



Gips-Anhydrit-Erkundung im Raum Coburg - Bayreuth

Neue Rohstoffpotenziale im
Mittleren Muschelkalk



geologie



Gips-Anhydrit-Erkundung im Raum Coburg - Bayreuth

**Neue Rohstoffpotenziale im
Mittleren Muschelkalk**

Bearbeiter:
G. Büttner, E. Linhardt

55 Seiten, 41 Abbildungen, 17 Tabellen, Augsburg 2011

UmweltSpezial

Impressum

Gips-Anhydrit-Erkundung im Raum Coburg - Bayreuth
Neue Rohstoffpotenziale im Mittleren Muschelkalk
ISBN: 978-3-XXXXXX-XX-X

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160
86179 Augsburg
Tel.: (0821) 90 71 - 0
Fax.: (0821) 90 71 55 56
E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de
Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung/Text/Konzept:

LfU, Referat 105, Georg Büttner, Elmar Linhardt

Redaktion:

LfU, Referat 105, Georg Büttner, Elmar Linhardt

Bildnachweis:

LfU: Abb.-Nr.

bei Externen: Büro/Institut, Ort: Abb.-Nr.;

bei Internen, wenn Privatfoto: Vorname Nachname, Ort: Abb.-Nr.; Vorname Nachname, Ort: Abb.-Nr.

Druck:

Musterdruckerei, Musterstraße, Musterort

Gedruckt auf Papier aus 100% Altpapier

Stand:

Januar 2011

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

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	4
2	Sachstand	5
3	Durchgeführte Arbeiten	6
3.1	Bohrungen	6
3.2	Mineralogie und Geochemie	8
3.2.1	Chemometrisches Quantifizierungs-Verfahren	8
4	Ergebnisse	11
4.1	Übersicht	11
4.2	Petrographische Beschreibung	12
4.3	Lithostratigraphische Detailbetrachtung	16
4.3.1	Allgemeines	16
4.3.2	Lithostratigraphische Gliederung	17
4.3.3	Schichtbeschreibung nach lithologischen Merkmalen	17
4.3.3.1	Unterer Dolomit (mm1) mit Übergang zum Unteren Muschelkalk (fraglicher mu3)	17
4.3.3.2	Profilabschnitt Oberes und Unteres Salinar mit Mittlerem Karbonat (mm2 und oberer Teil von mm1)	19
4.3.3.3	Oberes Karbonat (mm3)	21
4.3.4	Gesamtmächtigkeit des Mittleren Muschelkalk	22
4.4	Einfluss der Verkarstung auf die Tiefenlage des Sulfatlagers	23
4.5	Sulfat-Rohstoffe – mineralogische Bewertung	24
4.6	Geochemie	29
5	Vorräte, Rohstoff und Wirtschaftlichkeit	31
6	Prognose der Tiefenlage von Gipsvorkommen innerhalb des Sulfatlagers	32
7	Zusammenfassende Bewertung und Erkundungsvorschläge	34
8	Literatur, Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	38
	Anhang	44

1 Zielsetzung

Die zunehmende Rohstoffverknappung der bislang in Abbau befindlichen Gipslagerstätten des Mittleren Keuper zum einen sowie die lückenhaften Kenntnisse über die Verbreitung und Qualität potenzieller Sulfatlagerstätten im Mittleren Muschelkalk zum anderen waren Anlass zu dieser Rohstofferkundung. Ziel der Bohr- bzw. Untersuchungskampagne war es, vertiefende Informationen über die Verbreitung, Mächtigkeiten und Ausbildung der im Untersuchungsraum vorkommenden Sulfatvorkommen zu erhalten, und über mineralogisch-rohstoffkundliche bzw. geochemische Untersuchungen deren Verwertbarkeit besser beurteilen zu können.

2 Sachstand

Heute werden in Bayern Gips und Anhydrit ausschließlich im basalen Mittleren Keuper, den so genannten Grundgipsschichten, in Mittel- und Unterfranken abgebaut. Das weitflächig aushaltende, dickbankige bis plattige Sulfatlager erreicht Mächtigkeiten von ca. 5 m - 10 m, im Mittel um 8 m. Die Mächtigkeit der Überdeckung steuert im Mittleren Keuper das Vorkommen von Gips sowie den Anhydritanteil. Bei zu großer Überdeckung liegt das Sulfatlager fast ausschließlich als Anhydrit vor.

Mit Ausnahme des untertägigen Anhydritabbaus bei Hüttenheim erfolgt die Gewinnung derzeit im Tagebau. Nach heutigem Kenntnissstand ist die Versorgung der bayerischen Gipsindustrie mit Naturgips noch ca. 40 Jahre gesichert. Langfristig sollen daher verstärkt Gips und Anhydrit des Mittleren Muschelkalk gewonnen werden, deren Vorkommen und Ausbildung bislang jedoch nur punktuell erkundet sind.

Bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden bei Döhlau, E. Bayreuth, untertägig Gips und Anhydrit gewonnen. Der Abbau erfolgte zunächst im sogenannten „Südfeld“ auf 3 Flözgruppen in übereinander liegenden Sohlen, später im Nordfeld im Wesentlichen auf der höchsten Flözgruppe (WEINIG 1987). Heute ist dieser Abbau zum Erliegen gekommen, doch langfristig wird in den Sulfatlagerstätten des Mittleren Muschelkalk eine wichtige Rohstoffreserve gesehen.

Mit Sondermitteln und im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie wurden 13 Bohrungen zur Rohstofferkundung und –sicherung auf Gips bzw. Anhydrit im Mittleren Muschelkalk niedergebracht. In zwei Untersuchungsräumen (N. Coburg sowie Kronach – Bayreuth) des Obermain-Bruchschollenlandes wurde im Zuge dieser Bohrungen eine Gesamtbohrstrecke von 1312,9 Kernmetern durchörtert. Durch das Referat „Wirtschaftsgeologie, Rohstoffe“ wurden die Bohrungen detailliert lithologisch und lithostratigraphisch bearbeitet, die Proben analysiert sowie alle vorliegenden Untersuchungen und Auswertungen zusammengefasst. Sämtliche raumbezogenen, stratigraphisch-petrographischen sowie mineralogisch-geochemischen Daten der Bohrungen wurden nach erfolgter Bemusterung, Beprobung und Analytik in das Bodeninformationssystem (BIS) des LfU eingepflegt.

3 Durchgeführte Arbeiten

3.1 Bohrungen

Die Bohrungen Gips 1 bis Gips 11 des Untersuchungsraumes SE Kronach bis NE Bayreuth liegen auf den Kartenblättern (TK 25) 5734, 5834, 5835, 5935, 6035 sowie 6036. Die Bohrungen Gips 12 und Gips 13 im Untersuchungsraum N Coburg befinden sich auf dem TK 25-Blatt 5631 (Abb. 3-1, Tab. 3-1).

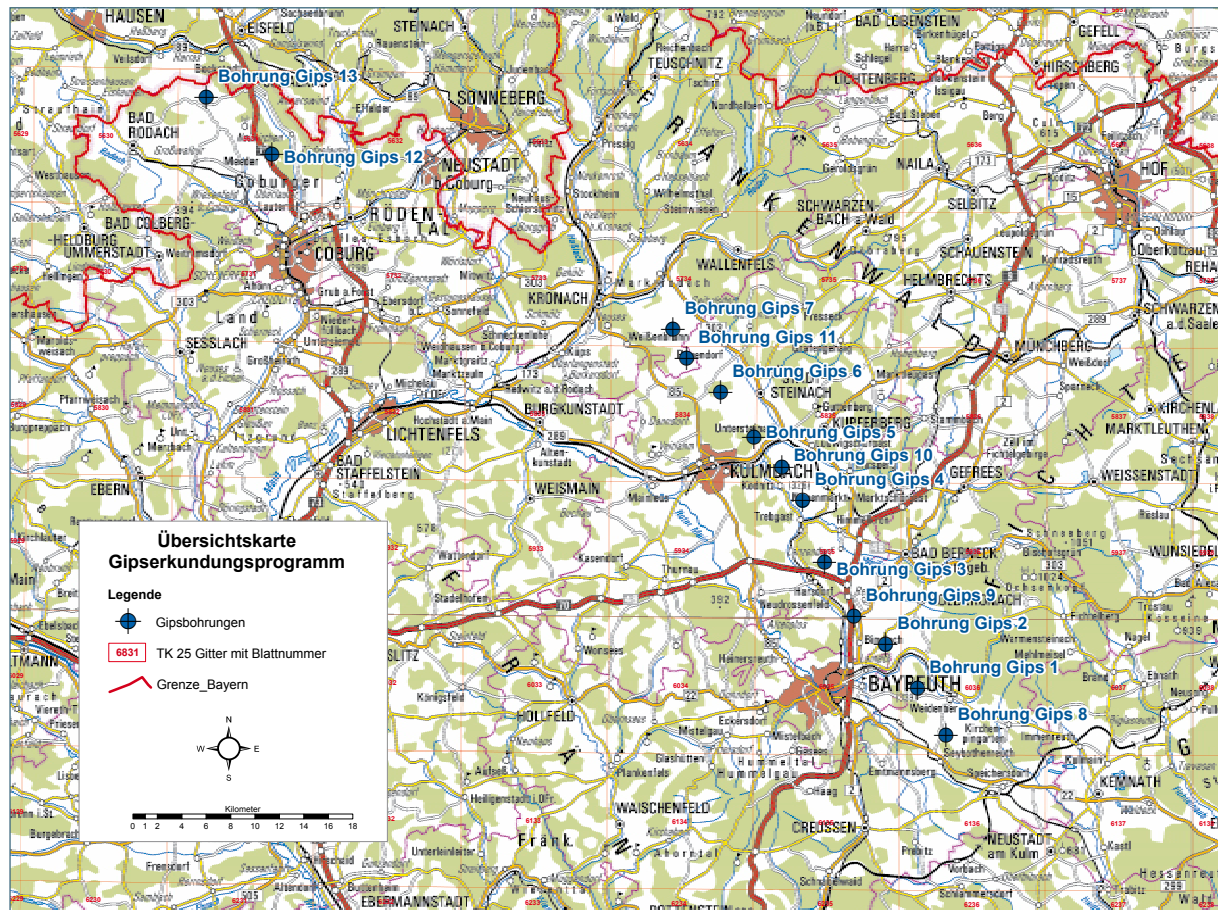
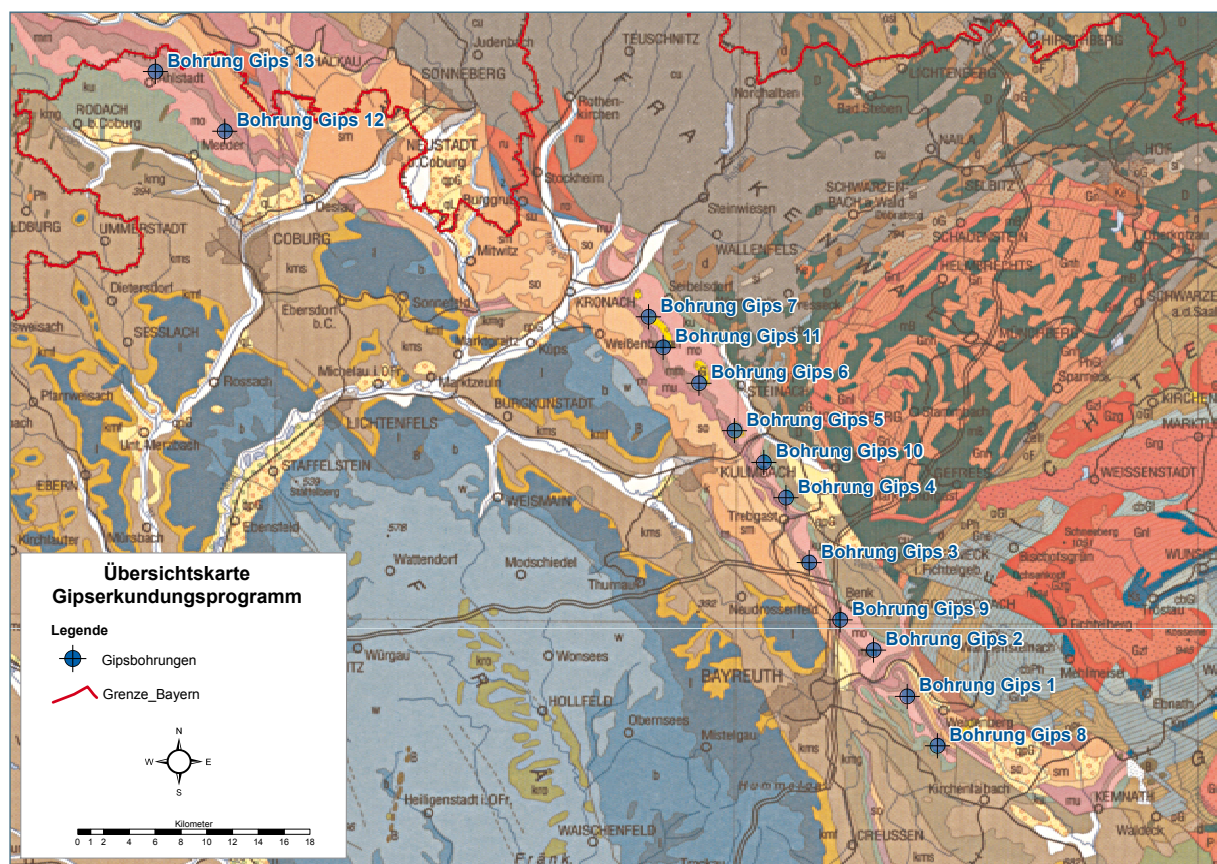


Abb. 3-1: Arbeitsgebiet mit Lagepunkten

Alle Bohrungen wurden (lt. Geologischer Karte 1 : 25.000) im Ausstrich des Oberen Muschelkalk angesetzt, sie durchörtern den Mittleren Muschelkalk und reichen bis in den Unteren Muschelkalk (Abb. 3-2). Von den 1312,9 Metern Gesamtbohrstrecke durchörtern 48,3m die quartäre Überdeckung (Bodenbildungen, Hangschutt, Dolinenfüllungen, fluviatile Ablagerungen), 1264,6m den Muschelkalk. Der Übergang Gesteinszersatz zu anstehendem Oberen Muschelkalk war in einigen Bohrungen fließend.

Nr.	BIS - Objekt	Lage	Koordinaten		AH	ET
			RW	HW	m ü. NN	(m)
Gips 1	6036BG000014	Ützdorf / Döhlau	4477540	5534690	562	110,8
Gips 2	6035BG000009	Bindlach	4474930	5538280	489	124,0
Gips 3	5935BG000026	Harsdorf / A70	4469940	5545060	490	60,4
Gips 4	5935BG000027	Hegnabrunn	4468140	5550090	390	97,0
Gips 5	5834BG000016	Untersteinbach	4454145	5555285	471	104,7
Gips 6	5834BG000017	Lehental	4451400	5558960	481	75,2
Gips 7	5734BG000001	Wötzelsdorf	4457490	5564115	486	113,5
Gips 8	6036BG000020	Döberschütz	4479880	5530860	503	116,2
Gips 9	5935BG000028	Benk	4472340	5540620	458	71,0
Gips 10	5835BG000019	Fölschnitz	4466425	5552820	422	113,0
Gips 11	5834BG000018	Gössersdorf	4458620	5561740	488	122,0
Gips 12	5631BG000001	Drossenhausen	4424640	5578495	478	100,0
Gips 13	5631BG000002	Ahlstadt	4419260	5583120	474	105,1



3.2 Mineralogie und Geochemie

Die Analytik der gezogenen Proben hinsichtlich Geochemie (Haupt-, Neben- und teilweise Spurenelemente) mittels Röntgenfluoreszenzanalytik (RFA) sowie qualitativer Röntgendiffraktometrie (XRD) und Karbonatbestimmung erfolgte LfU-intern. Die Thermogravimetrie und die Schwefelbestimmung wurden LfU-extern durchgeführt.

Die Quantifizierung der Sulfatminerale (Angabe in Massen-Prozent, M.-%) sowie der Begleitminerale in den Proben wurde auf Basis thermogravimetrischer Daten (Masseverluste infolge von Dissoziationsvorgängen) sowie mittels RFA-Hauptelementgehalten (Angabe in Gewichts-Prozent, Gew.-%) unter Einbeziehung kristallchemischer Kenndaten erreicht, ein praktikables und kosteneffizientes Verfahren, das auch der Rohstoffwirtschaft als Beurteilungs-Grundlage dient. Die Anwendbarkeit des Verfahrens wurde im Vorfeld durch Vergleichsuntersuchungen festgestellt.

Aussagen zu quantitativen Gehalten von Begleitmineralen stützen sich dabei auf die vorhandene qualitative XRD- sowie quantitative Karbonat-Analytik. Dabei berücksichtigt wurden neben Gips und Anhydrit sowohl die Karbonate Calcit und Dolomit als auch die Silikate Quarz, Alkalifeldspat, Plagioklas und Tonminerale (überwiegend als Illit, Kaolinit und Mixed-Layer).

Angaben zu potenziellen Störelementen für die gipsverarbeitende Industrie wie Eisen, Kalium, Natrium und Magnesium (aus RFA) werden abschließend betrachtet und entsprechend diskutiert.

Da es sich als relativ kompliziert herausstellte, ein geeignetes Analyseverfahren für die Sulfatproben zu finden, wird im Folgenden kurz das gewählte chemometrische Auswertungsverfahren vorgestellt. Nur mit diesem besonderen Verfahren war es möglich, den komplex zusammengesetzten Mischrohstoff zu quantifizieren. Mit der Beschreibung wird der Analyseweg transparent dargestellt.

3.2.1 Chemometrisches Quantifizierungs-Verfahren

Grundlagen (Kristall-Chemie)

Die Sulfat-Minerale Gips, Halbhydrat sowie Anhydrit werden in Abhängigkeit vom gebundenen Kristallwasser durch folgende Oxidgehalte gekennzeichnet.

Tab. 3-2: Oxidgehalte Sulfatminerale (nach: BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE 2006)

Oxidgehalte (Gew.-%):	Gips	Halbhydrat	Anhydrit II
CaO	32,57	38,63	41,19
SO ₃	46,50	55,158	58,81
H ₂ O	20,92	6,205	0,00
CaO/SO ₃	0,70	0,70	0,70

Aus Gips kann in mehreren Temperaturstufen das Kristallwasser bis zur völligen Zersetzung ausgetrieben werden.

Tab. 3-3: Reaktionstemperaturen Sulfate (nach: HENNING & KNÖFEL, 1997; AUTORENKOLLEKTIV, 1978)

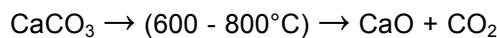
Edukt	Temperaturbereich	Produkt
Gips (2 Mol H ₂ O)	105 °C – 180 °C	Halbhydrat (0,5 Mol H ₂ O)
Gips (2 Mol H ₂ O)	160 °C – 300 °C	Anhydrit III (< 0,5 bis 0 Mol H ₂ O)
Gips (2 Mol H ₂ O)	240 °C – 600 °C	Anhydrit II (0 Mol H ₂ O)
Gips (2 Mol H ₂ O)	600 °C – 1200 °C	Anhydrit I + (CaO + SO ₃)
Gips (2 Mol H ₂ O)	1100 °C – 1500 °C	CaO + SO ₃

Aus Tonmineralen wird je nach Mineralgruppe adsorptiv (H₂O) sowie kristallchemisch gebundenes Wasser (OH-Gruppen) wie folgt ausgetrieben (beide Vorgänge zusammen entsprechen einer Entwässerung):

< 300 °C: unspezifische Abgabe von adsorbiertem (Dehydration) und Zwischenschicht - Wasser (Dehydroxilierung).

400 °C bis 850 °C: Dehydroxilierung von Zwei- (Kaolinit) und Dreischichttonmineralen (Smectit, Vermiculit, Chlorit).

Zum Vergleich: Karbonate werden bei Temperaturen zwischen 600 °C und 800 °C thermisch nach folgender Gleichung zersetzt:



Analytik und Auswertung

Durch einzelne definierte Temperungsschritte der zu untersuchenden Probe wird gravimetrisch in erster Näherung auf die jeweiligen Mineralanteile in der Probe zurückgeschlossen.

Trocknungsverlust (40 °C): adsorptiv gebundenes Wasser wird freigesetzt; keine Reaktion bei Tonmineralen, Sulfat und Karbonat.

Glühschritt 1 (GS1, 350 °C): vorhandener Gips entwässert über Halbhydrat zu (zusätzlichem) Anhydrit (II).

Glühverlust (LOI, 1050 °C): Volatile (u.a. F, Cl, CO₂ aus Karbonat) werden freigesetzt; keine bis geringe (!) Zersetzungs-Reaktion bei Sulfat, Sulfide werden aufoxidiert.

Vor-Kontrolle bzw. Plausibilitätsprüfung der Analysen-Werte, es muss gelten:

Oxide (ohne SO₃, Schmelztablette) + S, als SO₃ (Pulvertablette) + LOI 1050 °C (gravim.) = 100 Gew.-%

Zur rechnerischen Umsetzung von RFA – Hauptelement- zu Sulfatgehalten wird im ersten Schritt – auf Grundlage gemessener Oxidgehalte der Gesamtproben und o. g. kristallchemischer Daten - die Möglichkeit des Vorhandenseins von Karbonat in der Probe geprüft.

Ist das Verhältnis $\text{CaO}/\text{SO}_3 = 0,7$ ist/sind potenziell nur Sulfat(e) vorhanden,
> 0,7 sind potenziell Karbonat(e) sowie Sulfat(e) vorhanden ($\rightarrow \text{MgO ?}$),
< 0,7 liegen Analysenfehler oder Sulfide in der Probe vor.

Berechnung

Die Berechnung von Gips- bzw. Anhydrit-Gehalten (M.-%) erfolgt anschließend auf Grundlage der Massendifferenz nach dem ersten Glühschritt bei 350 °C (Gips $\rightarrow$ Halbhydrat $\rightarrow$ Anhydrit). Liegt eine positive Massendifferenz vor, dann gilt:

$$\text{Gips (M.-%)} = (\text{GS1 (\%)} \cdot 100) / 20,93 = \text{GS1 (\%)} \cdot 4,7778$$

Ist nur Gips in der Probe, sollte das Produkt aus dem ermittelten Gehalt von Gips (M.-%) und dem Oxid-% ($\text{CaO}_{\text{th_Gips}}$) dem Calcium-Oxidgehalt (RFA) entsprechen; gleiches gilt für das Produkt aus Gips (M.-%) $\cdot$ Oxid-% ($\text{SO}_{3\text{th_Gips}}$), das dem SO_3 -Wert aus der RFA entsprechen sollte.

Bei Minderbefunden ist neben Gips auch Anhydrit vorhanden und wird entsprechend aus den Differenzen der Oxidgehalte (RFA) und o. g. Tabellenwerte berechnet.

Darüber hinaus vorliegendes CaO wird – ggf. in Verbindung mit MgO und Fe_2O_3 – den Karbonaten zugerechnet. Je nach Befund der qualitativen XRD-Analytik wird/werden Calcit oder/und Dolomit (in der angegebenen molekularen Zusammensetzung) bilanziert.

Auf dieser Grundlage erfolgt eine erste mineralogische Gehaltsbilanzierung der Sulfate und Karbonate, zu der im zweiten, folgenden Schritt auch die übrigen diagnostizierten Minerale mit einbezogen und hinsichtlich ihrer Gehalte bilanziert werden.

Diese mineralogischen Gehaltsangaben werden schließlich in einer abschließenden, interaktiven Routine soweit verfeinert bis die Abweichungen zum zugrundeliegenden Hauptelement-Chemismus minimal – und damit die Wahrscheinlichkeit für die gesamte bilanzierte Mineralzusammensetzung am höchsten – ist, Evolutionsverfahren nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate (LINHARDT 2009).

4 Ergebnisse

4.1 Übersicht

Für die stratigraphischen Einheiten des Muschelkalk werden die folgenden, allgemein gültigen Abkürzungen verwendet:

Oberer Muschelkalk:	mo	untergliedert in mo1 bis mo3
Mittlerer Muschelkalk:	mm	untergliedert in mm1 bis mm3
Unterer Muschelkalk:	mu	untergliedert in mu1 bis mu3

Die Grenzen der Untereinheiten sind FREUDENBERGER (1996) bzw. in Teilen dieser Arbeit zu entnehmen. Die Bohrungen erschlossen in der Regel den unteren und mittleren Teil des Oberen Muschelkalk (mo1 und/oder mo1+2), den gesamten Mittleren Muschelkalk (mm1 bis mm3) sowie den oberen Teil des Unteren Muschelkalk (mu3). Die Detailgliederung des Mittleren Muschelkalk ist Kapitel 4.3.2 zu entnehmen.

Alle Bohrungen setzen im Oberen Muschelkalk an. Dieser wird im Untersuchungsgebiet zwischen 55 m und 70 m mächtig (FREUDENBERGER 1996). Die erbohrten (Rest)-Mächtigkeiten schwanken zwischen ca. 2 m und 56 m, bei einem Median von 37 m. Tabelle 4-1 gibt eine Übersicht über die erbohrten stratigraphischen Einheiten.

Tab. 4-1: Übersicht der erbohrten Einheiten

Bohrung	ET (m)	Quartär (m)	mo (m)	mm* ¹ (m)	mu (m)
Gips 1	110,8	3,4	41,1	58,6	7,7
Gips 2	124,0	3,6	43,7	66,3	10,4
Gips 3	60,4	≥ 2,7	≤ 2,1	45,2	10,4
Gips 4	97	3,5	39,3	47,7	6,5
Gips 5	104,7	13,6	19,0	45,4	26,7
Gips 6	75,2	3,0	6,4	46,2	19,6
Gips 7	113,5	2,7	49,6	47,1	14,1
Gips 8	116,2	≥ 1,5	≤ 40,7	61,5	12,5
Gips 9	71,0	3,7	2,2	45,8	19,3
Gips 10	113,0	3,0	56,1	49,2	4,7
Gips 11	122,0	3,7	27,2	45,2	45,9
Gips 12	100,0	1,5	15,8	64,5	18,2
Gips 13	105,1	2,5	37,0	≤ 63,7 ^{*2}	≥ 1,9
Summe	1312,9	48,3	380,2	686,4	197,9
Min	60,4	1,5	≤ 2,1	45,2	≥ 1,9
Max	124	13,6	56,1	66,3	45,9
Median	105,1	3,0	37,0	47,7	12,5

Anm.: Angaben in Meter, auf eine Nachkommastelle gerundet,

*1) Mittlerer Muschelkalk einschließlich Orbicularis-Schichten (s. Kap. Lithostratigraphie)

*2) in Bohrung Gips 13 ist die Liegendgrenze nicht eindeutig, sie könnte auch 1,5 m höher liegen

Als Bohrziel wurde das sichere Erreichen des Unteren Muschelkalk angesehen. Dementsprechend reichen die Bohrungen mehrheitlich zwischen 5 m und knapp 20 m (Median 12,5 m) in diese, häufig typisch flaserig-wellig ausgebildete, Gesteinsfolge. Nicht überall wird allerdings der typische Wellenkalk erreicht, wie z. B. in Bohrung Gips 13.

Der Mittlere Muschelkalk ist im Raum Bayreuth in den Bohrungen Gips 2 (66,3 m) und Gips 8 (61,5 m) mächtiger als zunächst prognostiziert (EMMERT 1977: incl. Orbicularis-Schichten ca. 57,6 m; WEINIG 1987: „über 50 m“). Die in EMMERT & STETTNER (1995) zitierte Forschungsbohrung Kirmsees (SE Weidenberg) erreicht einschließlich Orbicularis-Schichten ebenfalls knapp 64 m Mächtigkeit. Sie ist unverkarstet; die Sulfatlager liegen ausschließlich als Anhydrit vor.

Im Raum Coburg entsprechen die erbohrten (nur geringfügig verkarsteten) Mächtigkeiten (Gips 12: 64,5 m; Gips 13 $\leq$ 63,7 m) den prognostizierten von bis zu 70 m (FREUDENBERGER 1996).

4.2 Petrographische Beschreibung

Der **Obere Muschelkalk** ist als relativ einheitlicher, hellgrau-ockergelber bis gelbbrauner Kalkstein ausgebildet, getrennt von einzelnen geringmächtigen hell- bis dunkelgrauen Ton- und Mergelsteinlagen (dm- bis m-Bereich) (Abb. 4-1). Meist wechseln teils mächtige Schillkalke mit mehreren Dezimetern starken wellig-wulstigen Lagen und mergelig-tonigen Partien, Plattenkalksteine treten dann zurück (Abb. 4-2).



Abb. 4-1: Oberer Muschelkalk 1 (mo1), Bohrung Gips 7, Wötzelsdorf, von links oben bis rechts unten: 45 m - 48 m



Abb. 4-2: Oberer Muschelkalk 1 (mo1), Bohrung Gips 10, Fölschnitz, von links oben bis rechts unten: 30 m - 35 m

Nur vereinzelt gesellen sich sandige Kalksteine oder geringmächtige gelbgraue Sandsteine hinzu. Ausgesprochen glimmrig-siltige Partien werden bevorzugt im SE, insbesondere im Raum Bayreuth, allerdings nur abschnittsweise beobachtet. Eine Ausnahme stellt die Bohrung Gips 8 (Döberschütz) mit einer dünnbankigen Abfolge farblich (gelbbraun, dunkelgrau, schwarzgrau) abgesetzter Kalk-, Mergel, Ton- und Sandsteine dar.

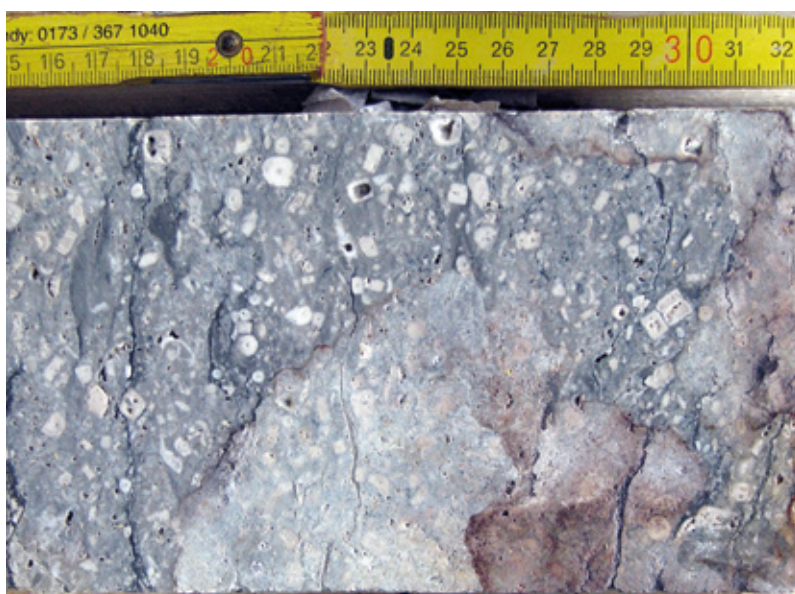


Abb. 4-3: Trochitenkalk des mo1, Bohrung Gips 8, Döberschütz, 26,1 m - 26,35 m

Entgegen der Erwartungen zeichnen sich die erbohrten Schichten des Oberen Muschelkalk 1 (mo1) nicht durch ein häufiges Auftreten von Trochitenbänken (Abb. 4-3) aus. Massive, aus Trochiten aufgebaute Bänke sind eher die Ausnahme.

Im **Mittleren Muschelkalk** treten petrographisch aushaltbare klastische und salinare Gesteine als Wechsellagerung aus mehreren Dezimetern bis Metermächtigen Horizonten auf. Je nach Überwiegen der einen oder anderen Komponente(n) finden sich vorwiegend Ton-, Tonmergel-, Kalk-, Kalkmergel-, Dolomit- und Dolomitmergelsteine mit z. T. sandigen Beimengungen von schwarz über hellgrau bis zu hellbraunen und graugelben Farbtönen. Davon abgehoben sind relativ reine, sulfatische Lagen aus Gips und Anhydrit mit hell-weißgrauen, teilweise auch hellbraunen Farben. Ihre Mächtigkeiten liegen im dm- bis m-Bereich. Gips bzw. Anhydrit können daneben auch als untergeordnete mineralische Komponenten („Imprägnationen“, ca. 10 – 20 M.-%) in allen erbohrten Gesteinen des Mittleren Muschelkalk auftreten.

Diese sulfathöffigen Gesteine werden für die folgende Betrachtung als „**weiter Sulfat-Bereich**“ zusammengefasst. Die aufgefundenen isolierten, aushaltbaren Sulfatlagen im Mittleren Muschelkalk, denen das alleinige rohstoffkundliche bzw. rohstoffwirtschaftliche Interesse gilt, unterscheiden sich in ihrer jeweiligen mineralogischen Zusammensetzung sowie in ihrer Anzahl und den Mächtigkeiten von Bohrung zu Bohrung. Ihr Auftreten im Bohrprofil wird als „**enger Sulfat-Bereich**“ definiert (Tab. 4-2; Beispiel: Abb. 4-4).

Tab. 4-2: Sulfat-Führung

Bohrungen	Gips 1	Gips 2	Gips 4	Gips 8	Gips 10	Gips 12	Gips 13
Enger Sulfat-Bereich (Teufen-m)	73 - 93	68 - 110	68 - 77	59 - 100	89 - 95	57 - 71	79 - 94
Maximale Einzelmächtigkeit (m)	4,25	4,35	1,35	4,45	2,30	13,35	13,00
Sulfat-Gesamtmächtigkeit (m)	13,10	22,50	3,95	17,35	2,75	13,35	13,00

Anm.: Der enge Sulfat-Bereich umfasst isolierte, reine Sulfat-Lagen ($\geq 0,1$ m). Die Sulfat-Gesamtmächtigkeit errechnet sich aus Einzelmächtigkeiten isolierter Lagen ohne Zwischenmittel

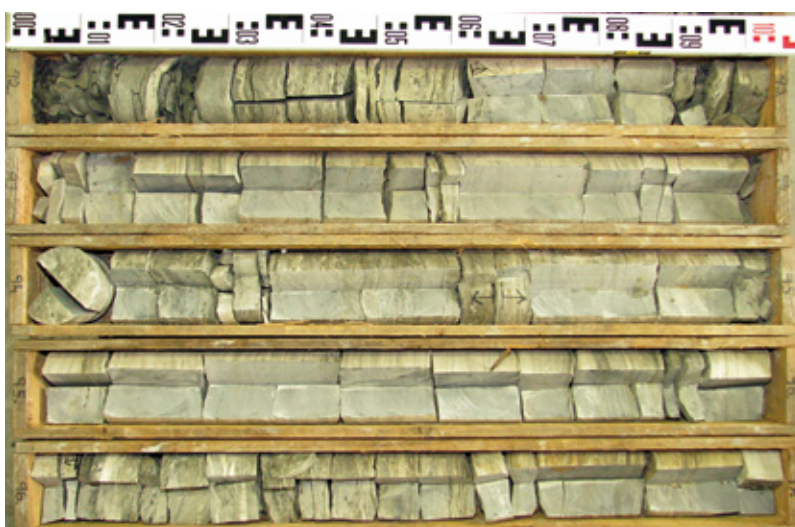


Abb. 4-4: „Enger Sulfat-Bereich“, Bohrung Gips 2, Bindlach, von links oben bis rechts unten: 92 m - 97 m

In den Bohrungen Gips 3, Gips 5, Gips 6, Gips 7, Gips 9 und Gips 11 sind keine Bereiche mit petrographisch isolierten Sulfatlagen ($\geq 0,1$ m) angetroffen worden. Dagegen wurden in den übrigen Bohrungen relativ homogene Sulfatlagen aus überwiegend Gips, aus Anhydrit und Gips oder aus überwiegend Anhydrit in maximalen Mächtigkeiten zwischen 4,45 m und 13,35 m im Verband mit o. g. pelitisch-karbonatisch geprägten Gesteinen erbohrt (Tabellen 4-2, 4-9 und 4-10).

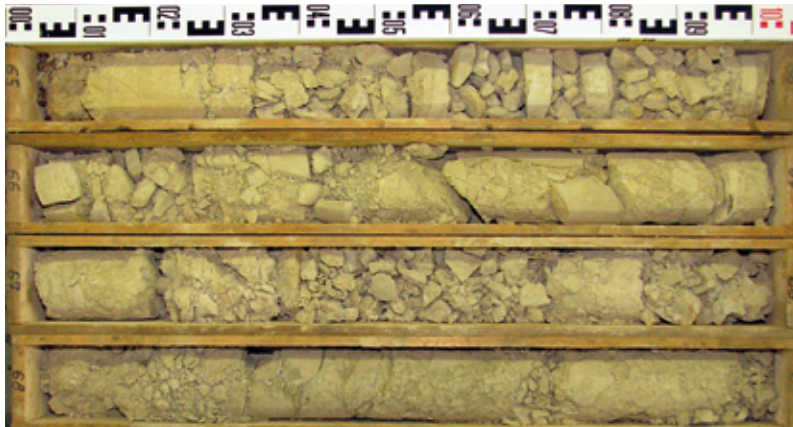


Abb. 4-5: Residualgesteine, Bohrung Gips 7, Wötzelsdorf, von links oben bis rechts unten: 65 m - 69 m



Abb. 4-6: Laugungsbrekzie (Detail) mit unvollständigem Kerngewinn, Bohrung Gips 9, Benk, 29 m - 29,3 m

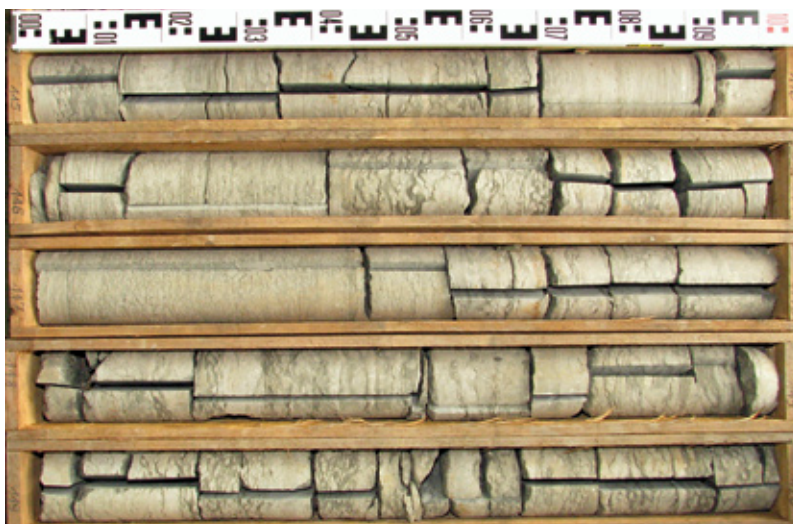


Abb. 4-7: Typischer Unterer Muschelkalk (Wellenkalk), Bohrung Gips 2, Bindlach, von links oben bis rechts unten: 115 m - 120 m

Bereiche mit gehäuft auftretendem Kernverlust (Karsthohlräume!) sind dokumentiert in den Bohrungen Gips 8 bis Gips 13, angetroffen überwiegend im Hangenden des jeweiligen engen Sulfatbereichs und zum Teil auch in ihn eingreifend. Im Fall der Bohrungen Gips 9 und Gips 11 kann angenommen werden, dass eine stattgefundene Verkarstung für die komplette Auslaugung des ehemaligen Sulfat-

bereichs verantwortlich ist. Die in den Bohrungen Gips 6, Gips 7, Gips 9, Gips 10 und Gips 11 angetroffenen Karbonatbrekzien (bis über 10 m mächtig) im mutmaßlichen Sulfatbereich „ersetzen“ offenbar die Salinargesteine (Sulfate) komplett (Bohrungen Gips 6, Gips 7, Gips 9 und Gips 11) oder „reduzieren“ die potenzielle, ehemalige Sulfatmächtigkeit (Bohrung Gips 10). Sie und die sie begleitenden Tonsteine werden als Residual- bzw. Restgesteine aus durch zirkulierende Grundwässer ausgelaugten Salinar- bzw. Klastitgesteinen interpretiert (Abb. 4-5, 4-6).

Der **Untere Muschelkalk** wurde überwiegend wieder als relativ homogener, mehrere Meter mächtiger Kalk- bzw. Dolomitstein von grauer bis dunkelgrauer Farbe angetroffen (Abb. 4-7). Bereichsweise können sich mehr tonig oder schluffig aber auch dolomitisch geprägte Bereiche „hinzugesellen“.

4.3 Lithostratigraphische Detailbetrachtung

4.3.1 Allgemeines

In den Tabellen der Teilkapitel 4.3 und 4.4 werden die Bohrungen nicht numerisch, sondern nach ihrer Lage von Nordwesten nach Südosten aufgelistet. Dies soll eine bessere Vergleichbarkeit von Mächtigkeiten, Lithologie und Verkarstung ermöglichen.

Lithochemisch lassen sich die Karbonate des Mittleren Muschelkalk im Untersuchungsgebiet (im Gegensatz zu Mainfranken: s. FREUDENBERGER 2009, BÜTTNER & SCHWARZMEIER 1997, BÜTTNER & PÜRNER 1998) nicht immer eindeutig als Dolomite ansprechen. Sie zeichnen sich als Kalksteine aus (Nachweis mit verdünnter, zehnpromzentiger Salzsäure; kräftiges Aufbrausen).

Tab. 4-3: Mineralogische Charakteristik der Karbonate

Nr.	Oberes Karbonat	Mittleres Karbonat	Unteres Karbonat	Übergangsbereich mm/mu	Wellenkalkfazies (mu3)
Gips 13	Kst	> Dst	Dst	> Dst	> Dst
Gips 12	Kst/Dst	> Kst	Dst	oben: Dst unten Kst	Kst
Gips 7	Kst	Kst	Kst	> Dst	Kst
Gips 11	Kst	Kst	Kst/Dst	Kst	Kst
Gips 6	Kst	Kst/Dst	Kst	Kst	Kst
Gips 5	Kst	>Kst	Dst	> Dst	Kst
Gips 10	Kst	Kst/Dst	Dst	Dst	Kst
Gips 4	oben: Kst unten Dst	Dst	Dst	Dst	Dst
Gips 3	Kst	Dst?	Dst	Dst	Dst
Gips 9	Kst	Kst?	Dst	Dst	Dst
Gips 2	Kst	Dst	Dst	Dst	Dst
Gips 1	Kst/Dst	Dst	Dst	Dst	Dst
Gips 8	Dst	Dst	Dst	Dst	Dst

Anm.: Kst: Kalkstein; Dst: Dolomitstein; ?: stratigraphische Zuordnung unsicher, da Residualgestein

Diese Tendenz wird auch durch die quantitative Mineralogie (Kapitel 4.5) bestätigt. Daher werden diese Schichten (im Gegensatz zur Nomenklatur in der GK500, FREUDENBERGER 1996) im Folgenden nicht als „Dolomite“ sondern verallgemeinert als „**Karbonate**“ bezeichnet. In die Karbonate sind immer wieder mergelige Partien (mit dann ebenfalls kalkiger oder dolomitischer Betonung) eingeschaltet.

Generell ist festzustellen, dass innerhalb des Mittleren Muschelkalk die dolomitische Betonung vom Hangenden zum Liegenden sowie im Raum Kronach – Bayreuth von NW nach SE zunimmt. Im Umfeld von Bayreuth (SE Trebgast) ist daneben auch die Wellenkalkfazies des mu3 dolomitisiert. Tabelle 4-3 zeigt die mineralogische Charakteristik der Karbonate.

Ein weiteres nomenklatorisches Problem stellen die (häufig ausgelaugten) Sulfate dar. Nach der Bezeichnung der GK500 (FREUDENBERGER 1996) sind im Untersuchungsraum ein „Oberes Sulfat“, ein „Unteres Sulfat“ und möglicherweise auch ein „Basis-Sulfat“ zu erwarten. Diese Bezeichnungen lassen gerade im rohstoffgeologischen Kontext mächtige, potenziell gewinnbare Sulfathorizonte erwarten. Dies ist jedoch, selbst in nicht gelaugten Partien nicht immer der Fall. Vielmehr wechseln Sulfat- mit Karbonat-, teilweise auch mit Mergelsteinen miteinander ab. Daher wird im Folgenden statt des Wortes „Sulfat“ der verallgemeinernde Begriff „Salinar“ verwendet.

4.3.2 Lithostratigraphische Gliederung

Nordostbayern zählt zum Gebiet der sogenannten „anhydritischen Entwicklung“ des Mittleren Muschelkalk. Die Karbonatgesteine werden hier durch teils bauwürdige Sulfatlager unterbrochen, wobei die Sulfate z. T. bereits über den Orbicularis-Schichten einsetzen (WEINIG 1987).

Mit Hilfe des Wechsels von Karbonat- und Sulfatgesteinen wird auf die hier beschriebenen Bohrungen in Anlehnung an FREUDENBERGER (1996) folgende Gliederung übertragen:

Oberes Karbonat	mm3
Oberes Salinar und Mittleres Karbonat	mm2
Unteres Salinar und Unteres Karbonat	mm1

Die Abgrenzung des Mittleren Muschelkalk zum Hangenden und Liegenden erfolgte nach lithologischen Kriterien, Gefügemerkmalen und der Gesteinsfarbe. Darüber hinaus wurde die Fossilführung mitberücksichtigt.

4.3.3 Schichtbeschreibung nach lithologischen Merkmalen

4.3.3.1 Unterer Dolomit (mm1) mit Übergang zum Unteren Muschelkalk (fraglicher mu3)

Der Übergang zum Unteren Muschelkalk ist in vielen Bohrungen fließend. Insbesondere innerhalb eines 1,5 m - 8 m mächtigen Schichtpaketes wechseln sich karbonatische mit mergeligen Partien immer wieder ab (Abb. 4-8). Teilweise sind bis in größere Tiefen sulfatische Lagen (von mehreren Dezimetern Mächtigkeit) eingeschaltet (z. B. Gips 1, Gips 2, Gips 4, Gips 8). Eine strikte Abgrenzung zwischen dem Unteren Karbonat des Mittleren Muschelkalk und den dolomitischen Mergeln der Orbicularis-Schichten (des Unteren Muschelkalk) ist hier nur sehr schwer möglich. Den Autoren erscheint es daher angebracht, diesen Übergangsbereich zusammenzufassen. Ein Konglomerat, wie es in Mainfranken an der Untergrenze des Unteren Muschelkalk häufig beschrieben wird, konnte nicht festgestellt werden. Nur lokal treten in diesem Übergangsbereich linsige Aufarbeitungsbereiche auf (z. B. Gips 12).

Demgegenüber bezeichnen EMMERT UND WEINELT (1962) und EMMERT (1977) auf den Blattgebieten Marktschorgast und Bayreuth einen 6 m - 8 m mächtigen Bereich im obersten Unteren Muschelkalk als „Orbicularis-Schichten“. Dieser Sachverhalt konnte durch die vorliegenden Gips-Bohrungen nicht bestätigt werden. Vielmehr scheint das Untere Karbonat mit den Orbicularis-Schichten zu verzahnen (unterschiedliche Fazies-Bereiche). Ähnliche Beobachtungen machten bereits BÜTTNER & STÜRMER (2006) im nördlichen Unterfranken. Daneben sind auch innerhalb des Karbonats immer wieder mehrere Dezimeter mächtige Partien mergelig ausgebildet. Darüber hinaus schwankt trotz hoher Spannweiten der Einzelmächtigkeiten die Gesamtmächtigkeit beider Schichtpakete relativ konstant um 9 m - 12 m (siehe Tab. 4-4).

Tab. 4-4: Abgrenzung zum Unteren Muschelkalk, Mächtigkeiten der Schichtglieder

Nr.	Unteres Karbonat	Übergangsreich mm/mu	Gesamt-mächtigkeit	Bemerkung / Grenzziehung
Gips 13	5,2	4,6	9,8	Farbgrenze
Gips 12	7,4	2,9	10,3	linsige Aufarbeitung, graduelle Farbveränderung, kaum abgrenzbar
Gips 7	5,2	5,2	10,4	lithologischer Wechsel (→ mergeliger); aber zum Liegenden z.T. massiger !
Gips 11	3,3	8,4	11,7	lithologischer Wechsel; → feinschichtiger
Gips 6	9,2	1,8	11,0	Farbgrenze, sonst kaum Unterschied
Gips 5	3,1	6,3	9,4	lithologischer Wechsel (→ mergeliger); aber im Liegenden wenige massige Karbonate !
Gips 10	3,3	5,6	8,9	lithologischer Wechsel (→ mergeliger); aber im Liegenden wenige massige Karbonate !
Gips 4	5,2	5,8	11,0	gradueller lithologischer Wechsel (→ mergeliger); geringer Farbwechsel (→ grau); in tieferen Partien, aber wieder massig-karbonatisch u. Sulfatlage
Gips 3	2,7	6,9	9,6	zunehmend mergeliger
Gips 9	3,1	7,4	10,5	zunehmend mergeliger
Gips 2	2,5	7,9	10,4	zunächst zunehmend mergeliger, aber im Liegenden wenige massige Karbonate und ca. 0,4 m starke Sulfatlage
Gips 1	3,8	7,0	10,8	lithologischer Wechsel (→ mergeliger); aber im Liegenden wenige massige Karbonate u. Sulfate
Gips 8	3,4	7,9	11,3	lithologischer Wechsel (→ mergeliger); aber im Liegenden wenige massige Karbonate u. Sulfate

Anm.: Angaben in Metern, auf eine Nachkommastelle gerundet

Der Untere Muschelkalk (im engeren Sinne, ohne Orbicularis-Schichten) beginnt in vielen Bohrungen mit einer, teils sehr geringmächtigen, „kristallinen“ Karbonatbank. Diese stellt möglicherweise ein Äquivalent der obersten Schaumkalkbank dar. In einigen Bohrungen fehlt jedoch ein solcher Horizont. Die eben geschichteten dolomitischen Mergel gehen dann direkt in die „Wellenkalkfazies“ über.



Abb. 4-8: Übergangsbereich mm/mu, Bohrung Gips 11, Gössersdorf, von links oben nach rechts unten: 64 m - 73 m: ab 64,5 m: Unteres Karbonat, ab 67,8 m Orbicularis-Schichten

4.3.3.2 Profilabschnitt Oberes und Unteres Salinar mit Mittlerem Karbonat (mm2 und oberer Teil von mm1)

In fast allen Bohrungen lässt sich ein Oberes und ein Unteres Salinar ausweisen, das von Karbonaten unterbrochen wird. Die Sulfatgesteine der Salinarbereiche sind z. T. sehr stark gelaugt, teils nur relik-tisch erhalten. In solchen Fällen beschränken sich die ehemaligen Sulfatlager auf tonig-mergelige Lau-gungsbrekzien (s. Abb. 4-5, 4-6) mit unregelmäßig eingeschalteten karbonatischen Komponenten. Darüber hinaus zeichnen sich einige Profilabschnitte durch deutliche Kernverluste aus. Nur in den

Bohrungen Gips 13, Gips 12, Gips 2, Gips 1 und Gips 8 sind zumindest größere Teile der Sulfatlager noch fast ungelaugt erhalten geblieben.

Das Mittlere Karbonat ist teils als (dolomitischer) Kalkstein, teils als Dolomit ausgebildet (s. Tab. 4-3). Gelegentlich sind mergelige Lagen eingeschaltet. Bei stark gelaugtem Oberen Salinar ist auch das Mittlere Karbonat stark verkarstet. Ein Äquivalent des Ooliths im Mittleren Karbonat, der in Mainfranken Leitfunktion besitzt, wurde nur im Raum Coburg festgestellt (Gips 13, Gips 12).

Tab. 4-5: Mächtigkeiten im Profilabschnitt Oberes und Unteres Salinar mit Mittlerem Karbonat

Nr.	Oberes Salinar	Mittleres Karbonat	Unteres Salinar	Gesamt-mächtigkeit	Verkarstungsgrad
Gips 13	19,3	7,2	17,9	44,4	bis auf untere Teile des Mittl. Karbonats und des Unteren Salinars verkarstet
Gips 12	16,5	6,2	19,5	42,2	bis auf untere Teile des Mittl. Karbonats und des Unteren Salinars verkarstet
Gips 7	13,9	4,0	6,1	24,0	gesamter Profilabschnitt stark verkarstet
Gips 11	12,0	≥ 2,7	8,7	23,4	gesamter Profilabschnitt stark verkarstet
Gips 6	14,7	3,4	7,3	25,4	gesamter Profilabschnitt stark verkarstet
Gips 5	13,6	3,0	9,6	26,2	gesamter Profilabschnitt stark verkarstet
Gips 10	13,2	2,7	14,8	30,7	teilweise stark gelaugt
Gips 4	8,0	2,7	11,9	22,6	gesamter Profilabschnitt stark verkarstet
Gips 3	15,2	0,5	10,0	25,7	gesamter Profilabschnitt stark verkarstet;
Gips 9	nb	nb	nb	25,3	Mittleres Karbonat nicht deutlich, viele Kernverluste
Gips 2	25,5	3,6	18,0	47,1	Oberes Salinar nur gering gelaugt, Mittl. Karbonat u. Unteres Salinar kaum gelaugt; Mittl. Karbonat leicht sulfatisch
Gips 1	14,4	3,2	20,3	37,9	Oberes Salinar gelaugt, Mittl. Karbonat u. Unteres Salinar kaum gelaugt
Gips 8	22,6	3,9	15,4	41,9	nur oberster Teil des Oberen Salinars gelaugt, Unteres Salinar teils karbonatisch
Spannweiten	8 - 25,5	<1 – >7	6 - 20,3	22 - 47	

Anm.: Mächtigkeitsangaben in Metern, auf eine Nachkommastelle gerundet

Tabelle 4-5 gibt einen Überblick über die Mächtigkeiten und über den Verkarstungsgrad dieses Profilabschnitts.

Wie Tabelle 4-5 zeigt, erreicht dieser Profilabschnitt nur selten seine ungelaugte Ursprungsmächtigkeit. Sie beträgt für das Obere Salinar etwa 26 m, für das Untere etwa 20 m. Die Mächtigkeit des kaum verkarsteten Mittleren Karbonats erreicht im Nordwesten (Raum Coburg) ca. 6 m - 7,5 m, im Südosten (Raum Kronach – Bayreuth) in der Regel ca. 2,7 m bis > 4 m. In den benachbarten Bohrungen Gips 3 und Gips 9 ist aufgrund der intensiven Verkarstung (z. T. hoher Kernverlust) eine Ausweisung des Mittleren Karbonats kaum bzw. nicht möglich. Die primäre unverkarstete Gesamtmächtigkeit dieses Profilabschnitts dürfte zwischen ≤ 53 m im Raum Coburg und ca. 50 m im Raum Kronach – Bayreuth betragen.

Südöstlich von Bayreuth ist in Bohrung Gips 8 die sulfatische Ausbildung durch die karbonatische ersetzt.

4.3.3.3 Oberes Karbonat (mm3)

Der Wechsel vom Oberen Muschelkalk zum Mittleren Muschelkalk zeichnet sich häufig durch einen Farbwechsel von grau nach graugelb bzw. gelb aus. Im Oberen Karbonat (mm3) treten häufig dickbankige, massige Kalk- bzw. Dolomitsteine unter Wulstkalken oder Plattenkalken auf. Gelegentlich ist an der Grenze eine erosive Lage ausgebildet. Im untersten mo1 wurden teilweise grünliche Lagen mit fraglicher Glaukonitführung beobachtet.

Der mm3 ist zwar meist fossilfrei, gelegentlich können jedoch auch hier einzelne Schilllagen festgestellt werden. In einigen Bohrungen vollzieht sich der Übergang fließend, innerhalb eines 2 m - 3 m mächtigen Bereiches.

Tab. 4-6: Mächtigkeiten des Oberen Karbonats

Nr.	Oberes Karbonat	Bemerkung
Gips 13	9,5	z. T. verkarstet
Gips 12	12	mergelig, z. T. stark verkarstet, zum Liegenden Kernverluste
Gips 7	12,7	
Gips 11	10,1	
Gips 6	9,9	
Gips 5	9,8	z. T. stark verkarstet, verlehmt
Gips 10	9,6	mergelig, z. T. stark verkarstet, fließender Übergang zum Liegenden
Gips 4	14,2	fließender Übergang zum Liegenden
Gips 3	9,9	stark mergelig, z. T. stark verkarstet, stückig
Gips 9	ca. 10	stark verkarstet
Gips 2	8,9	
Gips 1	10,0	teilweise mergelig, stückig
Gips 8	≥ 8,3	
Spannweiten	≥ 8,3 – 14,2 Mittelwert 10,5	

Anm.: Mächtigkeitsangaben in Metern, auf eine Nachkommastelle gerundet

Das teils mergelige Obere Karbonat schließt den Mittleren Muschelkalk zum Hangenden hin ab. Seine Mächtigkeit beträgt im Untersuchungsgebiet im Mittel ca. 10,5 m. Es handelt sich hierbei um teils mergelführende (dolomitische) Kalksteine. Lediglich in der Bohrung Gips 8 wurde im gesamten Oberen Karbonat Dolomitstein angetroffen (s. Tab. 4-3). Teilweise ist das Obere Karbonat stark verkarstet und in den Bohrungen dann nur noch stückig-reliktisch erhalten. In solchen Fällen ist nicht auszuschließen, dass auch das Obere Karbonat im nicht ausgelaugten Zustand ursprünglich Sulfat führte, wie das z. B. EMMERT (1977) aus der Bohrung Döhlau/Oschenberg beschreibt; dort wird dieser Profilausschnitt ca. 11,5 m mächtig.

Insbesondere in den benachbarten Bohrungen Gips 10 und Gips 4 ist der Übergang zum liegenden Oberen Salinar, aufgrund dessen dann teils karbonatischer Ausbildung, fließend. In allen anderen Fällen erfolgte eine lithostratigraphische Abgrenzung (Karbonat zu Laugungsbrekzie und/oder

mächtigerem Sulfatlager). Tabelle 4-6 gibt einen Überblick über die Mächtigkeiten dieses Schichtgliedes in den Bohrungen Gips 1 – Gips 13.

Im Oberen Karbonat treten in unterschiedlichen Niveaus meist linsenförmige Hornsteinlagen auf (Abb. 4-9). Teilweise handelt es sich um diffuse Kieselsäure-Imprägnationen, die sich dann nur durch eine größere Gesteins Härte auszeichnen. Hornsteinlagen wurden in jeweils benachbarten Bohrungen nördlich Coburg (Gips 13, Gips 12), östlich Kronach (Gips 7, Gips 11) und östlich Bayreuth (Gips 1, Gips 8) beobachtet. Des Weiteren kommen insbesondere im Oberen Karbonat immer wieder löchrig poröse Partien vor, zumindest z. T. handelt es sich dabei um Oolithe.



Abb. 4-9: (links-oben): Hornsteinlagen, Gi. 13, Ahlstadt, 43,3 m - 43,5 m; (rechts-oben) Hornsteinlagen, Gi. 11, Gössersdorf, 34,7 m; (unten) Hornsteinlagen, Gi. 1, Ützdorf/Döhlau, 45,6 m und 49,8 m

4.3.4 Gesamtmächtigkeit des Mittleren Muschelkalk

Aus den im Punkt 4.3.3 ermittelten Teilmächtigkeiten ergeben sich für den Mittleren Muschelkalk (einschließlich der Orbicularis-Schichten) folgende Gesamtmächtigkeiten (Tab. 4-7):

- bei geringer bis mäßiger Verkarstung: 58,7 m - 66,3 m; Ø 63 m
- bei mäßiger bis weit fortgeschrittener Verkarstung: 45,2 m - 49,3 m; Ø 46,8 m

Gegenüber den Betrachtungen früherer Autoren (insbesondere EMMERT & WEINELT 1962, EMMERT 1977, FREUDENBERGER 1996) wären von diesem Betrag die Mächtigkeiten der sich hier mit dem Unteren Karbonat verzahnenden Orbicularis-Schichten zu reduzieren. Zur besseren Vergleichbarkeit der Literaturdaten wurde diese Reduktion, individuell für jede Bohrung, in Tabelle 4-7 (rechte Spalte) vorgenommen. Somit ergibt sich für den nur mäßig verkarsteten Mittleren Muschelkalk im Raum Coburg eine Mächtigkeit von ca. 59 m - 62 m sowie im Raum Bayreuth von ca. 52 m - 58,5 m. Eine derart hohe

Mächtigkeit (ca. 58 m) beschreiben EMMERT & STETTNER (1995) von der Forschungsbohrung Kirmsees (Bl. 6036 Weidenberg). Dort wurde der Mittlere Muschelkalk zwischen ca. 146 m und ca. 204 m Tiefe durchbohrt.

Der stark verkarstete Mittlere Muschelkalk weist dagegen nur Restmächtigkeiten von ~37 m - 44,4 m auf.

Tab. 4-7: Mächtigkeiten des Mittleren Muschelkalk

Nr.	Oberes Karbonat	Oberes u. Unteres Sulfat mit Mittlerem Karbonat	Unteres Karbonat mit „Orbicularis-Schichten“	Gesamtmächtigkeit mit „Orbicularis-Schichten“	Gesamtmächtigkeit ohne „Orbicularis-Schichten“
Gips 13	9,5	44,4	9,8	63,7	59,1
Gips 12	12	42,2	10,3	64,5	61,6
Gips 7	12,7	24,0	10,4	47,1	41,9
Gips 11	10,1	23,4	11,7	45,2	36,8
Gips 6	9,9	25,3	11,0	46,2	44,4
Gips 5	9,75	26,2	9,4	45,3	39,0
Gips 10	9,6	30,7	8,9	49,2	43,5
Gips 4	14,2	22,5	11,0	47,7	41,9
Gips 3	9,9	25,7	9,6	45,2	38,3
Gips 9	ca. 10	25,3	10,5	45,8	38,4
Gips 2	8,9	47,0	10,4	66,3	58,4
Gips 1	10,0	37,8	10,8	58,6	51,6
Gips 8	≥ 8,3	41,9	11,3	61,5	53,6

Anm.: Mächtigkeitsangaben in Metern, auf eine Nachkommastelle gerundet

Da zumindest alle Bohrungen, wenn auch in beschränktem Maße, Verkarstungserscheinungen aufweisen, kann auch nach Abzug der Orbicularis-Schichten im Raum Bayreuth von primären Mächtigkeiten um 60 m ausgegangen werden. Dieser Wert ist etwas höher als bislang angenommen. Generell ist eine geringe Abnahme der unverkarsteten Mächtigkeit zwischen dem Raum Coburg und dem Raum Bayreuth festzustellen.

4.4 Einfluss der Verkarstung auf die Tiefenlage des Sulfatlagers

Wie bereits in den vorangegangenen Teilkapiteln aufgezeigt, sind die Sulfatlager in einer Vielzahl von Bohrungen stark gelaugt. Insofern stellte die Wahl der Bohrpunkte einen Kompromiss dar zwischen erwarteter maximaler Vergipsung und vertretbarer Verkarstung (Laugung). Denn wie die Forschungsbohrung Kirmsees zeigt, ist bei einer Tiefenlage des Sulfats weit unter dem jeweiligen Vorfluterniveau kein bedeutsamer Gipsanteil zu erwarten. Letztendlich stellt sich jedoch die Frage, ob die angetroffene Laugung eher von lokalen Gebirgsdurchlässigkeiten (z. B. infolge Klüftung, Verwerfungen) oder nur von der Tiefenlage des Sulfatlagers abhängt.

Während das Untere Salinar immerhin in 7 Bohrungen in Tiefenlagen der Obergrenze zwischen 50 m und 90 m angetroffen wurde, war das Obere Salinar nur in 2 Bohrungen im Bayreuther Raum (Gips 2, Gips 8) mit nennenswerten Mächtigkeiten in Tiefenlagen der Obergrenze zwischen 50 m und 60 m erhalten (Abb. 4-10). Hier sind teilweise karbonatische Lagen in die Sulfate eingeschaltet, die möglicher-

weise die Verkarstung erschweren. Denn die Verkarstung verläuft im Karbonatgestein wegen geringerer Löslichkeit um ein Vielfaches langsamer als im Sulfatgestein (BÖGLI 1978, BÜTTNER 2006). Da die Verkarstung zumeist vom Hangenden zum Liegenden voranschreitet, ist das Obere Salinar in der Regel stärker gelaugt als das Untere. Die gipsgesättigten Wässer im Hangenden, die mergeligen und karbonatischen Residualbrekzien des Oberen Salinars sowie das Mittlere Karbonat verzögern dann die Laugung des Unteren Salinars.

In Tabelle 4-8 sind daher die Tiefenlagen der jeweiligen Salinar-Oberkante den zusammenhängenden Mächtigkeiten > 0,5 m gegenübergestellt. Sulfatlagen von < 0,5 m blieben unberücksichtigt (Tab. 4-8 und Abb. 4-10). In Tabelle 4-8 sind Mächtigkeiten > 9 m blau, > 2 m grün markiert. Abbildung 4-10 lässt einen deutlichen Zusammenhang zwischen der erhalten gebliebenen Sulfatmächtigkeit und der Tiefenlage der jeweiligen Salinar-Obergrenze erkennen. Überall dort, wo die Oberkante des Salinars weniger als 50 m Überdeckung aufweist, ist das Salinar (bis auf wenige unbedeutende Reste) gelaugt.

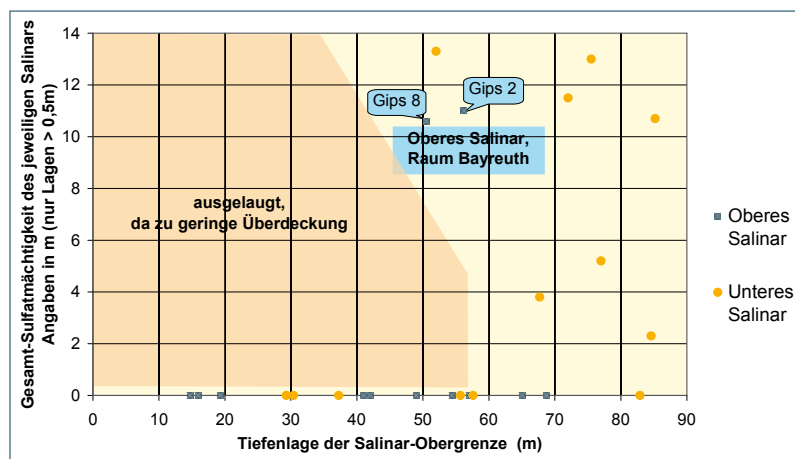


Abb. 4-10: Gegenüberstellung Tiefenlage/Sulfatmächtigkeit

Nur in zwei Bohrungen tritt das Phänomen auf, dass das Untere Salinar trotz hoher Überdeckung (bis Oberkante > 80 m!) nur noch geringe Restmächtigkeiten aufweist oder fast vollständig gelaugt ist (Gips 7, Gips 10). Dies ist hier vermutlich auf sehr gute Gebirgsdurchlässigkeiten infolge Klüftung oder Bruchtektonik und auf dadurch bedingte fortgeschrittene Verkarstung (Versturz) zurückzuführen.

Bei bereits (teil-)gelaugtem Oberen Salinar beträgt die Restmächtigkeit des Mittleren Muschelkalk ca. 25 m (s. Kap. 3), dementsprechend müsste bei der Erkundung des Unteren Salinars die Restmächtigkeit des Oberen Muschelkalk bei mindestens 35 m - 45 m liegen, also knapp unter dem Niveau der Cycloidesbank (s. EMMERT 1977). Für die Erkundung des Oberen Salinars wären Ansatzpunkte nahe der Grenze Oberer Muschelkalk/Unterer Keuper erfolgversprechend. Aufgrund der hier gemachten Beobachtungen erscheinen künftige rohstoffgeologische Erkundungsbohrungen in den Mittleren Muschelkalk im Raum Coburg-Bayreuth nur bei einer Mindestüberdeckung von 60 m - 70 m über dem jeweils zu erkundenden Salinar als aussichtsreich hinsichtlich einer komplett erhaltenen Sulfatführung.

4.5 Sulfat-Rohstoffe – mineralogische Bewertung

Die mineralogischen Untersuchungen zeigen, dass die Sulfate Gips und Anhydrit in unterschiedlichen Teufenlagen des engen Sulfatbereiches (s. Kap. 4.2) als jeweils dominierendes Mineral auftreten können (Tab. 4-9, 4-10). Die instrumentell-analytischen Befunde decken sich dabei nicht immer mit der makroskopischen Erstsprache der Bohrkerne, was auf die schwierige visuelle Differenzierbarkeit beider Sulfatminerale hinweist.

Tab. 4-8: Gegenüberstellung Tiefenlage der Salinar-Oberkanten („Top-Salinar“) – Mächtigkeit des zusammenhängenden Sulfatlagers

Bohrung Nr.	Top Oberes Salinar	Erhaltung des gesamten Salinars	Gesamtmächtigkeit von Gips-Anhydritlagen > 0,5 m (zusammenhängend)	Top Unteres Salinar	Erhaltung des gesamten Salinars, Besonderheiten	Gesamtmächtigkeit von Gips-Anhydritlagen > 0,5 m (zusammenhängend)
Gips 13	49	stark gelaugt, viel KV	0	75,5	nur oben stark verkarstet, KV, sonst massig	13,0: massig
Gips 12	29,3	stark gelaugt, KV + Residualgesteine	0	52,0	nur z.T. verkarstet	13,3
Gips 7	65	gelaugt; Residualgestein	0	82,9	stark gelaugt, teils karbonatisch	0
Gips 11	41	gelaugt; Residualgestein, KV!	0	55,7	stark gelaugt, viel KV!	0
Gips 6	19,3	gelaugt; Residualgestein	0	37,25	stark gelaugt	0
Gips 5	42	gelaugt; Residualgestein	0	57,6	stark gelaugt	0
Gips 10	68,7	gelaugt, viel KV, schwach karbonatisch	0	84,6	stark gelaugt, viel KV!	2,3: 1 Lage, ver- stürzt (+ 1 Lage 0,45)
Gips 4	57	gelaugt	0	67,7	teils gelaugt	3,8: 3 Lagen: 1,35, 0,7, 1,7; Mergelzwl. bzw. Laugung
Gips 3	14,7	vorw. Residualgesteine, sehr wenig Karbonate	0	30,4?	sehr stark gelaugt, keine eindeutige Zuordnung möglich	0
Gips 9	15,9	vorw. Residualgesteine, viel KV	0	29,3?	stark verkarstet: viel KV	0
Gips 2	56,2	nur teils gelaugt, schwach karbonatisch	11,0:	85,2	massig, kaum gelaugt	10,7: (+ 0,45 sulfatischer Mergelstein):
			2 Lagen: 5,7 u. 5,3			5 Lagen:
						~5 0,7, 2,4, ~2, 0,9
Gips 1	54,4	gelaugt	0	72,0	nur zuoberst gelaugt	11,5: 3 Lagen: 0,7, 9,1, 1,7 (mit geringer Tonstein-Zwl. (reduziert))
Gips 8	50,5	nur zuoberst teil-gelaugt; unteres Lager mit zwei geringmächtigen dolomitischen Zwl. (reduziert)	10,6: 2 Lagen: 5,8 u.4,8;	77,0	kaum gelaugt, aber: teils karbonatisch, mergelig	5,2: 2 Lagen: 4,5, 0,7

Anm.: KV: Kernverlust; Zwl.: Zwischenlagen

Mächtigkeit > 9 m
Mächtigkeit > 2 - < 9 m

Tab. 4-9: Sulfat-Zusammensetzung: Einzel- u. Gesamtmächtigkeiten, integrierte Sulfat-/Zwischenmittel-Kennzahlen der engen Sulfatbereiche

Bohrungen	Gips 1	Gips 2	Gips 4	Gips 8	Gips 10	Gips 12	Gips 13
Enger Sulfat-Bereich (Teufen-m)	73 - 93	68 - 110	68 - 77	59 - 100	89 - 95	57 - 71	79 - 94
Max. Einzelmächtigkeit Sulfat (m)	4,25	4,35	1,35	4,45	2,30	13,35	13,00
Sulfat-Gesamtmächtigkeit (m)	13,10	22,50	3,95	17,35	2,75	13,35	13,00
Anzahl Sulfat-Lagen	10	18	4	18	2	1	1
Zwischenmittel Mächtigkeit (m) des engen Sulfatbereiches	6,40	18,90	3,20	22,10	2,75	0,00	0,00
Verhältnis Sulfat / Zwischenmittel	1 : 0,49	1 : 0,84	1 : 0,81	1 : 1,27	1 : 1,00	1 : 0,00	1 : 0,00

Anm.: Enger Sulfat-Bereich umfasst isolierte, reine Sulfat-Lagen; Sulfat-Gesamtmächtigkeit errechnet aus Einzelmächtigkeiten isolierter Lagen ohne Zwischenmittel; Angabe Zwischenmittel-Mächtigkeit jeweils zwischen oberster und unterster Lage des engen Sulfatbereiches

In Bohrung Gips 1 wird der hangende, enge Sulfatbereich (Teufe ca. 73 m bis 93 m) von Gips dominiert, zwischen ca. 82 m und 86 m Teufe überwiegt Anhydrit, worauf sich im Liegenden (zwischen ca. 86 m und 89 m Teufe) Gips wieder als dominierendes Sulfatmineral einstellt.

In Bohrung Gips 2 ist Anhydrit auf Grundlage der untersuchten Proben im engen Sulfatbereich das dominierende Sulfat, unterbrochen von einer Gips-Einschaltung zwischen ca. 75 m und 77 m Teufe.

Die Bohrung Gips 8 zeigt ähnliche Anhydrit-Dominanz (zwischen ca. 59 m und 100 m Teufe), Gips-Einschaltungen treten hier zwischen ca. 69 m und 72 m sowie zwischen ca. 89 m und 98 m Teufe auf.

Von den Bohrung Gips 4 und Gips 10 liegen keine Proben bzw. Untersuchungsergebnisse vor.

Im untersuchten Bereich der Bohrung Gips 12 (zwischen ca. 57 m und 71 m Teufe) ist Gips wieder das dominierende Sulfatmineral, eine geringmächtige Anhydrit-Einschaltung liegt zwischen ca. 60 m und 61 m Teufe.

In Bohrung Gips 13 bestätigen die Proben des untersuchten Bereiches (zwischen ca. 79 m und 94 m Teufe) Gips als durchgängig dominierendes Sulfatmineral.

Je nach untersuchtem Streckenabschnitt und Größe der Probe (i. d. R. 0,1 m lange Schlitzproben) sind deswegen die Verhältnisse von Gips zu Anhydrit aller Bohrungen sehr variabel und können Verhältnisse von ca. 90 / 1 bis 1 / 90 (M.-% / M.-%) annehmen. Davon abhängig sind die integrierten Verhältnisse in den jeweiligen engen Sulfatbereichen, die je nach Einzelmächtigkeiten der Lagen, ihren Zusammensetzungen und untersuchten Probengrößen (i. d. R. 1 m bis 3 m lange Schlitzproben) Verhältnisse zwischen ca. 23 / 56 bis ca. 78 / 6 annehmen (Gips zu Anhydrit, als M.-% / M.-%).

Tab. 4-10: Sulfat-Zusammensetzung: Anzahl und Mächtigkeit der Sulfatlagen sowie integrierte Gips-Anhydritverhältnisse bezogen auf Gesamtmächtigkeit der engen Sulfatbereiche

Bohrungen	Gips 1	Gips 2	Gips 4	Gips 8	Gips 10	Gips 12	Gips 13
Anzahl Sulfat-Lagen	10	18	4	18	4	1	1
Sulfat-Mächtigkeit (m) in Lage (x)	1: 0,15 m 2: 0,55 m 3: 0,70 m 4: 0,35 m 5: 0,60 m 6: 3,95 m 7: 0,90 m 8: 4,25 m 9: 0,65 m 10: 1,00 m	1: 2,80 m 2: 0,80 m 3: 0,60 m 4: 0,47 m 5: 0,63 m 6: 4,35 m 7: 0,15 m 8: 1,25 m 9: 0,70 m 10: 2,35 m 11: 3,45 m 12: 1,30 m 13: 0,10 m 14: 0,30 m 15: 2,00 m 16: 0,15 m 17: 0,90 m 18: 0,20 m	1: 0,20 m 2: 1,35 m 3: 0,70 m 4: 1,70 m	1: 3,35 m 2: 0,90 m 3: 1,60 m 4: 0,25 m 5: 0,45 m 6: 3,25 m 7: 0,85 m 8: 0,40 m 9: 0,10 m 10: 1,10 m 11: 0,60 m 12: 1,25 m 13: 0,30 m 14: 1,20 m 15: 0,30 m 16: 0,30 m 17: 0,65 m 18: 0,50 m	1: 0,45 m 2: 2,30 m	1: 13,35 m	1: 13,00 m
Mineralogie (Gips / Anhydrit, %) in Lage (x)	1: 60 / 0 2: 60 / 0 3: 94 / 1 4: (?) 5: (?) 6: 90 / 3 7: 15 / 60 8: 3 / 85 9: 89 / 10 10: (?)	1: (?) 2: (?) 3: 3 / 92 4: (?) 5: (?) 6: 38 / 55 7: (?) 8: (?) 9: (?) 10: (?) 11: 24 / 61 12: 7 / 79 13: (?) 14: (?) 15: (?) 16: (?) 17: (?) 18: (?)	1: (?) 2: (?) 3: (?) 4: (?)	1: (?) 2: (?) 3: (?) 4: (?) 5: (?) 6: 38 / 52 7: (?) 8: (?) 9: (?) 10: 8 / 57 11: 8 / 57 12: 4 / 78 13: 5 / 78 14: 5 / 78 15: (?) 16: (?) 17: (?) 18: 95 / 3	1: (?) 2: (?)	1a: 82 / 4 1b: 20 / 65 1c: 88 / 4	1a: 75 / 4 1b: 76 / 10 1c: 87 / 3 1d: 84 / 3
Integrierte Verhältnisse Gips / Anhydrit bez. auf gesamte Sulfat-mächtigkeit	(ca. 64 / 11)	(ca. 20 / 35)	(? / ?)	(ca. 23 / 56)	(? / ?)	72 / 17	78 / 6

Anm.: Enger Sulfat-Bereich umfasst isolierte, reine Sulfat-Lagen; Sulfat-Gesamtmächtigkeit errechnet aus Einzelmächtigkeiten isolierter Lagen ohne Zwischenmittel; Sulfat-Lagen (x) aufsteigend nummeriert vom Hangenden ins Liegende; Angabe Zwischenmittel-Mächtigkeit jeweils zwischen oberster und unterster Lage des engen Sulfatbereiches

Als weitere mineralische Bestandteile dieser Sulfat-Lagen sind überwiegend Karbonate, teilweise auch Tone und andere Silikate (Quarz, Feldspäte) vorhanden. Ihre Gehalte (M.-%) reichen von wenigen Massen-% der reinen Sulfatlagen bis zu 30 und mehr Massen-% an den Grenzen der jeweiligen engen Sulfatbereiche zum Nebengestein (siehe Tabellen bzw. Grafiken im Anhang).

Makroskopisch treten Gips und Anhydrit überwiegend als kompakte Sulfatlagen mit einer tonig-mergelig-karbonatischen und überwiegend planparallelen Lamination bzw. Flaserung auf (Abb. 4-11, 4-12). Sie werden in verschiedensten stratigraphischen Abschnitten von „aufgearbeiteten-gestörten“ Horizonten mit chaotischen Gefügemerkmalen begleitet. Diese werden als Resultat synsedimentärer Rutschungen („slumping structures“) oder diagenetischer Faltung infolge Quelldruck bei Rehydratation angesehen (Abb. 4-13). Selten treten auch massige Sulfathorizonte auf, die ungerichtete, eingesprengte Sulfatbutzen (Gips als Einzelindividuen bis ca. 1 cm Größe) bzw. gerichtete Gips-Kristalle enthalten (Abb. 4-14, 4-15). Nur untergeordnet konnte Fasergips beobachtet werden.

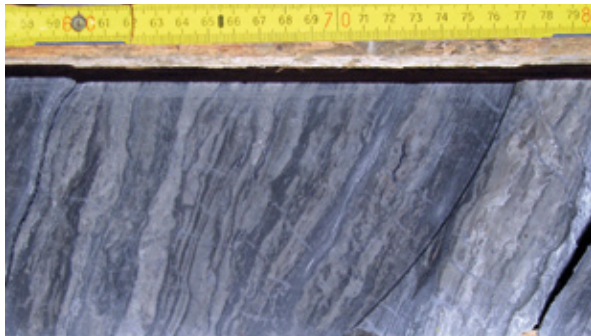


Abb. 4-11: Laminierter Sulfat.
Gips 4, Hegnabrunn, 72,6 m - 72,8 m



Abb. 4-12: Laminierter Sulfat.
Gips 13, Ahlstadt, 86,5 m - 86,65 m

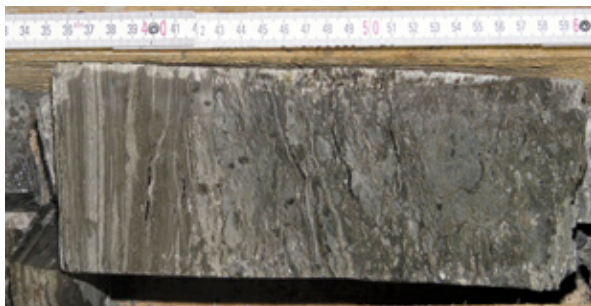


Abb. 4-13: Aufgearbeiteter Sulfat.
Gips 12, Drossenhausen, 61,35 m - 61,6 m

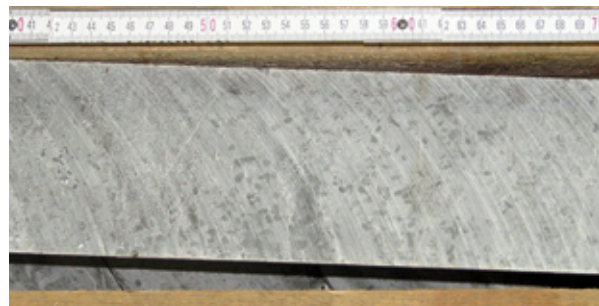


Abb. 4-14: Sulfat, massig, mit unregelmäßigen Gips-Butzen, Gips 13, Ahlstadt, 92,4 m - 92,7 m

Die sulfatischen Bestandteile im Mittleren Muschelkalk der untersuchten Bohrungen liegen sowohl als Anhydrit als auch als Gips vor. Es ist davon auszugehen, dass Gips als primäres Calciumsulfat-Mineral ausgefällt wurde und anschließend die Bildung von Anhydrit durch Dehydratation von Gips infolge einer progressiven Diagenese erfolgte. Es handelt sich hier vermutlich um frühdia-genetisch-sedi-mentäre Anhydrite, wobei diese die Phasenumwandlung Gips → Anhydrit unter Erhaltung des primären Gefüges durchlaufen haben. Erst nachträglich entstand durch (schichtparallele?) Rehydratation infolge Kluftwasserzutritt aus diesen Anhydriten wieder Gips. Fasergips findet sich dabei als Kluftfüllung in spröde zerbrochenem Anhydrit und in Dolomitmergeln, wobei die Brüche dann durch den Fasergips miteinander verheilt sind (Abb. 4-16, 4-17).

Unter Berücksichtigung der Sulfat-Einzel- und Gesamt-Mächtigkeiten sowie des Verhältnisses Sulfat zu Zwischenmittel im jeweiligen engen Sulfat-Bereich liegen die Bohrungen Gips 12 und Gips 13 sehr günstig, gefolgt von Bohrungen Gips 1 und Gips 2 sowie schließlich von Bohrungen Gips 8 und Gips 10. Wegen ihrer geringen rohstofflich verwertbaren Mächtigkeit kann Bohrung Gips 4 nur als teilsföndig eingestuft werden.



Abb. 4-15: Gips-Butzen, geregelt, Gips 12, Drossenhausen, 66,6 m - 66,7 m



Abb. 4-16: Lagen von Fasergips. Gips 4, Hegnabrunn, 79,3 m - 79,5 m



Abb. 4-17: Lagen von Fasergips. Gips 2, Bindlach: 99,4 m - 99,7 m

4.6 Geochemie

Die Gesamteisengehalte (als Fe_2O_3) der Sulfatproben des engen Sulfatbereiches liegen im Mittel generell kleiner 1 Gew.-% (Bohrung Gips 1) oder deutlich kleiner 0,5 Gew.-% (Bohrungen Gips 2, Gips 8, Gips 12 und Gips 13). Die Kaliumgehalte (als K_2O) für die genannten Bereiche schwanken im Mittel zwischen kleiner 1 Gew.-% (Bohrungen Gips 1 und Gips 8) und kleiner 0,5 Gew.-% für die Bohrungen Gips 2, Gips 12 und Gips 13. Natriumgehalte (als Na_2O) erreichen nur in Bohrung Gips 1 Mittelwerte von ca. 0,2 Gew.-%, liegen aber für alle anderen Bohrungen unter der Bestimmungsgrenze von ca. 0,03 Gew.-%.

Da nur Kalifeldspäte qualitativ mittels XRD nachgewiesen wurden, ist davon auszugehen, dass in den untersuchten Proben keine (löslichen) Kaliumsalze vorliegen.

Direkte Hinweise auf Halit und andere Halogenide (s. o.) der Salinarabfolge in den untersuchten Proben sind aus der qualitativen Mineralogie (XRD) nicht offenkundig. Eine indirekte Nachweisführung über die Anionen wurde deswegen als nicht zielführend erachtet und mittels geeigneter Elementanalytik (F, Cl, etc.) auch nicht weiter verfolgt. Wird dennoch Halit als mögliches verunreinigendes, wertminderndes

Mineral in den Proben angenommen, der alleinige qualitative Nachweis (mittels XRD) von Plagioklas und Alkali-Feldspat (die Natrium enthalten) ignoriert und alles vorhandene Natrium (als Na_2O) auf Halit umgerechnet, kann nur in der Bohrung Gips 1 punktuell von maximalen Halit-Gehalten von 0,4 M.-% (Na_2O ca. 0,2 Gew.-%) ausgegangen werden. Für alle Bohrungen sind bei Na_2O -Gehalten $< 0,03$ Gew.-% generell maximale Halit-Gehalte von nur $< 0,06$ M.-% möglich. Wegen der tatsächlich vorhandenen, qualitativ mittels XRD bestimmten Feldspat-Gehalte müssen diese fiktiven Halogenid-Angaben jedoch weiter reduziert werden. Unabhängig davon sind Halogenide in Gehalten deutlich kleiner 1 M.-% diffraktometrisch nicht mehr eindeutig nachweisbar. Falls tatsächlich vorhanden, sind daher mittlere Halit-Gehalte in den engeren Sulfat-Bereichen nur wesentlich kleiner 0,06 M.-% zu erwarten, was vermutlich zu keiner Wertminderung des potenziellen Sulfat-Rohstoffes führen wird.

5 Vorräte, Rohstoff und Wirtschaftlichkeit

Die Untersuchungen zeigen, dass relativ einheitlich zusammengesetzte und ungestörte Sulfathorizonte auch im Mittleren Muschelkalk mit guten Mächtigkeiten und günstigen Verhältnissen von Zwischenmittel zu Rohstoff auftreten. Je nach Verwendungszweck des geförderten Sulfatrohstoffes ist jedoch ein selektiver Abbau unabdingbar, der hinsichtlich Qualitätssicherung von einer engräumigen Analytik begleitet werden muss.

Verdichtende Bohrungen im Umfeld der höffigen Bereiche (siehe unten folgende Vorschläge) sind allerdings notwendig, um gewinnbare Lagerstätten eingrenzen und eine verlässliche Berechnung der Vorratssituation im Einzelfall erstellen zu können.

6 Prognose der Tiefenlage von Gipsvorkommen innerhalb des Sulfatlagers

Das rohstoffliche bzw. wirtschaftliche Hauptaugenmerk der Erkundung gilt nicht reinem Anhydrit sondern einem Anhydrit-Gips-Gemisch, wie es bis Ende des 20. Jahrhunderts in Döhlau abgebaut wurde. Daher ist die maximale Tiefenlage der Gipsverbreitung von hohem wirtschaftlichem Interesse. In allen Erkundungsbohrungen wurden bis in größere Tiefen Anhydrit- und Gipslagen angetroffen. Das Vorkommen von Gips steht also hier, anders als im Mittleren Keuper, nicht allein im Zusammenhang mit der Mächtigkeit der Überdeckung.

Das Sulfat des Mittleren Muschelkalk liegt zunächst als Anhydrit vor und wandelt sich dann beim Zutritt von Wasser in Gips um. Dieser Vorgang setzt Gesteinsdurchlässigkeiten und ein hydraulisches Potenzialgefälle voraus. Dementsprechend sind Gesteinspartien, die deutlich unter dem Vorfluterniveau des heutigen Entwässerungsnetzes liegen, wahrscheinlich fast ausschließlich anhydritisch ausgebildet, wie u. a. auch durch die Forschungsbohrung Kirmsees belegt wird. Ihre Ansatzhöhe liegt bei 517 m ü. NN, das Sulfatlager zwischen 324 m und 362 m ü. NN sowie die Grenze mm/mu (einschließlich der Orbicularis-Schichten) bei ca. 318 m ü. NN. Als Vorfluterniveau kommen Warme Steinach E Bayreuth (375 m ü. NN) oder Heinersbach S Tressau (ca. 480 m ü. NN) in Frage. Das gesamte Sulfatlager befindet sich somit unter dem Vorfluterniveau der 9 km entfernten Warmen Steinach und liegt dementsprechend fast ausschließlich als Anhydrit vor.

Tab. 6-1: Gipspotenzial ermittelt aus der Tiefenlage der Grenze mm/mu sowie des jeweiligen hydraulisch wirksamen Vorfluterniveaus

Nr.	Ansatzhöhe (m ü. NN)	Grenze mm/mu (m ü. NN)	Vorfluterniveau (m ü. NN)	Differenz	Gips-Potenzial im Schichtfallen
Gips 13	474	371	315	56	++
Gips 12	478	396	315	81	++
Gips 7	486	386	320	66	++
Gips 11	488	412	320	92	++
Gips 6	481	425	320	105	++
Gips 5	471	393	310	83	++
Gips 10	422	314	310	4	o
Gips 4	390	300	325	-25	o
Gips 3	490	440	325	115	++
Gips 9	458	406	~350	~56	++
Gips 2	489	375	375	0	o
Gips 1	562	459	375	84	++
Gips 8	503	399	375	24	+

Anm.: Gips-Potenzial im Schichtfallen: o kaum bzw. nur unwesentlich, + mäßig, ++ hoch

Zur Abschätzung des Gipspotenzials werden daher in Tabelle 6-1 die Höhenlagen der hydraulisch bedeutsamen Vorfluter mit Anbindung an Muschelkalkausstrich den jeweiligen Untergrenzen mm/mu gegenübergestellt.

Die Bohrungen sind entsprechend ihrer Lage von Nord nach Süd aufgelistet. Folgende Talzüge wurden ausgewählt:

Itz bei Unterwolsbach:	ca. 315 m ü. NN →	Gips 13, Gips 12
Rodach bei Marktrodach:	ca. 320 m ü. NN →	Gips 7, Gips 11, Gips 6
Schorgast bei Untersteinach:	ca. 310 m ü. NN →	Gips 5, Gips 10, (Gips 4)
Weißer Main bei Trebgast:	ca. 325 m ü. NN →	Gips 4, Gips 3, (Gips 9)
Warme Steinach E Bayreuth:	ca. 375 m ü. NN →	(Gips 9), Gips 2, Gips 1, Gips 8

7 Zusammenfassende Bewertung und Erkundungsvorschläge

Auf Grundlage historischer Geologischer Karten sowie der amtlichen Geologischen Karten, vorhandener Bohrergebnisse, der Morphologie sowie landesplanerischer Vorgaben sind die nachfolgend dargestellten Flächen für eine engmaschige Prospektion bzw. als potenzielle Abbauflächen des beschriebenen Sulfatrohstoffes sinnvoll. Die Flächen zwischen Gips 2, Gips 9 und Gips 3 bleiben in der Bewertung unberücksichtigt, da die aktuelle Bebauung und Nutzung (Flugplatz, Autobahnen und BAB-Dreieck A9/70) keinen untertägigen Abbau erlauben.

Unter Berücksichtigung o. g. Faktoren können sehr wahrscheinlich die Bohrungen Gips 12 und Gips 13, aber auch das Umfeld der Bohrungen Gips 1, Gips 2 und Gips 8 als fündig im Hinblick auf eine potenziell wirtschaftliche Gewinnung eingestuft werden. Insbesondere die Bohrungen Gips 12 und Gips 13 lassen bei leichtem Schichtfallen nach Osten ein relativ hohes Gipspotenzial erwarten (Abb. 7-1, 7-2).

Die Tiefenlage der Oberkante des jeweiligen Sulfatlagers zwischen ca. 57 m und 79 m in Gips 12 und Gips 13 bzw. 59 m bis 73 m in Gips 1, Gips 2 und Gips 8 macht bei allen Rohstoffpotenzialflächen eine **untertägige Erschließung der Vorkommen** erforderlich.

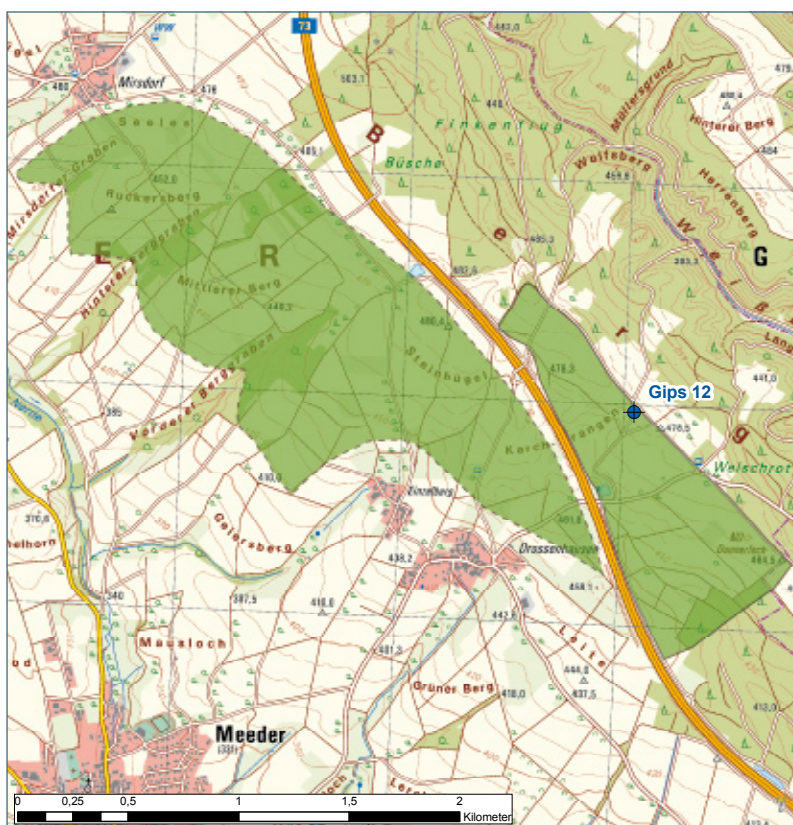


Abb. 7-1: Rohstoffpotenzialflächen nordöstlich Meeder;
Untertageabbau in ca. 60 m u.
GOK. Erkundete Mächtigkeit in
Bohrung Gips 12: ca. 13,3 m.
Integriertes Verhältnis Gips/
Anhydrit: 72/17

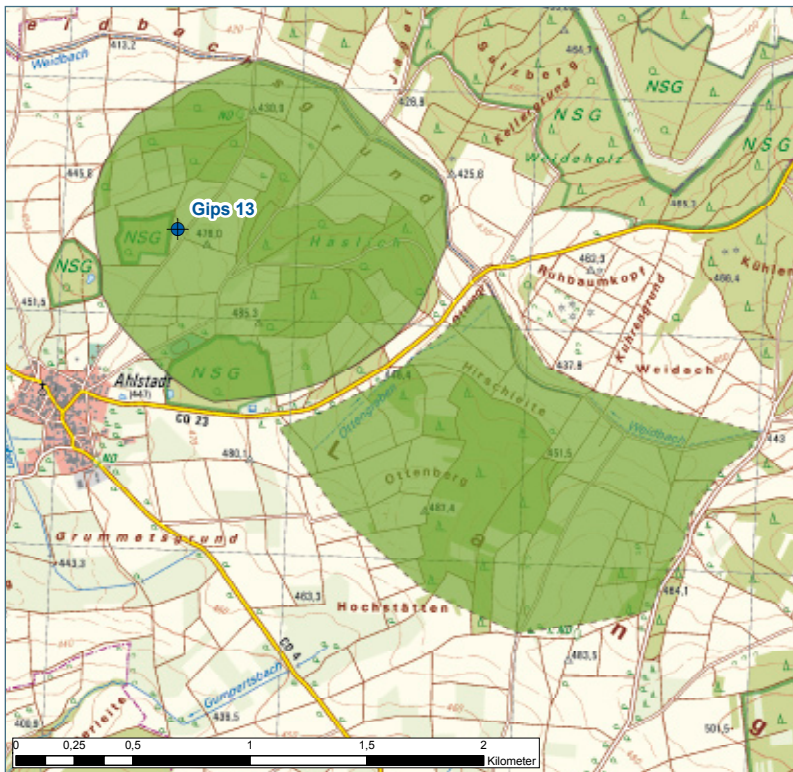


Abb. 7-2: Rohstoffpotenzialflächen nordöstlich Ahlstadt.
Untertageabbau in ca. 85 m u. GOK. Erkundete Mächtigkeit in Bohrung Gips 13: ca. 13 m. Integrierte Verhältnisse Gips/Anhydrit: 78/6

Im Umfeld der Bohrung Gips 2 ist eine Lagerstätte bereits durch den ehemaligen Bergbau am Oschenberg N Döhlau nachgewiesen. Die Schichten sind hier sattelartig aufgewölbt und fallen mit 8 - 11° nach Norden ein (EMMERT & STETTNER 1995). Daher ist in der nördlichen Hälfte des Vorkommens, insbesondere im unteren Teil des Sulfatlagers mit einem abnehmenden Gipsanteil zu rechnen. In Abbildung 7-3 wurde der Altbergbau von Döhlau aus der Rohstoffpotenzialfläche herausgenommen (s. Grundriss der Grube in WEINIG 1987).

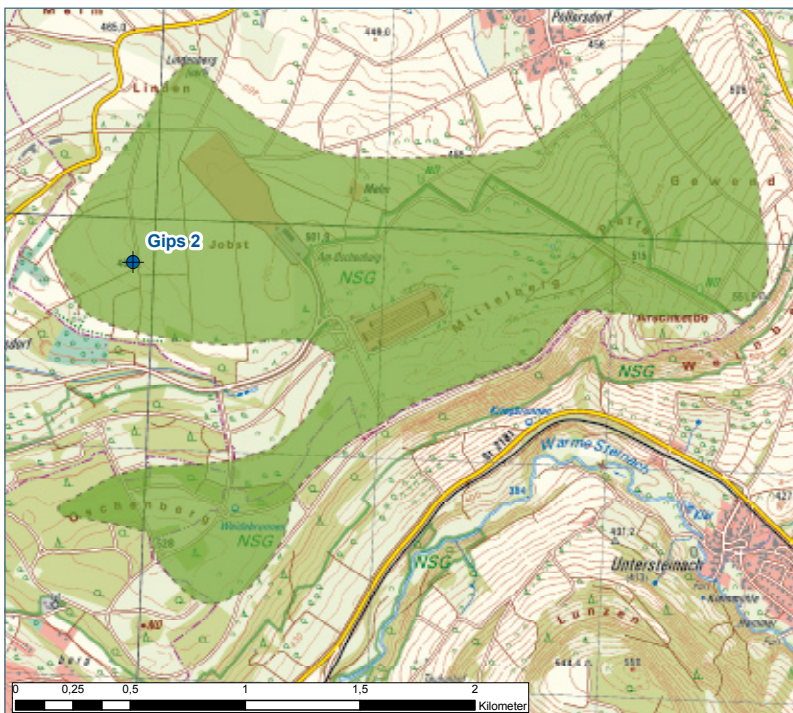


Abb. 7-3: Rohstoffpotenzialfläche östlich Bayreuth (nördlich der Warmen Steinach);
Untertageabbau in ca. 60 bis > 100 m u. GOK. Erkundete Mächtigkeit in Bohrung Gips 2: ca. 22 m in zwei Salinarlagen. Integrierte Verhältnisse Gips/Anhydrit: ca. 20/35

Das Vorkommen im Umfeld der Bohrung Gips 1 zeichnet sich durch relativ hohe Gipsmächtigkeiten und durch ein großes Gipspotenzial aus (Abb. 7-4). Es orientiert sich am Ausbiss des Oberen Muschelkalk bzw. Unteren Keuper dieser tektonischen NW-SE-gerichteten Scholle. Die Schichten fallen im Mittel zwischen 10 und 20° nach W ein (EMMERT & STETTNER 1995). Daher ist v. a. im Umfeld von Gips 8 in W-Richtung mit einer deutlichen Abnahme vergipster Anteile zu rechnen.

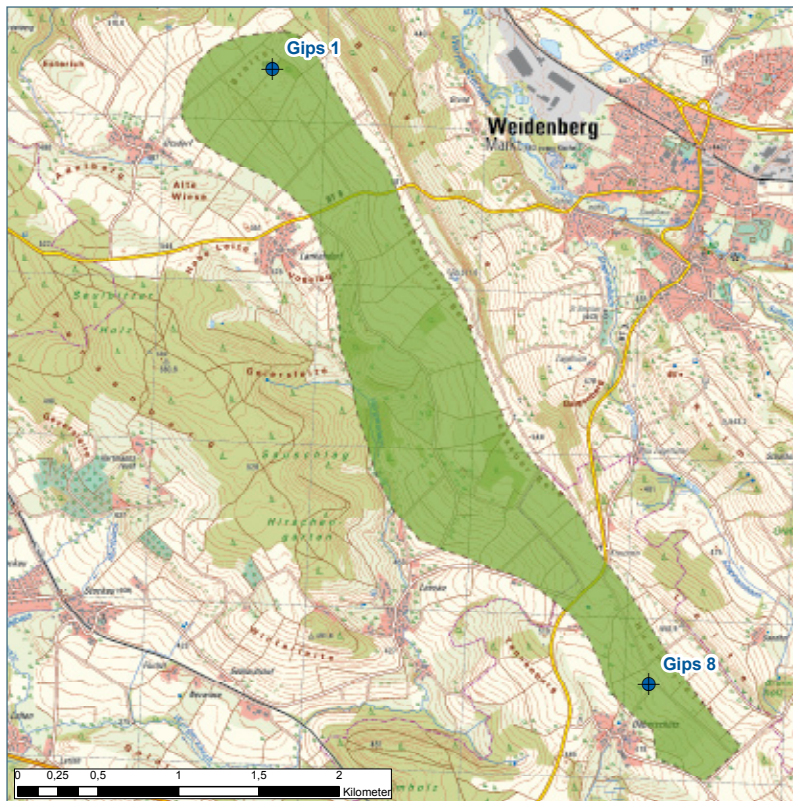


Abb. 7-4: Rohstoffpotenzialfläche südöstlich Bayreuth (westlich Weidenberg): Untertageabbau in ca. 60 bis > 100 m u. GOK. Erkundete Mächtigkeit in Bohrung Gips 1: ca. 11,5 m, in Gips 8: ca. 15 m - 16 m in zwei Salinarlagen. Integrierte Verhältnisse Gips/Anhydrit: Gips 1 ca. 64/11; Gips 8: 23/56

Alle anderen Bohrungen zeigen durch maximale Laugung der ehemals vorhandenen Salinalgesteine, dass das Verhältnis von Überdeckung zu Tiefenlage des Salinars ihren Erhaltungsgrad steuert. Insofern kann, abhängig vom Schichteinfallen, von einem höheren Potenzial für anhydritbetonte Sulfatgesteine bei Abrücken von der bisherigen Bohrachse nach Osten bzw. Westen ausgegangen werden. Die möglichen Bohransatzpunkte sollten dann zwischen dem Niveau der Cycloidesbank (mo2/mo3) bis zum Übergang Oberer Muschelkalk/Unterer Keuper liegen.

So werden beispielsweise die stark reduzierten Sulfatlager in den Bohrungen Gips 11, Gips 6 und Gips 5 vorwiegend mit einer nur geringmächtigen Überdeckung erklärt. Da jedoch das Erschließungspotenzial für Gips, bei leichtem Ostfallen des Schichtpakets als sehr positiv beurteilt wird, könnte auch dieser Raum im Zuge einer weiteren Kampagne differenzierter untersucht werden.

Die Sulfatreste in den Bohrungen Gips 4 und Gips 10 weisen zwar auf ein bedingtes Restpotenzial, aber gleichzeitig auf Auslaugung bis in größerer Tiefe hin. So beträgt die (potenziell gewinnbare) Restmächtigkeit bei einer Überlagerung von 84 m in Gips 10 nur ca. 2,3 m. Weiterhin lassen beide Bohrungen im Schichtfallen nur ein eingeschränktes Gipspotenzial erkennen. Daher wird hier bewusst auf die Ausweisung einer Rohstoffpotenzialfläche verzichtet.

Abschließend und zusammenfassend gestattet es das Erkundungsprogramm, vier potenziell höffige Gebiete mit einer Gesamtfläche von ca. 1200 ha auszuweisen. Deren gesamter, wahrscheinlicher Lagerstätteninhalt lässt sich nach vorläufiger Berechnung auf Grundlage der Bohrerergebnisse mit einer gewinnbaren Gips-Tonnage von ca. 206 Mio t sowie einer Anhydrit-Tonnage von ca. 137 Mio t angeben. Ein künftiger Abbau ist dort allerdings nur untertage in Tiefen zwischen ca. 60 m und ca. 100 m möglich. Dieser Untertageabbau wird dann relevant, wenn die übertägigen Reserven im Mittleren Keuper zur Neige gehen. Hinsichtlich Qualität, Lagerstättenvolumen und Mächtigkeiten sollten diese Vorkommen denen des Mittleren Keuper jedoch weitgehend entsprechen und eine weitergehende Rohstoffversorgung mit Sulfatgesteinen gewährleisten.

8 Literatur

- AUTORENKOLLEKTIV (1978): Der Baustoff Gips. – 177 S., VEB-Verlag für Bauwesen, Berlin.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (1996): Geologische Karte von Bayern 1:500 000. - 4. Aufl., München.
- BÖGLI, A. (1978): Karsthydrographie und physische Späleologie. – 292 S., Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg – New York.
- BÜTTNER, G. (2006): Karsterscheinungen an der Autobahn A71 und ihrem näheren Umfeld im Abschnitt Hain bis Hollstadt. – Naturwiss. Jb. Schweinfurt 21/22/23: 465 - 484, Schweinfurt.
- BÜTTNER, G. & PÜRNER, T. (1998): Die Forschungsbohrung Gädheim GLA 1994/1. - Geol. B. NO-Bayern 59 (4): 221 - 244, Erlangen.
- BÜTTNER, G. & SCHWARZMEIER, J. (1997): Der Mittlere Muschelkalk in der Bohrung Weyer aus lithologischer und stratigraphischer Sicht. – Naturwiss. Jb. Schweinfurt, 15: 47 - 76, Schweinfurt.
- BÜTTNER, G. & STÜRMER, G. (2006): Der Übergangsbereich vom Unteren zum Mittleren Muschelkalk unter besonderer Darstellung von Konglomerathorizonten in den Aufschlüssen Münnerstadt Ost und Nord. – Naturwiss. Jb. Schweinfurt 21/22/23: 281 - 321, Schweinfurt.
- BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE E.V. (2006): Gips-Datenbuch. – 70 S., Darmstadt.
- EMMERT, U. (1977): Geologische Karte von Bayern 1:25 000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 6035 Bayreuth. 180 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- EMMERT, U. & HORSTIG, G.V. (1972): Geologische Karte von Bayern 1:25 000. Blatt Nr. 5734 Wallenfels, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- EMMERT, U., HORSTIG, G.V. & WEINELT, W. (1960): Geologische Karte von Bayern 1:25 000. Blatt Nr. 5835 Stadtsteinach, München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- EMMERT, U. & STETTNER, G. (1995): Geologische Karte von Bayern 1:25 000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 6036 Weidenberg. – 239 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- EMMERT, U. & WEINELT, W. (1962): Geologische Karte von Bayern 1:25 000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 5935 Marktschorgast. – 286 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- FREUDENBERGER, W. (1994): Geologische Übersichtskarte 1:200 000, Blatt CC 6326 Bamberg. Hannover (BGR).
- FREUDENBERGER, W. (1996): Trias: - In: BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT [Hrsg.]: Geologische Karte von Bayern 1:500 000, Erläuterungen. – 4. Aufl.: 65 - 89, München.
- FREUDENBERGER, W. (2009): Die Forschungsbohrungen Arnstein 1, Retzstadt 1 und Gramschatz 1 nördlich Würzburg/Unterfranken. – Geol. B. NO-Bayern 59 (1 - 4): 135 - 172, Erlangen.

GUDDEN, H (1955): Geologische Karte von Bayern 1:25 000. Blatt Nr. 5834 Kulmbach, München (Bayer. Geol. L.-Amt).

HENNING, O. UND KNÖFEL, D. (1997): Baustoffchemie. – 192 S., VEB-Verlag für Bauwesen / Bauverlag, Berlin.

LINHARDT, E. (2009): Berechnungsalgorithmus Rohstoffe (hausinterne Routine mit Arbeitsanweisung, 3 S. unveröffentl.), LfU Hof.

LORETZ, H. (1882): Historische Geol. Karte 1:25000. – Blatt Nr. 5631 Meeder (alte Nummer 7040). - Preußische Geol. Landesanst.

WEINIG, H. (1987): Gips und Anhydrit. – In: Der Bergbau in Bayern, Geologica Bavarica 91: 179 - 191, München.

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 3-1:	Arbeitsgebiet mit Lagepunkten	6
Abb. 3-2:	Geologische Übersicht mit Lagepunkten der Gipsbohrungen (Ausschnitt aus GK500, 4. Auflage BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT 1996; Maßstab verändert)	7
Abb. 4-1:	Oberer Muschelkalk 1 (mo1), Bohrung Gips 7, Wötzelsdorf, von links oben bis rechts unten: 45 m - 48 m	12
Abb. 4-2:	Oberer Muschelkalk 1 (mo1), Bohrung Gips 10, Fölschnitz, von links oben bis rechts unten: 30 m - 35 m	13
Abb. 4-3:	Trochitenkalk des mo1, Bohrung Gips 8, Doberschütz, 26,1 m - 26,35 m	13
Abb. 4-4:	„Enger Sulfat-Bereich“, Bohrung Gips 2, Bindlach, von links oben bis rechts unten: 92 m - 97 m	14
Abb. 4-5:	Residualgesteine, Bohrung Gips 7, Wötzelsdorf, von links oben bis rechts unten: 65 m - 69 m	15
Abb. 4-6:	Laugungsbrekzie (Detail) mit unvollständigem Kerngewinn, Bohrung Gips 9, Benk, 29 m - 29,3 m	15
Abb. 4-7:	Typischer Unterer Muschelkalk (Wellenkalk), Bohrung Gips 2, Bindlach, von links oben bis rechts unten: 115 m - 120 m	15
Abb. 4-8:	Übergangsbereich mm/mu, Bohrung Gips 11, Gössersdorf, von links oben nach rechts unten: 64 m - 73 m: ab 64,5 m: Unteres Karbonat, ab 67,8 m Orbicularis-Schichten	19
Abb. 4-9:	(links-oben): Hornsteinlagen, Gi. 13, Ahlstadt, 43,3 m - 43,5 m; (rechts-oben) Hornsteinlagen, Gi. 11, Gössersdorf, 34,7 m; (unten) Hornsteinlagen, Gi. 1, Ützdorf/Döhlau, 45,6 m und 49,8 m	22
Abb. 4-10:	Gegenüberstellung Tiefenlage/Sulfatmächtigkeit	24
Abb. 4-11:	Laminiertes Sulfat. Gips 4, Hegnabrunn, 72,6 m - 72,8 m	28
Abb. 4-13:	Aufgearbeitetes Sulfat. Gips 12, Drossenhausen, 61,35 m - 61,6 m	28
Abb. 4-12:	Laminiertes Sulfat. Gips 13, Ahlstadt, 86,5 m - 86,65 m	28
Abb. 4-14:	Sulfat, massig, mit unregelmäßigen Gips-Butzen, Gips 13, Ahlstadt, 92,4 m - 92,7 m	28
Abb. 4-15:	Gips-Butzen, geregelt, Gips 12, Drossenhausen, 66,6 m - 66,7 m	29

Abb. 4-16:	Lagen von Fasergips. Gips 4, Hegnabrunn, 79,3 m - 79,5 m	29
Abb. 4-17:	Lagen von Fasergips. Gips 2, Bindlach: 99,4 m - 99,7 m	29
Abb. 7-1:	Rohstoffpotenzialflächen nordöstlich Meeder; Untertageabbau in ca. 60 m u. GOK. Erkundete Mächtigkeit in Bohrung Gips 12: ca. 13,3 m. Integriertes Verhältnis Gips/Anhydrit: 72/17	34
Abb. 7-2:	Rohstoffpotenzialflächen nordöstlich Ahlstadt. Untertageabbau in ca. 85 m u. GOK. Erkundete Mächtigkeit in Bohrung Gips 13: ca. 13 m. Integrierte Verhältnisse Gips/Anhydrit: 78/6	35
Abb. 7-3:	Rohstoffpotenzialfläche östlich Bayreuth (nördlich der Warmen Steinach); Untertageabbau in ca. 60 bis > 100 m u. GOK. Erkundete Mächtigkeit in Bohrung Gips 2: ca. 22 m in zwei Salinarlagen. Integrierte Verhältnisse Gips/Anhydrit: ca. 20/35	35
Abb. 7-4:	Rohstoffpotenzialfläche südöstlich Bayreuth (westlich Weidenberg): Untertageabbau in ca. 60 bis > 100 m u. GOK. Erkundete Mächtigkeit in Bohrung Gips 1: ca. 11,5 m, in Gips 8: ca. 15 m - 16 m in zwei Salinarlagen. Integrierte Verhältnisse Gips/Anhydrit: Gips 1 ca. 64/11; Gips 8: 23/56	36
Anhang D:	Grafische Darstellung der mineralogischen Ergebnisse in den Bohrungen Gips 1, 2, 8, 12 und 13	51

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 3-1:	Lage der Bohrungen mit Ansatzhöhe und Endteufe	7
Tab. 3-2:	Oxidgehalte Sulfatminerale (nach: BUNDESVERBAND DER GIPSINDUSTRIE 2006)	8
Tab. 3-3:	Reaktionstemperaturen Sulfate (nach: HENNING & KNÖFEL, 1997; AUTORENKOLLEKTIV, 1978)	9
Tab. 4-1:	Übersicht der erbohrten Einheiten	11
Tab. 4-2:	Sulfat-Führung	14
Tab. 4-3:	Mineralogische Charakteristik der Karbonate	16
Tab. 4-4:	Abgrenzung zum Unteren Muschelkalk, Mächtigkeiten der Schichtglieder	18
Tab. 4-5:	Mächtigkeiten im Profilabschnitt Oberes und Unteres Salinar mit Mittlerem Karbonat	20
Tab. 4-6:	Mächtigkeiten des Oberen Karbonats	21
Tab. 4-7:	Mächtigkeiten des Mittleren Muschelkalk	23
Tab. 4-8:	Gegenüberstellung Tiefenlage der Salinar-Oberkanten („Top-Salinar“) – Mächtigkeit des zusammenhängenden Sulfatlagers	25
Tab. 4-9:	Sulfat-Zusammensetzung: Einzel- u. Gesamtmächtigkeiten, integrierte Sulfat-/Zwischenmittel-Kennzahlen der engen Sulfatbereiche	26
Tab. 4-10:	Sulfat-Zusammensetzung: Anzahl und Mächtigkeit der Sulfatlagen sowie integrierte Gips-Anhydritverhältnisse bezogen auf Gesamtmächtigkeit der engen Sulfatbereiche	27
Tab. 6-1:	Gipspotenzial ermittelt aus der Tiefenlage der Grenze mm/mu sowie des jeweiligen hydraulisch wirksamen Vorfluterniveaus	32
Tab. A-1:	Tabellarische Darstellung der Einzelbohrungen unter Angabe der Objekt-ID's (BIS) sowie Proben-Bezeichnungen (LIMS-Nr.)	44
Tab. B-1:	Tabellarische Aufstellung der Proben unter Angabe der Teufenbereiche und Probenart	45
Tab. C-1:	Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse	48

Dank

Die intensive Beprobungsarbeit an den Bohrungen wurde von Herrn Dr. Sebastian Wagner durchgeführt, wofür ihm herzlich gedankt sei.

Tab. A-1: Tabellarische Darstellung der Einzelbohrungen unter Angabe der Objekt-ID's (BIS) sowie Proben-Bezeichnungen (LIMS-Nr.)

Objekt	Weiter Sulfat-Bereich (m); Probenbereich (m); Enger Sulfat-Bereich (m)	Proben (j/n)	Anzahl Proben, aufbe- reitet	LIMS-Nr.	Analytik
6036BG000014 Gips 01 Ützdorf / Döhlau	73 bis 98; Proben: 20 bis 106; 73 bis 93;	J	36	G993146 – G993169, G993399 – G993400, G003099 – G003104	RFA mit TV, LOI (1050°), mit S als SO3 und GS 350°; XRD qualit., Karb. z.T.
6035BG000009 Gips 02 Bindlach	68 bis 114; Proben: 50 bis 119; 68 bis 110;	J	14	G993585 – G993593, G003111 – G003115	RFA mit TV, LOI (1050°), mit S als SO3 und GS 350°; XRD qualit., Karb. z.T.
5935BG000026 Gips 03 Harsdorf / A70	49 bis 51 (?); / /	N	/		
5935BG000027 Gips 04 Hegnabrunn	71 bis 90 (?); / 68 – 77;	N	/		
5834BG000016 Gips 05 Untersteinbach	52 bis 74 (?); / /	N	/		
5834BG000017 Gips 06 Lehental	/ (?); / /	N	/		
5734BG000001 Gips 07 Wötzelsdorf	/ (?); / /	N	/		
6036BG000020 Gips 08 Döberschütz	58 bis 100; Proben: 7 bis 115; 59 – 100;	J	27	G993125 – G993145, G003105 – G003110	RFA mit TV, LOI (1050°), mit S als SO3 und GS 350°; XRD qualit., Karb. z.T.
5935BG000028 Gips 09 Benk	50 bis 52; / /	N	/		
5835BG000019 Gips 10 Fölschnitz	89 bis 100; / 89 bis 95;	N	/		
5834BG000018 Gips 11 Gössersdorf	76 bis 77; / /	N	/		
5631BG000001 Gips 12 Drossenhausen	57 bis 75; Proben: 59 bis 70; 57 bis 71;	J	10	G003249 – G003258	RFA mit TV, LOI (1050°), mit S als SO3 und GS 350°; XRD qualit., Karb. z.T.
5631BG000002 Gips 13 Ahlstadt	66 bis 101; Proben: 83 bis 92; 79 – 94;	J	7	G003242 – G003248	RFA mit TV, LOI (1050°), mit S als SO3 und GS 350°; XRD qualit., Karb. z.T.

Tab. B-1: Tabellarische Aufstellung der Proben unter Angabe der Teufenbereiche und Probenart

Probe	Labor-Nr.	Bohrung	Teufe (m)	Probenart
G1-24	G993146	GIPS 1	20,25 - 20,35	Einzelprobe
G1-23	G993147	GIPS 1	35,70 - 35,80	Einzelprobe
G1-22	G993148	GIPS 1	52,00 - 52,10	Einzelprobe
G1-20	G993149	GIPS 1	71,80 - 71,85	Einzelprobe
G1-21	G993150	GIPS 1	71,85 - 71,90	Einzelprobe
G1-Q1	G003099	GIPS 1	73,3 - 76,8	Mischprobe
G1-1	G993151	GIPS 1	74,21 - 74,24	Einzelprobe
G1-2	G993152	GIPS 1	74,24 - 74,26	Einzelprobe
G1-3	G993153	GIPS 1	74,28 - 74,32	Einzelprobe
G1-4	G993154	GIPS 1	77,34 - 77,38	Einzelprobe
G1-5	G993399	GIPS 1	78,53 - 78,58	Einzelprobe
G1-6	G993400	GIPS 1	78,58 - 78,59	Einzelprobe
G1-7	G993155	GIPS 1	78,59 - 78,61	Einzelprobe
G1-Q2	G003100	GIPS 1	79,85 - 82,8	Mischprobe
G1-8	G993156	GIPS 1	80,34 - 80,36	Einzelprobe
G1-9	G993157	GIPS 1	80,37 - 80,39	Einzelprobe
G1-10	G993158	GIPS 1	80,39 - 80,41	Einzelprobe
G1-11	G993159	GIPS 1	80,41 - 80,44	Einzelprobe
G1-12	G993160	GIPS 1	81,20 - 81,25	Einzelprobe
G1-13	G993161	GIPS 1	81,26 - 81,30	Einzelprobe
G1-Q3	G003101	GIPS 1	82,8 - 84,2	Mischprobe
G1-14	G993162	GIPS 1	83,25 - 83,30	Einzelprobe
G1-Q4	G003102	GIPS 1	84,2 - 84,6	Mischprobe
G1-Q5	G001303	GIPS 1	84,6 - 86,8	Mischprobe
G1-15	G993163	GIPS 1	86,29 - 86,32	Einzelprobe
G1-16	G993164	GIPS 1	86,32 - 86,34	Einzelprobe
G1-Q6	G003104	GIPS 1	86,8 - 88,85	Mischprobe
G1-17	G993165	GIPS 1	87,40 - 87,43	Einzelprobe
G1-18	G993166	GIPS 1	89,20 - 89,26	Einzelprobe
G1-19	G993167	GIPS 1	93,20 - 93,24	Einzelprobe
G1-28	G993581	GIPS 1	98,35 - 98,4	Einzelprobe
G1-27	G993582	GIPS 1	98,60 - 98,63	Einzelprobe
G1-29	G993583	GIPS 1	99,5 - 99,58	Einzelprobe
G1-30	G993584	GIPS 1	99,6 - 99,64	Einzelprobe
G1-25	G993168	GIPS 1	101,20 - 101,25	Einzelprobe
G1-26	G993169	GIPS 1	106,50 - 106,60	Einzelprobe

Probe	Labor-Nr.	Bohrung	Teufe (m)	Probenart
G2-6	G993585	GIPS 2	51,1 - 51,15	Einzelprobe
G2-1	G993586	GIPS 2	72,7 - 72,75	Einzelprobe
G2-5	G993587	GIPS 2	75,1 - 75,2	Einzelprobe
G2-Q1	G003111	GIPS 2	75,9 - 78,5	Mischprobe
G2-2	G993588	GIPS 2	76,6 - 76,65	Einzelprobe
G2-3	G993589	GIPS 2	77,65 - 77,7	Einzelprobe
G2-4	G993590	GIPS 2	77,85 - 77,9	Einzelprobe
G2-Q2	G003112	GIPS 2	78,5 - 81,55	Mischprobe
G2-Q3	G003113	GIPS 2	92,6 - 94,65	Mischprobe
G2-7	G993591	GIPS 2	93,1 - 93,15	Einzelprobe
G2-Q4	G003114	GIPS 2	94,65 - 96,1	Mischprobe
G2-Q5	G003115	GIPS 2	96,1 - 97,8	Mischprobe
G2-8	G993592	GIPS 2	106,1 - 106,15	Einzelprobe
G2-9	G993593	GIPS 2	119,5 - 119,55	Einzelprobe
G8-9	G993125	GIPS 8	7,50 - 7,60	Einzelprobe
G8-10	G993126	GIPS 8	9,50 - 9,60	Einzelprobe
G8-11	G993127	GIPS 8	23,50 - 23,60	Einzelprobe
G8-12	G993128	GIPS 8	26,30 - 26,40	Einzelprobe
G8-13	G993129	GIPS 8	50,15 - 50,20	Einzelprobe
G8-3	G993130	GIPS 8	62,11 - 62,15	Einzelprobe
G8-4	G993131	GIPS 8	62,15 - 62,17	Einzelprobe
G8-Q1	G003105	GIPS 8	68,3 - 69,3	Mischprobe
G8-1	G993132	GIPS 8	69,13 - 69,14	Einzelprobe
G8-2	G993133	GIPS 8	69,15 - 69,18	Einzelprobe
G8-Q2	G003106	GIPS 8	69,3 - 71,3	Mischprobe
G8-Q3	G003107	GIPS 8	71,3 - 72,3	Mischprobe
G8-5	G993134	GIPS 8	80,49 - 80,55	Einzelprobe
G8-6	G993135	GIPS 8	80,55 - 80,59	Einzelprobe
G8-Q4	G003108	GIPS 8	83,05 - 84,75	Mischprobe
G8-Q5	G003109	GIPS 8	84,75 - 86,0	Mischprobe
G8-7	G993136	GIPS 8	85,44 - 85,48	Einzelprobe
G8-8	G993137	GIPS 8	85,51 - 85,55	Einzelprobe
G8-Q6	G003110	GIPS 8	86,0 - 87,5	Mischprobe
G8-16	G993138	GIPS 8	89,67 - 89,70	Einzelprobe
G8-17	G993139	GIPS 8	89,77 - 89,81	Einzelprobe
G8-18	G993140	GIPS 8	89,90 - 89,93	Einzelprobe
G8-19	G993141	GIPS 8	98,64 - 98,65	Einzelprobe
G8-20	G993142	GIPS 8	98,66 - 98,68	Einzelprobe

Probe	Labor-Nr.	Bohrung	Teufe (m)	Probenart
G8-21	G993143	GIPS 8	98,75 - 98,78	Einzelprobe
G8-14	G993144	GIPS 8	105,15 - 105,20	Einzelprobe
G8-15	G993145	GIPS 8	115,50 - 115,55	Einzelprobe
G12-Q1	G003249	GIPS 12	58,60 - 60,40	Mischprobe
G12-1	G003250	GIPS 12	59,3 - 59,35	Einzelprobe
G12-Q2	G003251	GIPS 12	60,40 - 62,6	Mischprobe
G12-2	G003252	GIPS 12	60,50 - 60,55	Einzelprobe
G12-Q3	G003253	GIPS 12	62,60 - 69,50	Mischprobe
G12-3	G003254	GIPS 12	63,80 - 63,85	Einzelprobe
G12-4	G003255	GIPS 12	64,15 - 64,20	Einzelprobe
G12-5	G003256	GIPS 12	65,70 - 65,75	Einzelprobe
G12-6	G003257	GIPS 12	65,80 - 65,85	Einzelprobe
G12-7	G003258	GIPS 12	67,40 - 67,45	Einzelprobe
G13-Q1	G003242	GIPS 13	80,0 - 83,80	Mischprobe
G13-1	G003243	GIPS 13	81,35 - 81,40	Einzelprobe
G13-Q2	G003244	GIPS 13	83,80 - 88,70	Mischprobe
G13-2	G003245	GIPS 13	85,85 - 85,90	Einzelprobe
G13-Q3	G003246	GIPS 13	88,70 - 89,50	Mischprobe
G13-Q4	G003247	GIPS 13	89,50 - 91,70	Mischprobe
G13-3	G003248	GIPS 13	90,20 - 90,25	Einzelprobe

Tab. C-1: Tabellarische Aufstellung der mineralogischen Ergebnisse

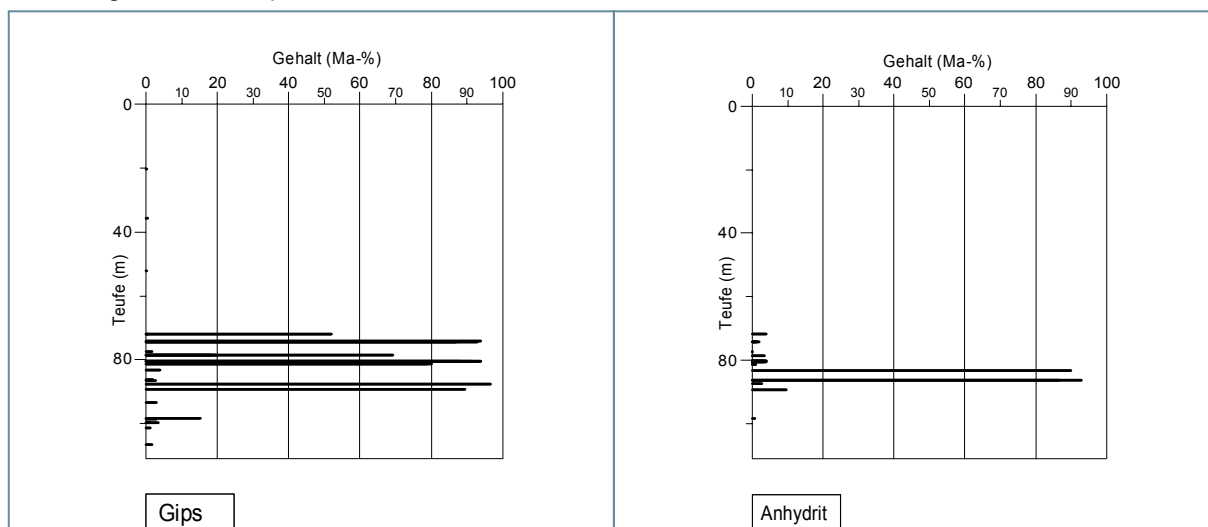
Probe	Mineralogie								
	Gips	Anhydrit	Calcit	Dolomit	Quarz	Kalifeld- spat	Plagio- klas	Ton- minerale	Summe
	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)
G1-24	0,3	0,0	79,0	5,0	8,0	4,0	1,0	2,8	100,0
G1-23	0,5	0,0	88,5	6,0	2,0	1,0	0,0	2,0	100,0
G1-22	0,2	0,0	6,0	81,0	6,0	4,9	1,0	1,0	100,0
G1-20	52,0	4,0	0,0	23,0	7,0	6,0	1,0	7,0	100,0
G1-21	0,4	0,0	1,0	80,0	5,0	5,0	0,6	8,0	100,0
G1-Q1	60,5	0,0	0,0	15,0	10,0	8,5	0,0	6,0	100,0
G1-1	94,0	1,0	1,0	1,0	2,0	1,0	0,0	0,0	100,0
G1-2	93,0	2,0	1,0	1,0	2,0	1,0	0,0	0,0	100,0
G1-3	87,0	1,5	1,0	0,5	3,5	6,5	0,0	0,0	100,0
G1-4	1,8	0,0	1,0	75,0	4,5	7,5	2,0	8,3	100,0
G1-5	19,8	0,2	0,0	64,0	4,0	5,0	1,0	6,0	100,0
G1-6	69,3	3,3	0,0	24,0	1,0	2,0	0,0	0,4	100,0
G1-7	18,3	0,0	0,0	62,0	3,7	6,0	2,0	8,0	100,0
G1-Q2	77,0	3,0	0,0	9,0	4,0	6,0	1,0	0,0	100,0
G1-8	94,0	4,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	100,0
G1-9	94,0	4,0	0,0	0,0	1,0	1,0	0,0	0,0	100,0
G1-10	88,0	3,0	0,0	0,0	2,5	2,5	0,0	4,0	100,0
G1-11	91,5	3,8	0,0	0,0	1,5	1,2	0,0	2,0	100,0
G1-12	80,2	1,0	0,0	9,0	2,8	3,0	0,0	4,0	100,0
G1-13	79,0	1,0	1,0	10,0	2,5	2,5	0,0	4,0	100,0
G1-Q3	5,0	77,0	0,0	8,0	2,0	2,0	0,0	6,0	100,0
G1-14	4,0	90,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,0	2,0	100,0
G1-Q4	22,0	21,0	0,0	5,0	18,0	17,0	5,0	12,0	100,0
G1-Q5	5,0	83,0	0,0	6,0	2,0	2,0	0,0	2,0	100,0
G1-15	2,0	93,0	1,0	2,0	1,0	0,0	0,0	1,0	100,0
G1-16	2,7	86,5	2,5	0,5	0,5	3,0	1,0	3,3	100,0
G1-Q6	24,0	50,0	0,0	13,0	4,0	5,0	1,0	3,0	100,0
G1-17	96,6	2,7	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
G1-18	89,4	9,5	0,5	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
G1-19	2,8	0,0	0,0	86,0	3,0	3,0	0,0	5,2	100,0
G1-28	15,3	0,6	0,0	46,0	12,0	16,0	0,0	10,1	100,0
G1-27	3,0	0,0	0,0	59,0	12,0	14,0	0,0	12,0	100,0
G1-29	3,5	0,0	0,0	74,0	5,0	10,0	0,0	7,5	100,0
G1-30	1,2	0,0	0,0	60,0	9,0	15,0	0,0	14,8	100,0

Probe	Mineralogie								
	Gips	Anhydrit	Calcit	Dolomit	Quarz	Kalifeld- spat	Plagio- klas	Ton- minerale	Summe
	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)
G1-25	1,2	0,0	0,0	58,0	1,0	1,0	0,3	38,5	100,0
G1-26	1,8	0,0	0,0	77,0	1,0	1,0	0,0	19,2	100,0
G2-6	0,8	0,0	55,0	19,0	4,0	6,0	0,5	14,7	100,0
G2-1	3,0	92,0	0,0	3,0	0,5	0,5	0,0	1,0	100,0
G2-5	0,7	0,0	0,0	78,0	0,5	0,5	0,0	20,3	100,0
G2-Q1	38,0	55,0	2,0	4,0	1,0	0,0	0,0	0,0	100,0
G2-2	87,6	4,4	0,0	5,0	1,0	1,0	0,0	1,0	100,0
G2-3	14,7	80,9	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	2,4	100,0
G2-4	1,9	97,6	0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	0,0	100,0
G2-Q2	24,0	61,0	0,0	12,0	1,5	1,5	0,0	0,0	100,0
G2-Q3	4,5	71,6	0,0	10,0	3,0	5,0	1,0	4,9	100,0
G2-7	1,6	92,2	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0	5,5	100,0
G2-Q4	2,4	85,4	0,0	4,0	0,5	1,0	0,0	6,7	100,0
G2-Q5	7,0	79,0	0,0	2,0	1,0	1,0	0,0	10,0	100,0
G2-8	0,9	0,0	1,0	81,0	1,0	4,0	0,0	12,1	100,0
G2-9	1,3	0,0	0,0	76,0	3,0	4,5	0,0	15,2	100,0
G8-9	0,5	0,0	0,0	92,0	5,5	2,0	0,0	0,0	100,0
G8-10	0,1	0,0	0,0	33,0	53,0	8,7	0,2	5,0	100,0
G8-11	0,2	0,0	1,0	95,0	1,0	2,6	0,2	0,0	100,0
G8-12	0,4	0,0	0,0	97,0	1,0	1,4	0,2	0,0	100,0
G8-13	0,6	0,0	0,0	89,0	5,4	4,8	0,2	0,0	100,0
G8-3	27,0	60,0	0,0	7,0	1,0	2,0	1,0	2,0	100,0
G8-4	30,1	17,4	1,0	32,0	3,0	3,0	2,0	11,5	100,0
G8-Q1	64,0	30,0	0,0	4,0	0,5	1,5	0,0	0,0	100,0
G8-1	4,4	62,0	1,0	5,0	8,0	4,0	2,0	13,6	100,0
G8-2	7,5	92,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	100,0
G8-Q2	75,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
G8-Q3	79,0	3,0	0,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
G8-5	4,5	39,5	0,0	45,0	4,0	5,0	0,0	2,0	100,0
G8-6	1,0	0,0	0,0	80,0	5,0	6,0	2,0	6,0	100,0
G8-Q4	7,7	57,3	0,0	9,0	3,0	4,0	1,0	18,0	100,0
G8-Q5	4,2	78,0	0,0	9,0	2,0	2,0	0,2	4,6	100,0
G8-7	2,0	92,0	1,0	1,0	2,0	2,0	0,0	0,0	100,0
G8-8	4,0	62,0	0,0	30,0	1,0	1,0	0,0	2,0	100,0
G8-Q6	5,3	78,4	0,0	5,0	3,0	2,5	0,2	5,6	100,0
G8-16	3,7	94,0	1,0	0,5	0,4	0,0	0,0	0,4	100,0

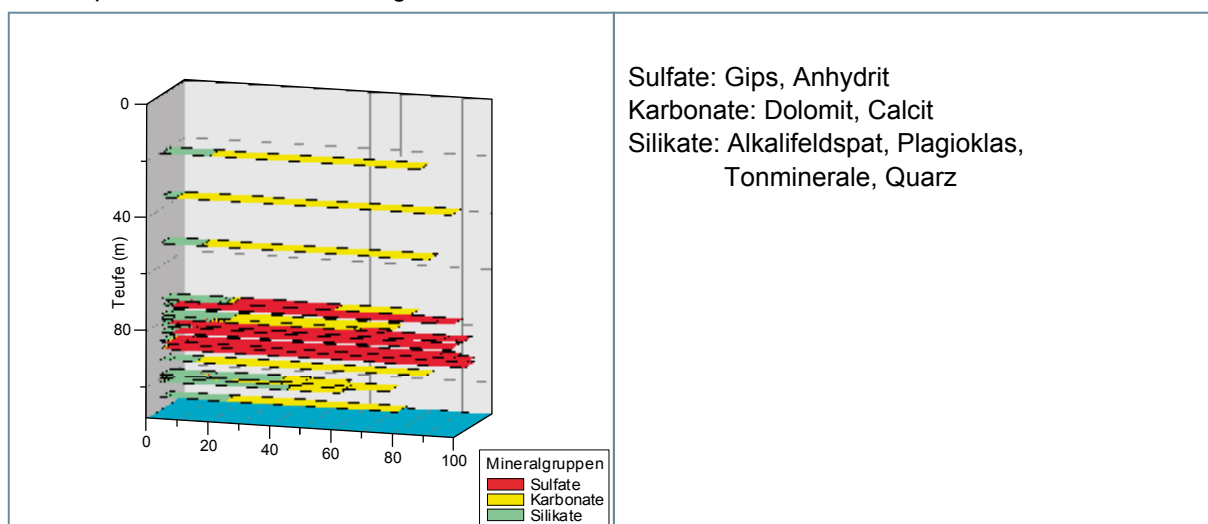
Probe	Mineralogie								
	Gips	Anhydrit	Calcit	Dolomit	Quarz	Kalifeld- spat	Plagio- klas	Ton- minerale	Summe
	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)	(M.-%)
G8-17	91,4	4,4	1,0	1,7	1,0	0,5	0,0	0,0	100,0
G8-18	34,0	2,0	1,0	49,0	4,0	4,0	1,0	5,0	100,0
G8-19	95	3	1	0,5	0,5	0	0,0	0	100,0
G8-20	31	2,7	1	47	5	7	1,0	5,3	100,0
G8-21	36,7	3	0	33	10	9	1,0	7,3	100,0
G8-14	0,1	0	0	80	4	7	0,0	8,9	100,0
G8-15	1	0	0	50	6	13	0,0	30	100,0
G12-Q1	82	4	0	8	5	1	0,0	0	100,0
G12-1	89,0	3,0	0,0	6,0	1,0	1,0	0,0	0,0	100,0
G12-Q2	20,0	65,0	0,0	5,0	1,0	1,0	0,0	8,0	100,0
G12-2	4,0	80,0	0,0	8,0	0,0	1,0	1,0	6,0	100,0
G12-Q3	88,0	4,0	0,0	7,0	1,0	0,0	0,0	0,0	100,0
G12-3	92,0	5,0	0,0	2,0	0,5	0,5	0,0	0,0	100,0
G12-4	92,0	2,0	0,0	5,0	0,5	0,5	0,0	0,0	100,0
G12-5	49,0	3,0	0,0	44,0	2,0	2,0	0,0	0,0	100,0
G12-6	96,0	3,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
G12-7	95,0	4,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0
G13-Q1	75,0	4,0	0,0	14,0	3,0	4,0	0,0	0,0	100,0
G13-1	78,0	4,0	0,0	14,0	2,0	2,0	0,0	0,0	100,0
G13-Q2	76,0	10,0	0,0	12,0	1,0	1,0	0,0	0,0	100,0
G13-2	76,0	10,0	0,0	10,0	3,0	1,0	0,0	0,0	100,0
G13-Q3	87,0	3,0	0,0	8,0	1,0	1,0	0,0	0,0	100,0
G13-Q4	84,0	3,0	0,0	9,0	2,0	2,0	0,0	0,0	100,0
G13-3	93,0	4,0	0,0	2,0	0,5	0,5	0,0	0,0	100,0

Anhang D: Grafische Darstellung der mineralogischen Ergebnisse in den Bohrungen Gips 1, 2, 8, 12 und 13

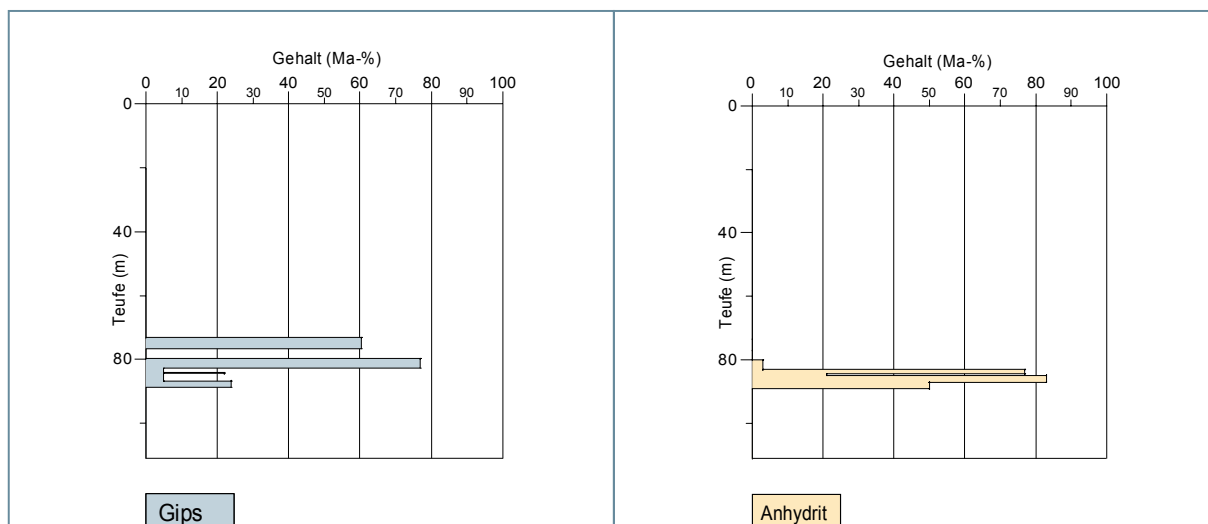
Bohrung 1 Einzelproben - Sulfate



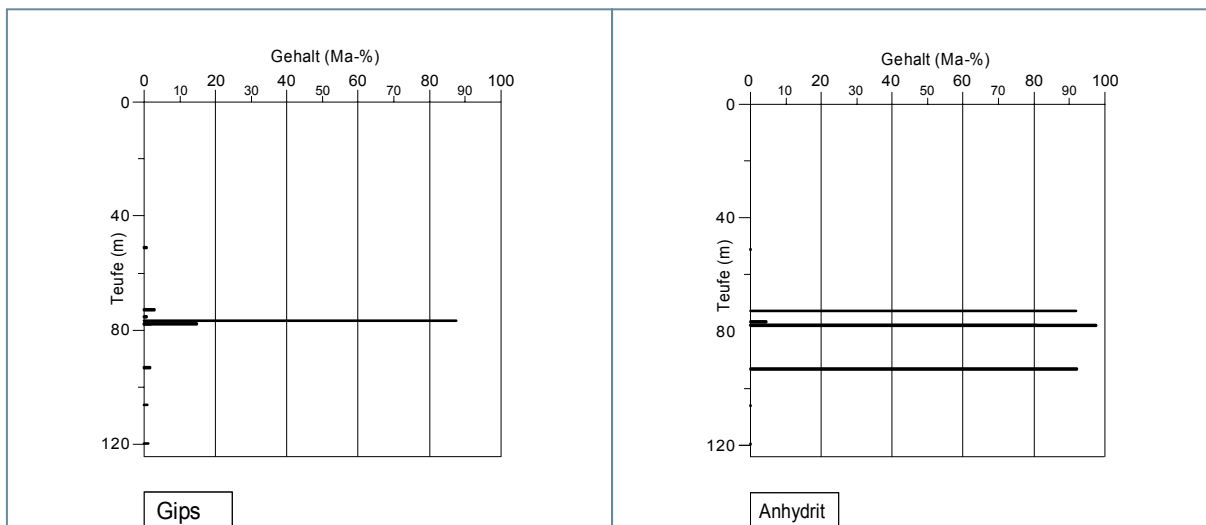
Einzelproben - Gesamtmineralogie



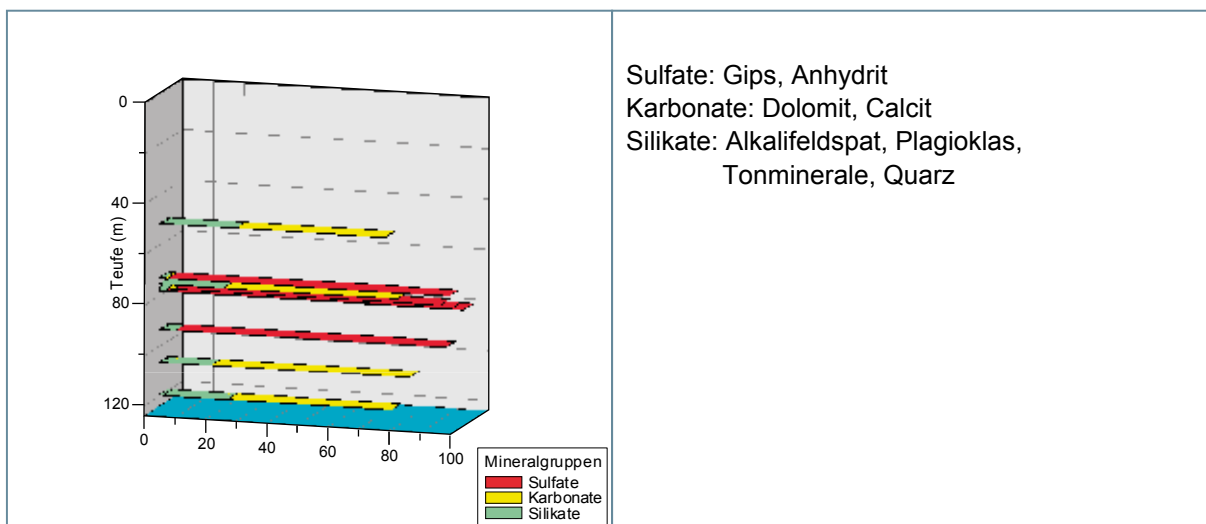
Mischproben (Q)



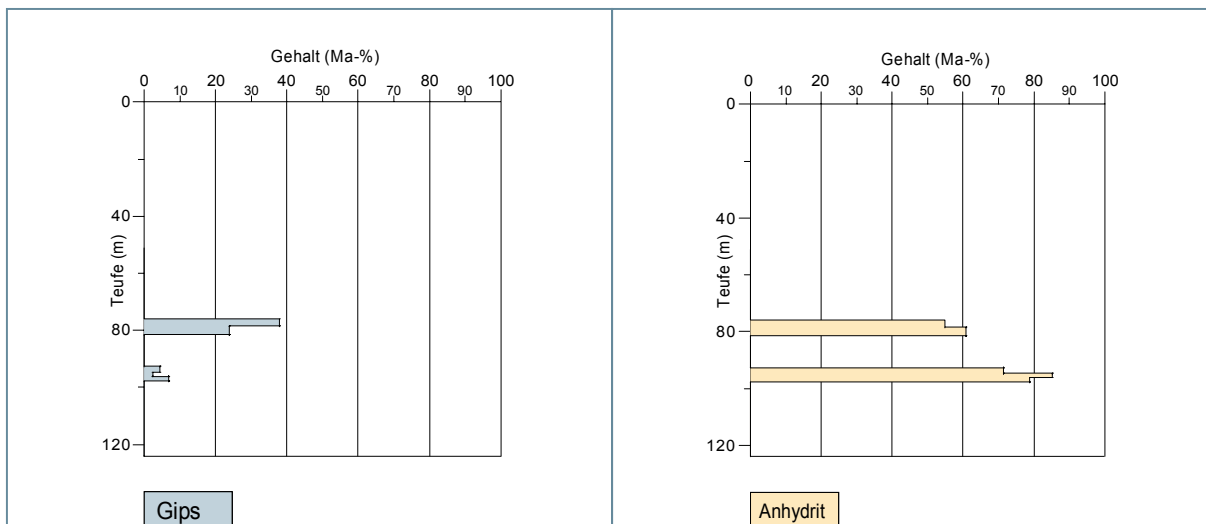
Bohrung 2 Einzelproben - Sulfate



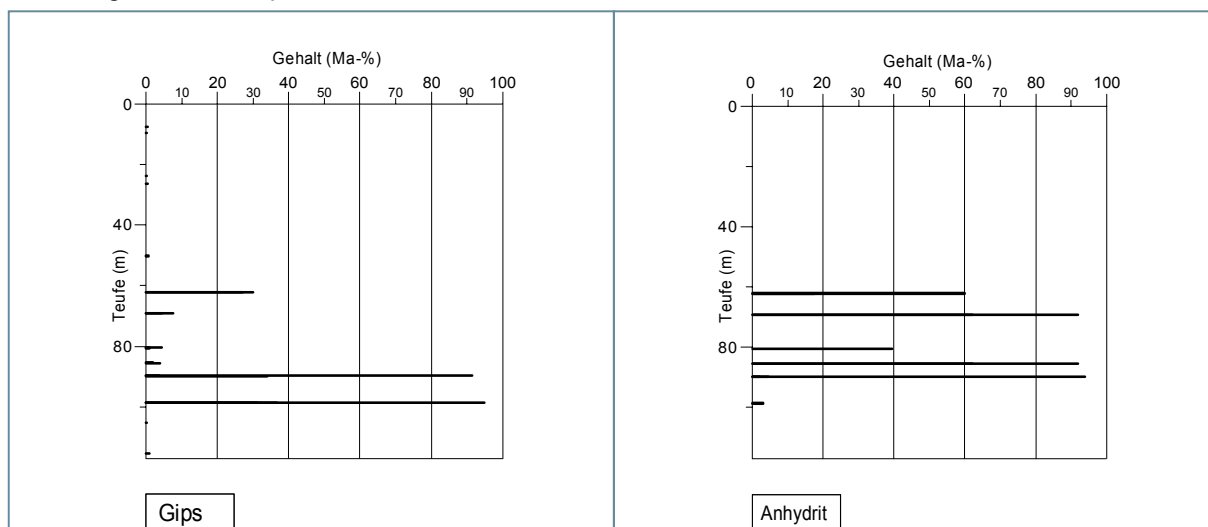
Einzelproben - Gesamtmineralogie



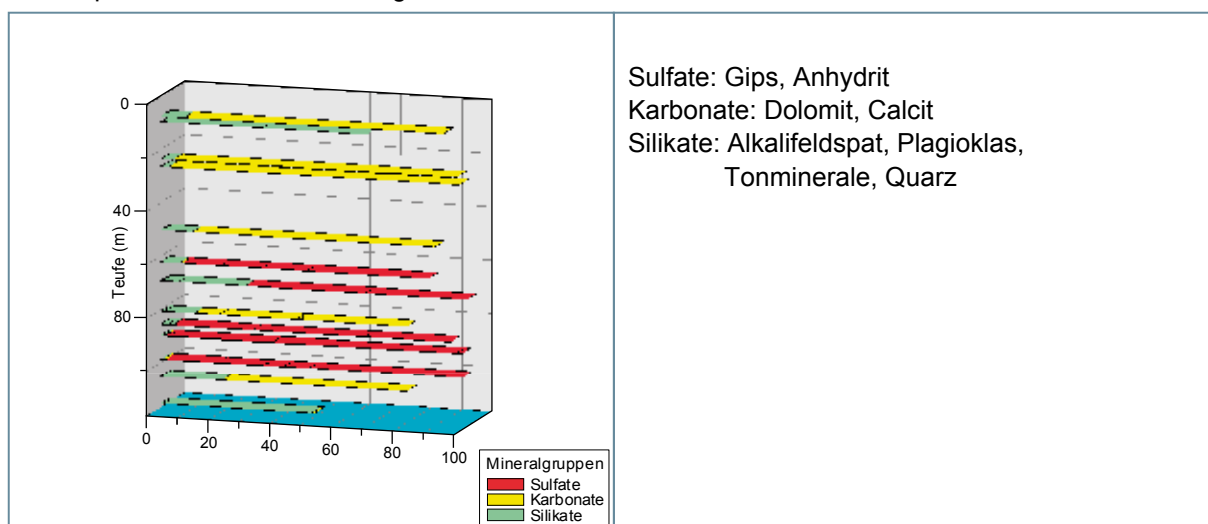
Mischproben (Q)



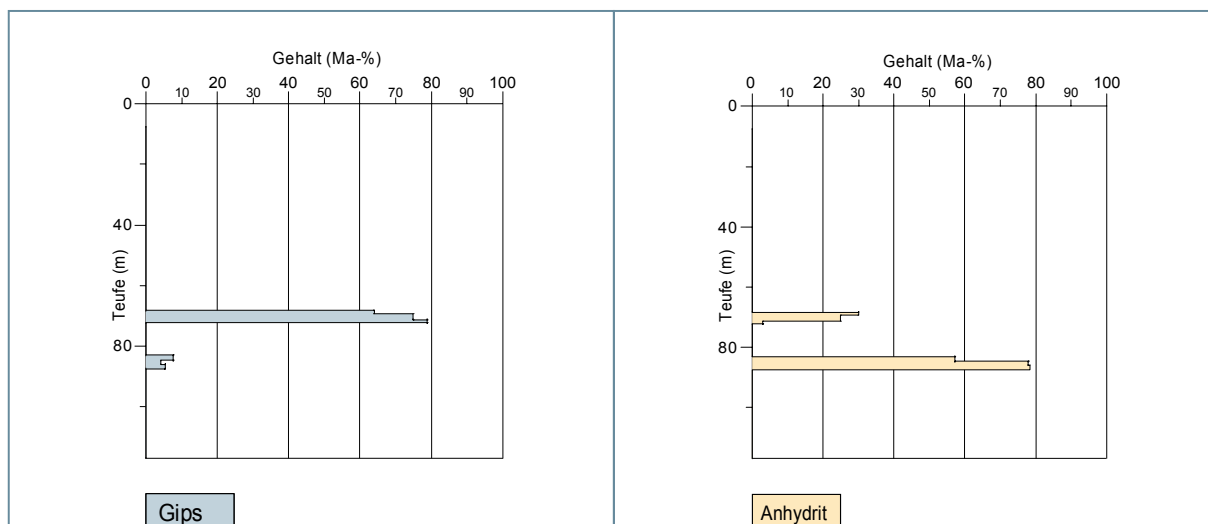
Bohrung 8 Einzelproben - Sulfate



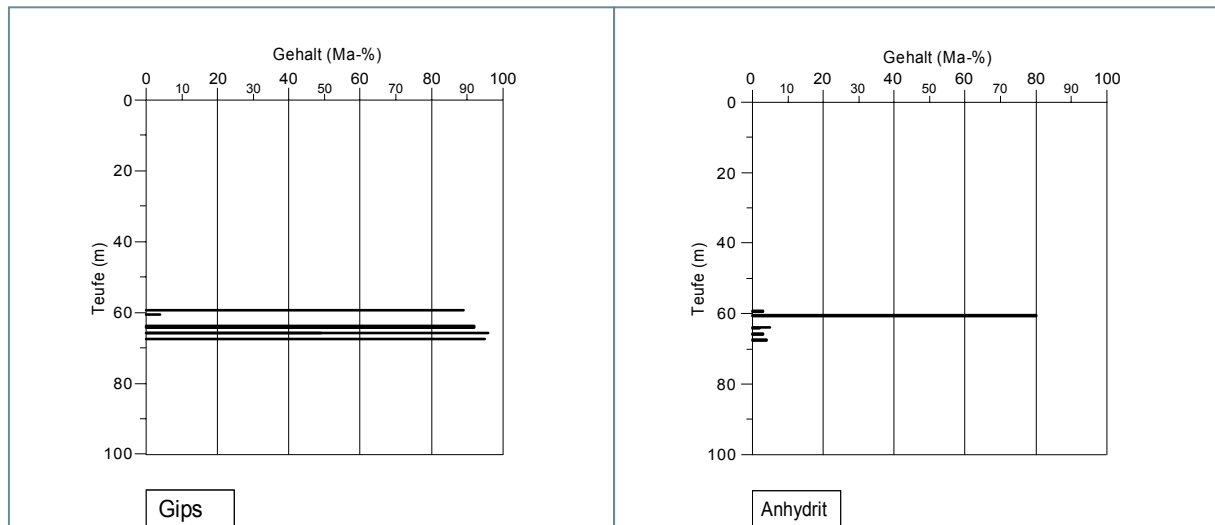
Einzelproben - Gesamtmineralogie



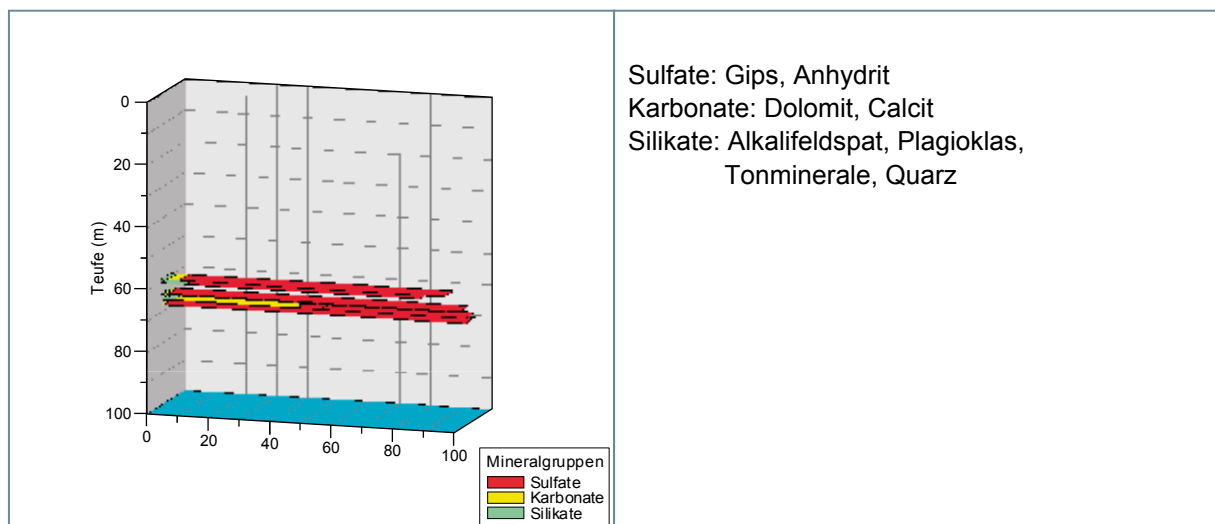
Mischproben (Q)



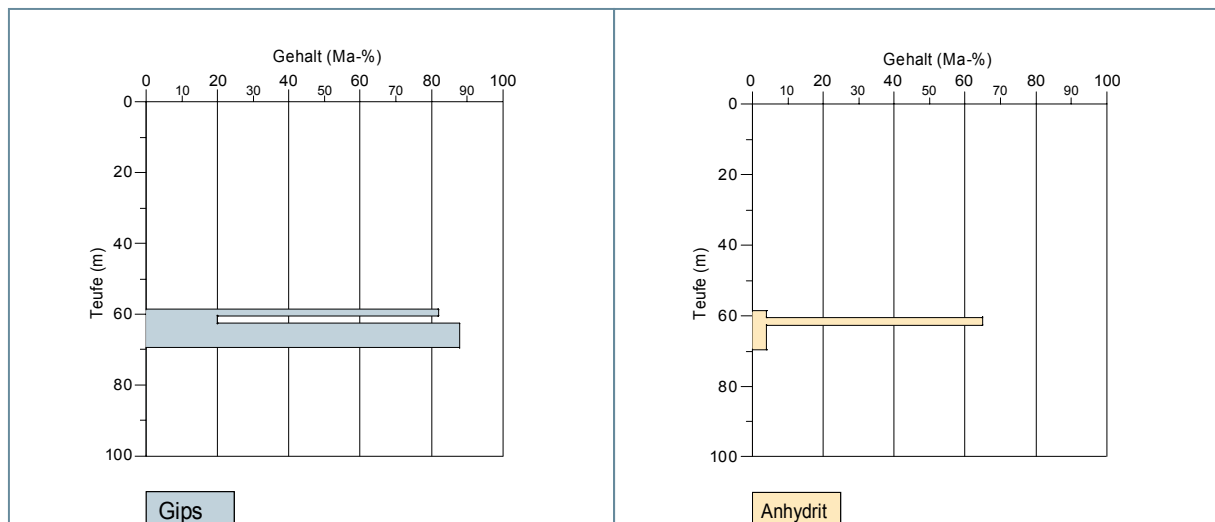
Bohrung 12 Einzelproben - Sulfate



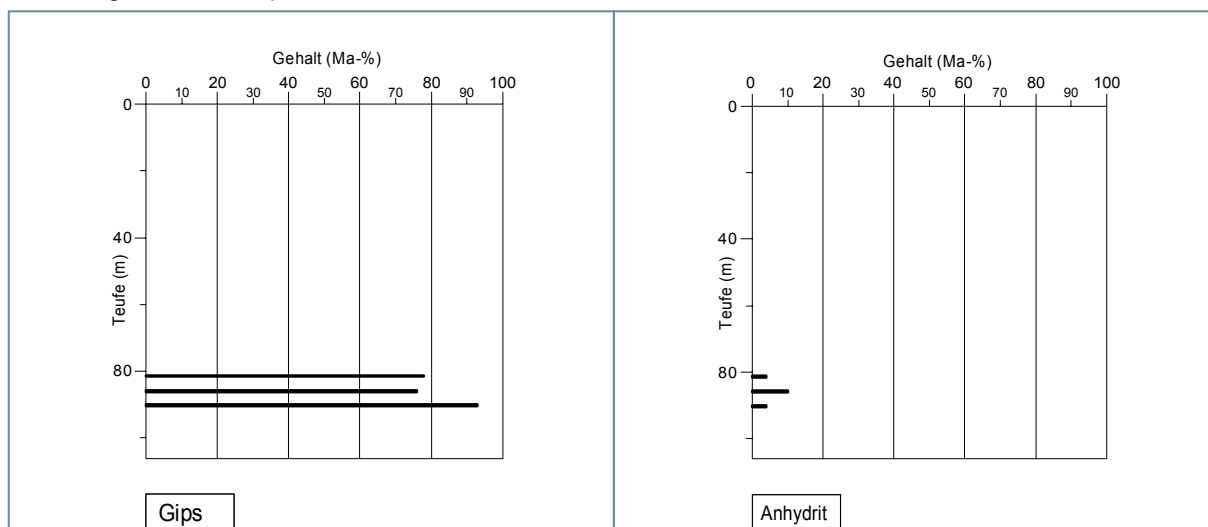
Einzelproben - Gesamtmineralogie



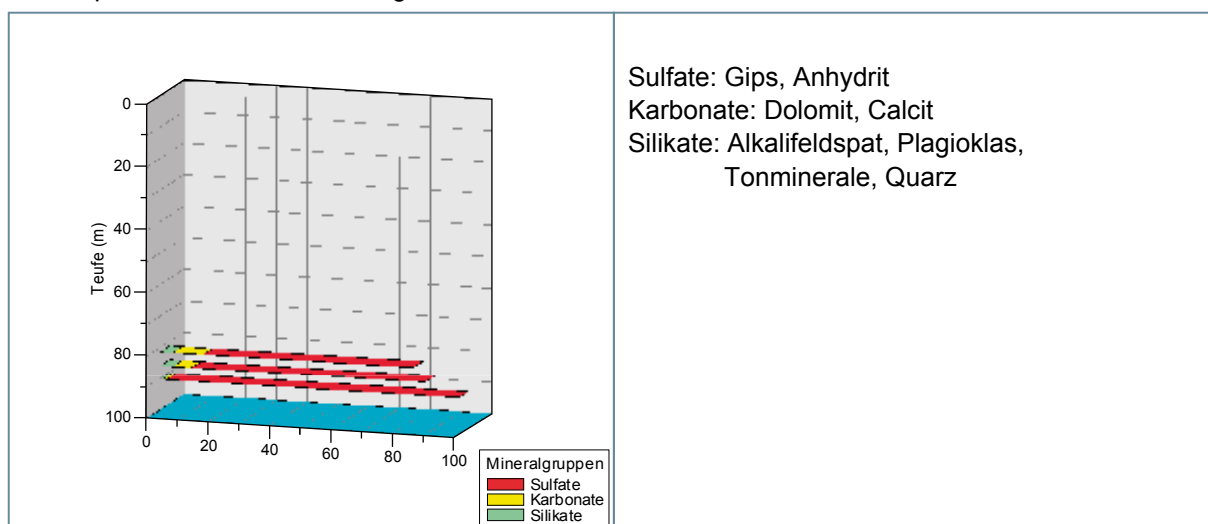
Mischproben (Q)



Bohrung 13 Einzelproben - Sulfate



Einzelproben - Gesamtmineralogie



Sulfate: Gips, Anhydrit
 Karbonate: Dolomit, Calcit
 Silikate: Alkalifeldspat, Plagioklas,
 Tonminerale, Quarz

Mischproben (Q)

