,84	23,24	52,11
Probe 42	B-AL-5/2_15_a	86,86	1,76	12,35	9,56	19,83	56,85
Probe 43	B-AL-5/2_15_b	85,47	2,59	16,60	-14,74	26,36	50,43
Probe 44	B-AL-5/2_15_H	86,22	2,20	14,44	-2,24	23,07	53,69
Probe 45	B-AL9_1	89,37	0,47	8,53	34,22	13,57	65,51
Probe 46	B-AL9_2	89,63	0,93	9,89	28,44	15,65	64,52
Probe 47	B-AL9_3	90,16	1,00	10,52	26,85	16,51	64,88
Probe 48	B-AL9_4	88,39	0,70	9,49	27,13	15,18	62,60
Probe 49	LAU-1_1	86,90	1,49	14,07	1,24	22,33	55,28
Probe 50	LAU-1_2	86,79	1,61	15,01	-3,60	23,68	54,20
Probe 51	LAU-1_3	87,12	1,22	12,22	10,76	19,54	57,47
Probe 52	LAU-1_4	86,46	1,69	15,63	-7,51	24,68	53,02
Probe 53	LAU-1_5	86,90	1,29	12,81	7,32	20,43	56,52
Probe 54	LAU-1_6	88,10	1,68	9,21	27,93	14,88	62,27
Probe 55	LAU-1_7	87,75	1,93	12,11	13,06	19,33	58,65
Probe 56	LAU-1_8	88,93	1,58	9,91	26,65	15,83	63,11
Probe 57	LAU-1_9	87,63	1,99	13,19	7,57	20,94	57,37
Probe 58	LAU-1_10	88,61	0,44	9,09	29,61	14,52	63,44
Probe 59	LAU-1_11	88,02	0,24	8,69	30,06	13,97	62,77
Probe 60	LAU-1_12	86,60	1,21	13,22	4,55	21,10	55,59

Tab. 26: Ergebnisse der Weißgradmessungen der 60 gebrannten Bohrungsproben.

Probe	Probenbezeichnung	L*	a*	b*	Weißgrad nach ASTM E313	Gelbwert nach ASTM E313	Helligkeit/Weißgrad nach TAPPI 452
Probe 1	B-AL8_1	94,54	0,83	3,84	69,10	5,93	81,81
Probe 2	B-AL8_2	93,09	0,75	4,73	61,37	7,39	77,50
Probe 3	B-AL8_3	89,68	1,68	5,64	48,85	9,13	69,24
Probe 4	B-AL8_4	85,71	0,52	8,59	24,93	14,15	58,51
Probe 5	B-AL8_5	85,62	0,50	8,91	23,13	14,64	58,06
Probe 6	B-AL8_6	90,43	0,70	6,73	45,43	10,69	69,60
Probe 7	B-AL8_7	91,31	0,63	5,45	53,64	8,60	72,91
Probe 8	B-AL8_8	83,58	-0,09	11,75	3,81	19,26	51,93

Probe	Probenbezeichnung	L*	a*	b*	Weißgrad nach ASTM E313	Gelbwert nach ASTM E313	Helligkeit/Weißgrad nach TAPPI 452
Probe 9	B-AL-5/1_1	88,07	0,49	9,20	27,72	14,76	62,29
Probe 10	B-AL-5/1_2	93,71	0,89	4,57	63,64	7,11	79,05
Probe 11	B-AL-5/1_3_a	91,88	0,76	5,70	53,87	8,97	73,78
Probe 12	B-AL-5/1_3_b	93,36	0,98	4,98	60,90	7,76	77,82
Probe 13	B-AL-5/1_3_c	92,93	0,85	5,19	58,85	8,11	76,63
Probe 14	B-AL-5/1_3_d	92,19	0,89	5,69	54,69	8,94	74,46
Probe 15	B-AL-5/1_3_H	93,57	0,89	4,57	63,34	7,11	78,77
Probe 16	B-AL-5/1_4	93,23	0,92	4,53	62,67	7,06	78,07
Probe 17	B-AL-5/1_5	93,49	0,95	4,11	65,23	6,40	79,15
Probe 18	B-AL-5/2_1	93,44	0,83	3,94	65,86	6,14	79,23
Probe 19	B-AL-5/2_2	94,81	0,90	3,27	72,33	5,05	83,11
Probe 20	B-AL-5/2_3	93,00	1,09	4,40	62,72	6,88	77,73
Probe 21	B-AL-5/2_4	92,50	1,15	4,96	58,88	7,81	75,95
Probe 22	B-AL-5/2_5	92,70	0,89	5,15	58,48	8,05	76,20
Probe 23	B-AL-5/2_6	92,40	1,05	5,36	56,80	8,41	75,28
Probe 24	B-AL-5/2_7	91,86	0,79	5,68	53,94	8,94	73,76
Probe 25	B-AL-5/2_8	90,47	1,07	7,06	44,01	11,22	69,30
Probe 26	B-AL-5/2_9	90,95	0,93	6,28	48,87	9,96	71,17
Probe 27	B-AL-5/2_10	93,05	0,87	4,08	64,30	6,39	78,17
Probe 28	B-AL-5/2_11	92,01	0,92	5,59	54,71	8,81	74,16
Probe 29	B-AL-5/2_12_a	92,83	0,74	4,61	61,30	7,22	77,07
Probe 30	B-AL-5/2_12_b	92,64	0,78	4,38	61,87	6,89	76,91
Probe 31	B-AL-5/2_12_c	92,33	0,78	5,20	57,31	8,18	75,29
Probe 32	B-AL-5/2_12_d	91,84	0,70	5,46	54,89	8,61	73,94
Probe 33	B-AL-5/2_12_e	92,29	0,66	4,65	59,78	7,32	75,85
Probe 34	B-AL-5/2_12_H	91,59	0,75	5,33	54,89	8,43	73,56
Probe 35	B-AL-5/2_13_a	91,31	0,74	5,67	52,61	8,98	72,59
Probe 36	B-AL-5/2_13_b	90,48	0,70	6,32	47,49	10,06	70,13
Probe 37	B-AL-5/2_13_c	90,05	0,69	6,86	43,87	10,94	68,65
Probe 38	B-AL-5/2_13_H	90,79	0,70	6,49	47,49	10,29	70,59
Probe 39	B-AL-5/2_14_a	91,60	0,77	5,31	55,03	8,40	73,61
Probe 40	B-AL-5/2_14_b	91,88	0,70	4,83	57,93	7,63	74,76
Probe 41	B-AL-5/2_14_H	91,57	0,79	5,48	54,12	8,67	73,34
Probe 42	B-AL-5/2_15_a	92,17	0,73	4,36	60,84	6,87	75,93
Probe 43	B-AL-5/2_15_b	89,03	0,61	6,90	41,17	11,11	66,57
Probe 44	B-AL-5/2_15_H	90,04	0,74	5,95	48,19	9,53	69,64
Probe 45	B-AL9_1	93,85	1,06	5,19	61,22	8,03	78,67
Probe 46	B-AL9_2	93,96	1,07	4,87	62,94	7,55	79,26
Probe 47	B-AL9_3	94,14	1,05	4,84	63,54	7,49	79,71
Probe 48	B-AL9_4	92,60	0,87	5,85	55,00	9,12	75,19
Probe 49	LAU-1_1	87,59	0,08	8,88	28,05	14,21	61,88
Probe 50	LAU-1_2	87,16	0,50	9,14	25,77	14,78	60,67
Probe 51	LAU-1_3	90,60	0,66	7,02	44,50	11,08	69,69
Probe 52	LAU-1_4	88,16	0,02	7,59	35,69	12,19	64,23
Probe 53	LAU-1_5	91,77	0,76	6,41	50,27	10,04	72,81
Probe 54	LAU-1_6	89,46	0,71	8,15	36,28	12,95	66,18
Probe 55	LAU-1_7	87,54	0,73	9,47	25,12	15,21	61,11
Probe 56	LAU-1_8	89,90	0,48	7,20	41,85	11,45	68,03
Probe 57	LAU-1_9	88,99	0,52	7,69	37,28	12,31	65,70
Probe 58	LAU-1_10	93,34	0,43	4,60	62,60	7,12	78,27

Probe	Probenbezeichnung	L*	a*	b*	Weißgrad nach ASTM E313	Gelbwert nach ASTM E313	Helligkeit/Weißgrad nach TAPPI 452
Probe 59	LAU-1_11	92,71	0,33	5,25	57,99	8,16	76,14
Probe 60	LAU-1_12	89,73	0,20	7,09	41,96	11,25	67,86

Tab. 27: Ergebnisse der Messungen zur Bestimmung der Gesteinsdichte.

Probe	Trockengewicht m_d [g]	Nassgewicht (Atmosph.) m_a [g]	Nassgewicht (Vakuum) $m_{n,v}$ [g]	Auftriebsgewicht (Vakuum) $m_{a,v}$ [g]	Reindichte ρ_{rein} [g/cm ³]	Rohdichte ρ_{roh} [g/cm ³]	Wasser- aufnahme (Atmosph.) $W_{a,g}$ [Gew.-%]	Wasser- aufnahme (Vakuum) $W_{v,v}$ [Vol.-%]	Offene Porosität P_o [Vol.-%]	Wasser- aufnahme (Vakuum) $W_{v,g}$ [Gew.-%]	Wasser- aufnahme (Atmosph.) $W_{a,v}$ [Vol.-%]	Sättigung S	Gesamt- porosität P [Vol.-%]
1	257,39	260,45	261,42	165,18	2,79	2,67	1,19	4,19	4,187	1,57	3,21	0,76	4,187
2	248,62	252,66	254,75	159,59	2,79	2,61	1,62	6,44	6,442	2,47	4,34	0,66	6,442
3	251,00	254,96	256,09	161,16	2,79	2,64	1,58	5,36	5,362	2,03	4,22	0,78	5,362
4	250,22	253,99	255,34	160,91	2,80	2,64	1,51	5,42	5,422	2,05	4,05	0,74	5,422
5	210,88	222,48	228,15	134,69	2,76	2,25	5,50	18,48	18,478	8,19	13,21	0,67	18,478
6	237,45	242,37	245,28	150,01	2,71	2,49	2,07	8,22	8,219	3,30	5,33	0,63	8,219
7	235,99	241,73	244,62	149,28	2,72	2,47	2,43	9,05	9,052	3,66	6,21	0,67	9,052
8	246,22	250,47	251,8	155,95	2,72	2,56	1,73	5,82	5,822	2,27	4,50	0,76	5,822
9	260,14	262,23	262,56	166,6	2,78	2,71	0,80	2,52	2,522	0,93	2,19	0,86	2,522
10	240,67	244,39	246,74	153,34	2,75	2,57	1,55	6,50	6,499	2,52	4,09	0,61	6,499
11	242,55	247,25	249,33	155,39	2,78	2,58	1,94	7,22	7,217	2,80	5,12	0,69	7,217
12	247,36	251,94	253,17	158,36	2,77	2,60	1,85	6,13	6,128	2,35	4,89	0,79	6,128
13	247,71	250,43	251,32	157,64	2,74	2,64	1,10	3,85	3,854	1,46	2,93	0,75	3,854
14	256,93	259,22	259,95	163,98	2,76	2,67	0,89	3,15	3,147	1,18	2,40	0,76	3,147
15	257,12	259,48	259,61	163,61	2,74	2,67	0,92	2,59	2,594	0,97	2,46	0,95	2,594
16	251,25	255,24	256,1	160,77	2,77	2,63	1,59	5,09	5,088	1,93	4,22	0,82	5,088
17	256,38	258,42	259,41	163,74	2,76	2,67	0,80	3,17	3,167	1,18	2,15	0,67	3,167
18	234,93	238,19	241,32	148,78	2,72	2,53	1,39	6,91	6,905	2,72	3,65	0,51	6,905
19	243,52	246,77	250,21	154,86	2,74	2,55	1,33	7,02	7,016	2,75	3,54	0,49	7,016
20	249,85	252,5	253,51	158,18	2,72	2,62	1,06	3,84	3,839	1,46	2,81	0,72	3,839
21	229,62	235,46	238,23	144,55	2,69	2,45	2,54	9,19	9,191	3,75	6,42	0,68	9,191
22	248,13	254,11	254,64	158,74	2,77	2,58	2,41	6,79	6,788	2,62	6,27	0,92	6,788
23	248,17	253,96	254,23	158,12	2,75	2,58	2,33	6,31	6,305	2,44	6,04	0,96	6,305
24	242,43	249,89	251,3	155,54	2,78	2,53	3,08	9,26	9,263	3,66	7,91	0,84	9,263
25	244,65	251,53	252,11	156,52	2,77	2,55	2,81	7,80	7,804	3,05	7,24	0,92	7,804
26	225,19	232,33	234,41	143,49	2,75	2,47	3,17	10,14	10,141	4,09	8,04	0,77	10,141
27	259,06	260,87	261,39	165,96	2,78	2,71	0,70	2,44	2,442	0,90	1,91	0,78	2,442
28	248,99	253,65	254,45	159,05	2,76	2,60	1,87	5,72	5,723	2,19	4,93	0,85	5,723
29	250,92	255,27	255,98	160,06	2,76	2,61	1,73	5,28	5,275	2,02	4,57	0,86	5,275
30	240,70	247,22	248,43	153,87	2,77	2,54	2,71	8,17	8,175	3,21	6,98	0,84	8,175
31	246,75	251,72	253,43	157,84	2,77	2,58	2,01	6,99	6,988	2,71	5,29	0,74	6,988
32	243,25	247,67	249,08	155,29	2,76	2,59	1,82	6,22	6,216	2,40	4,78	0,76	6,216
33	249,3	251,52	251,92	158,36	2,74	2,66	0,89	2,80	2,800	1,05	2,38	0,85	2,800
34	259,08	261,72	262,17	165,91	2,78	2,69	1,02	3,21	3,210	1,19	2,76	0,85	3,210
35	249,46	252,86	253,89	159,18	2,76	2,63	1,36	4,68	4,677	1,78	3,63	0,77	4,677
36	252,90	255,86	256,83	161,47	2,76	2,65	1,17	4,12	4,121	1,55	3,14	0,75	4,121
37	171,63	175,53	175,79	109,73	2,77	2,59	2,27	6,30	6,297	2,42	5,93	0,94	6,297
38	254,76	258,67	259,13	163,20	2,78	2,65	1,53	4,56	4,555	1,72	4,10	0,89	4,555
39	255,49	258,00	259,19	163,24	2,76	2,66	0,98	3,86	3,856	1,45	2,65	0,68	3,856
Min	171,63	175,53	175,79	109,73	2,69	2,25	0,70	2,44	2,44	0,90	1,91	0,49	2,44
Max	260,14	262,23	262,56	166,6	2,80	2,71	5,50	18,48	18,48	8,19	13,21	0,96	18,48
MW	244,79	249,05	250,44	156,21	2,76	2,59	1,78	6,02	6,02	2,36	4,63	0,77	6,02

Tab. 28: Tabellarische Zusammenstellung der Hauptelement-Gehalte (RFA-Analytik) der Proben aus der Detailerkundung.

Probe	SiO ₂ [Gew.-%]	Al ₂ O ₃ [Gew.-%]	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%]	MgO [Gew.-%]	CaO [Gew.-%]
B-AL8_1	1,06	0,32	0,11	20,69	30,99
B-AL8_2	1,02	0,45	0,18	20,63	31,32
B-AL8_3	30,31	0,29	0,18	14,53	22,36
B-AL8_4	0,61	0,37	0,72	20,59	31,07
B-AL8_5	1,92	0,51	0,62	20,41	30,38
B-AL8_6	0,52	0,36	0,32	20,65	30,83
B-AL8_7	1,54	0,63	0,31	20,03	31,21
B-AL8_8	2,88	1,14	0,75	19,55	30,58
B-AL-5/1_1	0,34	0,33	0,45	18,81	33,86
B-AL-5/1_2	0,01	0,21	0,16	20,61	32,46
B-AL-5/1_3_a	0,06	0,3	0,24	20,1	32,44
B-AL-5/1_3_b	0,01	0,24	0,16	20,41	32,52
B-AL-5/1_3_c	0,01	0,28	0,18	20,23	32,05
B-AL-5/1_3_d	0,03	0,13	0,21	20,43	31,92
B-AL-5/1_3_H	0,02	0,26	0,15	20,54	32,72
B-AL-5/1_4	0,01	0,3	0,15	20,98	31,23
B-AL-5/1_5	0,03	0,37	0,14	20,95	31,31
B-AL-5/2_1	0,1	0,28	0,17	20,77	31,11
B-AL-5/2_2	0,08	0,41	0,09	20,95	31,46
B-AL-5/2_3	0,01	0,25	0,15	20,91	31,57
B-AL-5/2_4	0,01	0,21	0,14	21,14	31,6
B-AL-5/2_5	0,01	0,21	0,19	20,91	31,36
B-AL-5/2_6	0,01	0,24	0,16	21,05	31,42
B-AL-5/2_7	0,14	0,38	0,24	20,79	31,29
B-AL-5/2_8	0,14	0,36	0,24	20,85	31,22
B-AL-5/2_9	0,11	0,28	0,23	20,38	32,6
B-AL-5/2_10	0,1	0,25	0,15	20,73	31,14
B-AL-5/2_11	0,16	0,28	0,19	19,92	32,24
B-AL-5/2_12_a	0,28	0,26	0,18	18,26	33,8
B-AL-5/2_12_b	0,23	0,34	0,19	20,14	32,19
B-AL-5/2_12_c	0,24	0,29	0,21	19,06	33,98
B-AL-5/2_12_d	0,19	0,25	0,23	18,78	34,5
B-AL-5/2_12_e	0,35	0,27	0,23	19,1	33,02
B-AL-5/2_12_H	0,24	0,27	0,23	19,43	33,2
B-AL-5/2_13_a	0,21	0,32	0,24	18,16	34,84
B-AL-5/2_13_b	0,22	0,36	0,29	18,73	33,97
B-AL-5/2_13_c	0,27	0,34	0,33	18,44	34,86
B-AL-5/2_13_H	0,21	0,27	0,29	19	33,29
B-AL-5/2_14_a	0,18	0,31	0,23	19,45	33,04
B-AL-5/2_14_b	0,2	0,23	0,23	18,75	33,31
B-AL-5/2_14_H	0,17	0,29	0,24	19,59	32,72
B-AL-5/2_15_a	0,23	0,15	0,2	18,15	35,12
B-AL-5/2_15_b	0,4	0,32	0,38	18,34	34,57
B-AL-5/2_15_H	0,31	0,31	0,28	18,11	35,12
B-AL9_1	0,63	0,55	0,17	20,64	31,11
B-AL9_2	0,35	0,42	0,18	20,95	31,66
B-AL9_3	0,23	0,27	0,17	20,81	31,77
B-AL9_4	0,63	0,59	0,21	19,99	32,2

Probe	SiO ₂ [Gew.-%]	Al ₂ O ₃ [Gew.-%]	Fe ₂ O ₃ (T) [Gew.-%]	MgO [Gew.-%]	CaO [Gew.-%]
LAU-1_1	1,66	0,91	0,33	19,57	32,58
LAU-1_2	0,71	0,52	0,41	17,09	35,43
LAU-1_3	0,72	0,53	0,24	19,14	33,23
LAU-1_4	1,43	0,76	0,46	18,84	32,55
LAU-1_5	0,43	0,45	0,21	20,52	31,98
LAU-1_6	0,5	0,45	0,29	19,65	33,08
LAU-1_7	0,52	0,49	0,32	18,96	33,22
LAU-1_8	0,65	0,53	0,3	19,33	33,39
LAU-1_9	0,51	0,48	0,32	17,89	34,76
LAU-1_10	0,97	0,62	0,17	20,7	31,32
LAU-1_11	1,2	0,69	0,19	20,31	31,56
LAU-1_12	1	0,65	0,28	18,6	33,54



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

