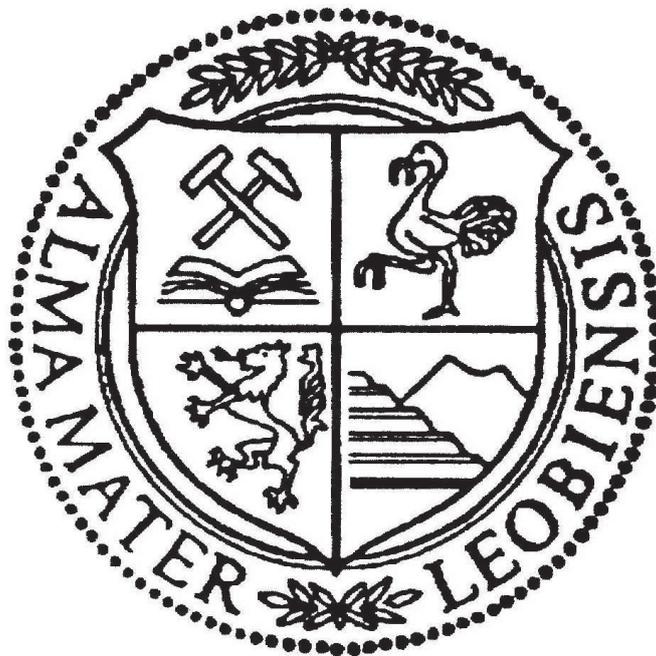


**Interpretation der faziellen und hydrogeologischen Verhältnisse des
Raumes Baden/Bad Vöslau aufgrund von Bohrlochmessungen und
seismischen Profilen**

Magisterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades eines Diplomingenieurs
der Studienrichtung Angewandte Geowissenschaften
an der Montanuniversität Leoben



Bakk.techn. Nina Maria Gegenhuber

eingereicht am

Lehrstuhl für Prospektion und Angewandte Sedimentologie
im Department Angewandte Geowissenschaften und Geophysik

Leoben, November 2007

Ich versichere an Eides statt, die vorliegende Diplomarbeit selbstständig und nur mit Hilfe der angegebenen Quellen verfasst zu haben.

*Alles Wissen und alles Vermehren unseres Wissens endet nicht
mit einem Schlusspunkt, sondern mit einem Fragezeichen.*

(Hermann Hesse)

Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer, Herrn Hon.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Christian Schmid, bedanken, der trotz vieler Verpflichtungen immer Zeit für mich gefunden hat und mir mit Rat und Tat zur Seite stand.

Mein weiterer Dank gilt besonders Herrn Hon.Prof. Dr.rer.nat.habil. Jürgen Schön, der sich viel Zeit genommen hat um mir bei den petrophysikalischen Problemen und geophysikalischen Bohrlochmessungen zur Seite zu stehen und mir zusätzlich moralische Unterstützung bei den Treffen gegeben hat.

Prof. Dr. Wessely war für diese Diplomarbeit eine wichtige Stütze. Er nahm sich die Zeit um mir vorhandene Daten und Berichte, sowie die Geologie vor Ort, in allen Details zu erläutern und zu zeigen. Mein besonderer Dank gilt auch ihm.

Weiterer Dank gilt Herrn Köppl, Herrn Dipl.-Ing. Christoph Eichkitz und Herrn Dipl.-Ing. Markus Jud, die mir mit den Darstellungen der Logs halfen, Herrn Dr. Roman Leonhardt, der mir bei den petrophysikalischen Messungen zur Seite stand, sowie Herrn Dr. Reinhard Gratzer, der Unterstützung bei den Schliffotos bot. Ebenso gilt der Dank Frau Dr. Eva Wegerer, Frau Ursula Schmid und Herrn Dipl.-Ing. Lorenz Scheucher, die mir mit gutem Rat immer zur Seite standen.

Mein größter Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden, die mich in jeder Lage unterstützt haben. Ohne sie wäre ich nicht so weit gekommen.

Inhaltsverzeichnis

<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<i>1</i>
<i>Zusammenfassung</i>	<i>3</i>
<i>Abstract</i>	<i>4</i>
1 Einleitung	5
1.1 Veranlassung	5
1.2 Geographischer Überblick	6
2 Geologischer Rahmen	8
2.1 Allgemeine Geologie	8
2.1.1 Kalkalpin.....	8
2.1.2 Wiener Becken.....	10
2.1.3 Tektonik.....	14
2.2 Regionale Geologie um Baden und Bad Vöslau	16
2.3 Fazies für Thermalwasser und Mineralwasser	20
3 Beschreibung der Bohrungen, Analysen und Zuflüsse	23
3.1 Bad Vöslau 6/1, 6/2 und 7	23
3.2 Baden	25
4 Hydrochemie	26
4.1 Baden	26
4.2 Bad Vöslau	27
4.3 Vergleich Baden-Bad Vöslau	28
5 Petrophysik	30
5.1 Probennahme	30
5.1.1 Wettersteinkalk.....	31
5.1.2 Wettersteindolomit.....	31
5.1.3 Vöslauer Konglomerat.....	32
5.1.4 Gainfarner Brekzie.....	33
5.2 Grundlagen	34
5.2.1 Probenvorbereitung.....	34
5.2.2 Dichtebestimmung.....	35
5.2.3 Ultraschallmessungen.....	36
5.2.4 Elektrische Messungen.....	37
5.3 Auswertung und Porositätsberechnung	40
5.3.1 Porosität aus der Massebestimmung.....	40
5.3.2 Ergebnisse der Ultraschallmessung, Korrelation von Geschwindigkeit und Porosität.....	41
5.3.3 Formationsfaktor und Porosität aus den elektrischen Messungen.....	45
5.3.4 Vergleich der Porosität aus den akustischen und den elektrischen Messungen.....	48
5.4 Zusammenfassung	49

6	<i>Geophysikalische Bohrlochmessungen</i>	50
6.1	Grundlagen der Bohrlochmessungen	50
6.2	Korrelation	53
6.2.1	Korrelation der Gammalogs sämtlicher Bohrungen	53
6.2.2	Korrelation Bad Vöslau 6 (neu) und 7	55
6.2.3	Temperaturabfolge	57
6.3	Porositätsabschätzung	58
6.3.1	Methodik	58
6.3.2	Bad Vöslau 7	59
6.3.3	Bad Vöslau 6 (neu).....	61
6.3.4	Baden	63
6.3.5	Bad Vöslau 6 (alt)	65
6.3.6	Zusammenfassende Betrachtung.....	67
7	<i>Verzeichnisse</i>	70
7.1	Literaturverzeichnis	70
7.2	Abbildungsverzeichnis	72
7.3	Tabellenverzeichnis	74
Anhang	75

Zusammenfassung

In dieser Arbeit werden die Bohrungen Baden und Bad Vöslau 6 (alt & neu) und 7 hinsichtlich der Fazies und der Hydrogeologie betrachtet. Für die Geologie und die Bearbeitung der Logs wurde zum Großteil auf Literatur („Niederösterreich“, 2006) von Prof. Dr. Wessely zurückgegriffen.

Für die petrophysikalische Auswertung wurden Proben an der Oberfläche genommen. Logs wurden vom Joanneum Research Leoben bereitgestellt. Als Problem stellte sich das Fehlen der Kombination Dichte-Neutron-Logs heraus, da diese für die Porositätsberechnung von Vorteil gewesen wären.

Die Porositäten (aus der Masse, aus elektr. und akust. Messungen) wurden von den Proben verglichen. Bis auf kleine Schwankungen korrelierten die Daten gut.

Es wurde der Vergleich von hydrochemischen Bestimmungen vorgenommen, da sich die Wässer von Baden und Bad Vöslau stark unterscheiden. Zuletzt wurden die vorhandenen Logs bearbeitet. Die Porosität wurde aus den Sonic-Logs berechnet. Korrelationen wurden aus den Gammalogs erstellt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Modell zu Geologie und Hydrologie von Prof. Dr. Wessely durch die vorhandenen Bohrlochmessungen weder unterstützt noch verändert werden konnte. Auf Grund des unterschiedlichen BLM-Programms an den bearbeiteten Bohrungen, konnte keine absolute Porositätsberechnung getroffen werden und die Korrelationen waren nur aufgrund geologischer Profile möglich. Gammalogs alleine liefern keine optimale Korrelationsgrundlage für Karbonat-Bereiche.

Abstract

This diploma paper looks at the drillings in Baden and Bad Vöslau (6 (old), 6 (new) and 7), concerning the facies and hydrogeology. For geology and the treatment of the logs, literature of Prof. Dr. Wessely was used. The main work was his publication "Niederösterreich" in 2006.

The basis for the petrophysical analysis formed samples, which were taken on the surface. Logs were made available by Joanneum Research Leoben. A problem were the missing combination density-neutron-logs, because these are important for the estimation of porosity. Porosities (out of mass, electrical and acoustical measurements) from the samples were compared. With the exception of some little deviations the dataset correlate very well.

Additional a comparison of hydro-chemical determination was made, because the water of Baden and Bad Vöslau are different.

Last but not least, the available logs were processed. The porosity was calculated out of the sonic-logs. A correlation was made with the gamma-logs, one with all drillings and a second with Bad Vöslau 7 and 6 (new).

In summary, the geology and the theories about the hydrology of Prof.Dr. Wessely cannot be supported but also cannot be refuted by the available drilling measurements. It was impossible to get absolute porosities, because of the different well-logging-program and the correlations were only possible because of the geological profiles. Additional, gamma-logs are not the best correlation method for carbonate areas.

1 Einleitung

1.1 Veranlassung

Die Erfassung der Tiefenwässer im Untergrund des südlichen Wiener Beckens hinsichtlich Aquifervolumina, Fließbewegung, Schüttungsmöglichkeiten, thermischen Potentials und chemischer Zusammensetzung wird angesichts der ansteigenden Bedarfsanmeldungen für balneologische oder thermische Nutzung des hydrologischen Systems eine dringende Notwendigkeit. Es soll damit eine Basis für Entscheidungen über Zulassung und Ausmaß von Entnahmen sowie deren Standort geschaffen werden bzw. Folgen bei Überschreitung derselben aufgezeigt werden.

In dieser Arbeit sollen auf Grund von Bohrlochmessungen in den Bohrungen Bad Vöslau 6, 7 und Baden, in den Aquiferen bearbeitet und mit den Zuflüssen verglichen, Chemismus und Leitfähigkeit der Flüssigkeiten untersucht, Anordnungen der Temperaturabfolge in den Bohrungen festgehalten und durch strukturelle Messungen Schicht- und Klüftlagerungen analysiert, um für das tektonische Modelling aus Geologie und Seismik Daten liefern zu können. Zusätzlich werden petrophysikalische Parameter von Gesteinsproben von der Oberfläche verwendet.

Die Arbeit stellt eine wichtige Flankierung einer umfassenden Studie dar, die von Vertretern der Geologischen Bundesanstalt und Universitäten im Rahmen der Akademie der Wissenschaften durchgeführt wird und die ausgehend von einem geologisch-strukturellen Modelling die hydrologischen, thermischen und chemischen Gegebenheiten und ihren Entwicklungstrend im südlichen Wiener Becken ermitteln soll.

1.2 Geographischer Überblick

Geographisch gesehen, liegen die betrachteten Bohrungen nur wenige Kilometer von einander entfernt, in Niederösterreich, am Südwestrand von Wien (Abb. 1). Die Bohrung Baden liegt auf einer Seehöhe von ca. 230 m, Vöslau 7 auf ca. 250 m und Vöslau 6 (alt und neu) auf ca. 245 m. Zwischen der Bohrung in Baden und Bad Vöslau liegen ungefähr 4 km, zwischen Vöslau 6 und 7 nur 0,9 km.



ABBILDUNG 1: ÜBERBLICK DER LAGE VON BADEN UND BAD VÖSLAU (ÖK 1:200 000)

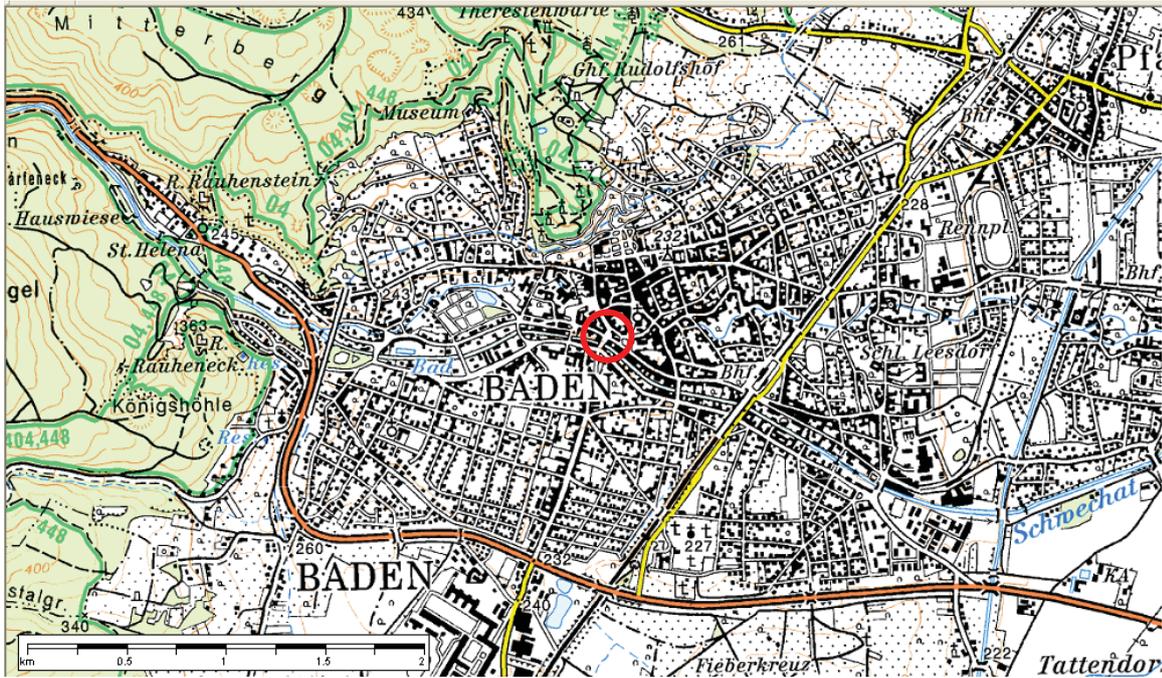


ABBILDUNG 2: LAGE DER BOHRUNG JOSEFSPLATZ 1 IN BADEN (ÖK 1:50 000)

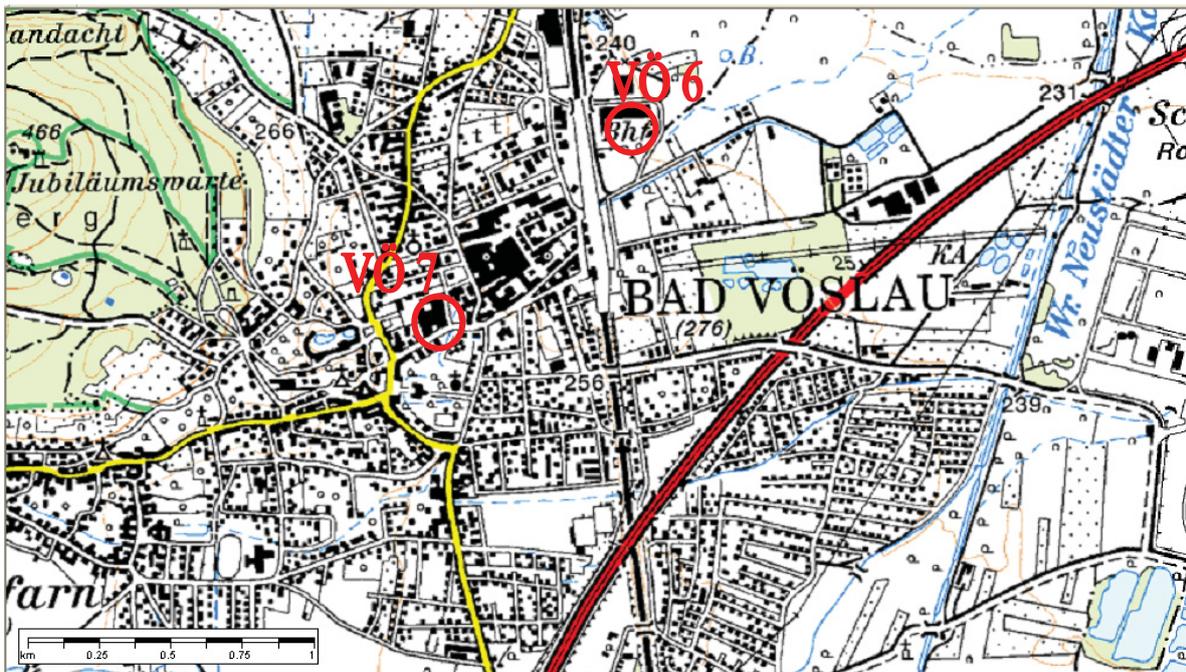


ABBILDUNG 3: LAGE DER BOHRUNGEN 6 UND 7 IN BAD VÖSLAU (ÖK 1: 50 000)

Über die hier betrachteten Bohrungen wurden schon mehrere Berichte über den Chemismus, die Geologie und die Bohrlochmessungen verfasst. Grundlagen für diese waren die Bohrung von Baden am Josefsplatz (Abb. 2), die 1994 vertieft wurde, die Bohrungen 6 (alt), 6 (neu) und 7 in Bad Vöslau (Abb. 3). Die Bohrung Bad Vöslau 6 (alt) wurde durch 6 (neu), die nur wenige Meter entfernt liegt, aufgrund von technischen Problemen ersetzt. Weitere, ältere Bohrungen, liegen in Bad Vöslau, in der Bahngasse, sowie die in der Nähe gelegenen Bohrungen S1 und S3.

2 Geologischer Rahmen

2.1 Allgemeine Geologie

Die Geologie von Niederösterreich wurde in den letzten Jahren immer wieder aufgegriffen. 2006 brachte Prof. Dr. Wessely mit dem Buch „Niederösterreich“ eine umfassende Beschreibung der geologischen Verhältnisse, von den grundlegenden geologischen Einheiten, über die Hydrogeologie, Erdöl und Erdgas bis hin zu Massenbewegungen, heraus. Aus diesem Werk wurden der Großteil der Geologie und Hydrogeologie, sowie die Abbildungen entnommen.

Zu Beginn wird im geologischen Rahmen auf die allgemeine Geologie mit dem Kalkalpin und dem Wiener Becken eingegangen. Später erfolgt der geologische Überblick im Raum Baden und Bad Vöslau.

2.1.1 Kalkalpin

Der Tiefgang der Kalkalpen unter dem Wiener Becken beträgt bis zu 8 km unter Seehöhe, wobei dieser hier weniger als 20 km schmal, die Flanken steil gestellt und die stirnnahen Bereiche überkippt sind.

Die Kalkalpen werden in 3 große Einheiten gegliedert (vom Liegenden zum Hangenden): das Bajuvarikum, das Tirolikum und das Juvavikum. Diese werden in weitere Decken untergliedert, wobei für den betrachteten Bereich nur das Tirolikum wichtig ist, da dies bei Bad Vöslau einen Sporn ausbildet (Abb. 4).

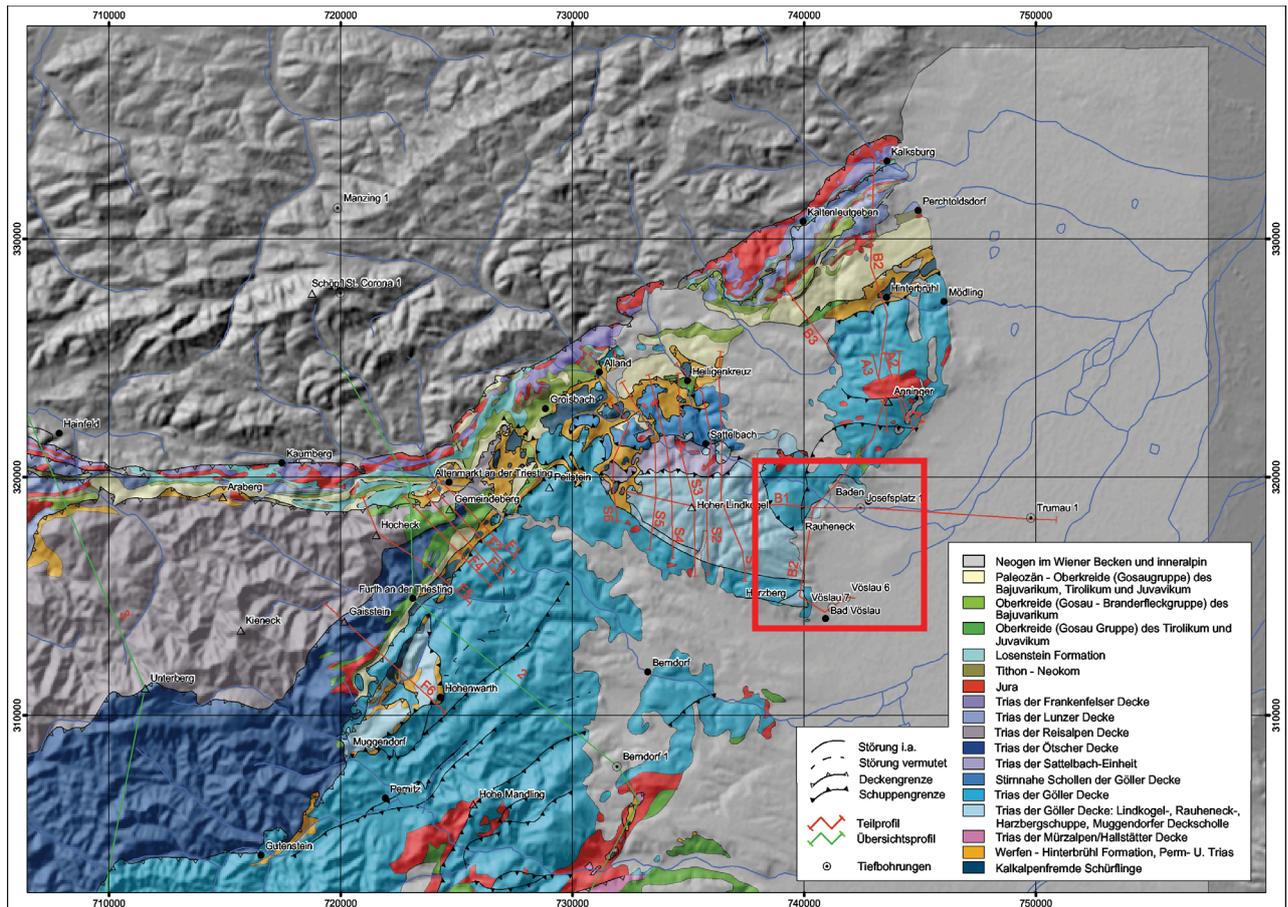


ABBILDUNG 4: OSTABSCHNITT DER KALKALPEN (WESSELY, 2006, SEITE 108)

Die Entstehung der Kalkalpen beginnt im Oberperm, mit der Bildung von Evaporiträume, aus denen später das Haselgebirge entsteht. Zu dieser Zeit setzt eine Riftphase ein, die bis in den Lias andauert. Am Beginn der Trias werden marine Klastika abgelagert (Werfener Schichten, Alpiner Buntsandstein), in der Mitteltrias entstehen Schichtfolgen mit Ausbildung von Karbonatplattformen (Wettersteinkalk). Mit Beginn der Obertrias folgt ein Meeresspiegeltiefstand und somit ein Ende der Karbonatproduktion und ein Anfang von mehr Eintrag von siliziklastischen Sedimenten aus dem Hinterland. Danach folgt wieder die Ausbildung von Karbonatplattformen (Dachsteinkalk).

Im Jura führt die einsetzende Öffnung der alpinen Tethys zu einer Krustenausdünnung im bajuvarischen Raum und einer pelagischen Kalk- und Mergelentwicklung. Mit der Meliataschließung folgte intensive Brekzienbildung. In der Kreide tritt die Kalkplattenentwicklung zurück und es kommt zu Ablagerungen von Mergel und sandigen Sedimenten (EBNER, 1997).

Es kommt im Paläogen zur Überschiebung des Kalkalpenkörpers auf die Flyschzone. Danach folgen die Einsenkung des Wiener Beckens und die schrittweise Heraushebung der Kalkalpen.

Der Körper der Kalkalpen wird während und nach der Überschiebung immer wieder tektonisch beansprucht, wobei die Hauptbewegung in der Ost-gerichteten Escape-Tektonik liegt.

Als die Hauptbahnen dieser Bewegung werden die Periadriscche Naht im Süden und die SEMP (Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Linie) im Norden angenommen. Hierzu sind jedoch unterschiedliche Meinungen vorherrschend.

Eine wichtige Störung, die bis in den Untergrund des Wiener Beckens reicht, ist die Mürztalstörung. An den Rändern und im Becken steht ein WNW-ESE streichendes Störungssystem im Vordergrund (WESSELY, 2006).

2.1.2 Wiener Becken

Die Form des Wiener Beckens wird als rhombisch beschrieben und erstreckt sich über eine Länge von etwa 200 km und eine Breite von maximal 50 km. Durch die Donau wird es in ein nördliches und ein südliches Gebiet geteilt. Geologisch gesehen, wird das Becken im Norden durch die Waschbergzone gegenüber der Molassezone begrenzt. Im Osten liegen die Flyschzone und die Zentralkarpaten. Im Süden liegt das weitläufige pannonische Becken-System. Gegen Westen hin grenzen die Flyschzone, die Kalkalpen und die Zentralalpen an das Becken (Abb. 5).

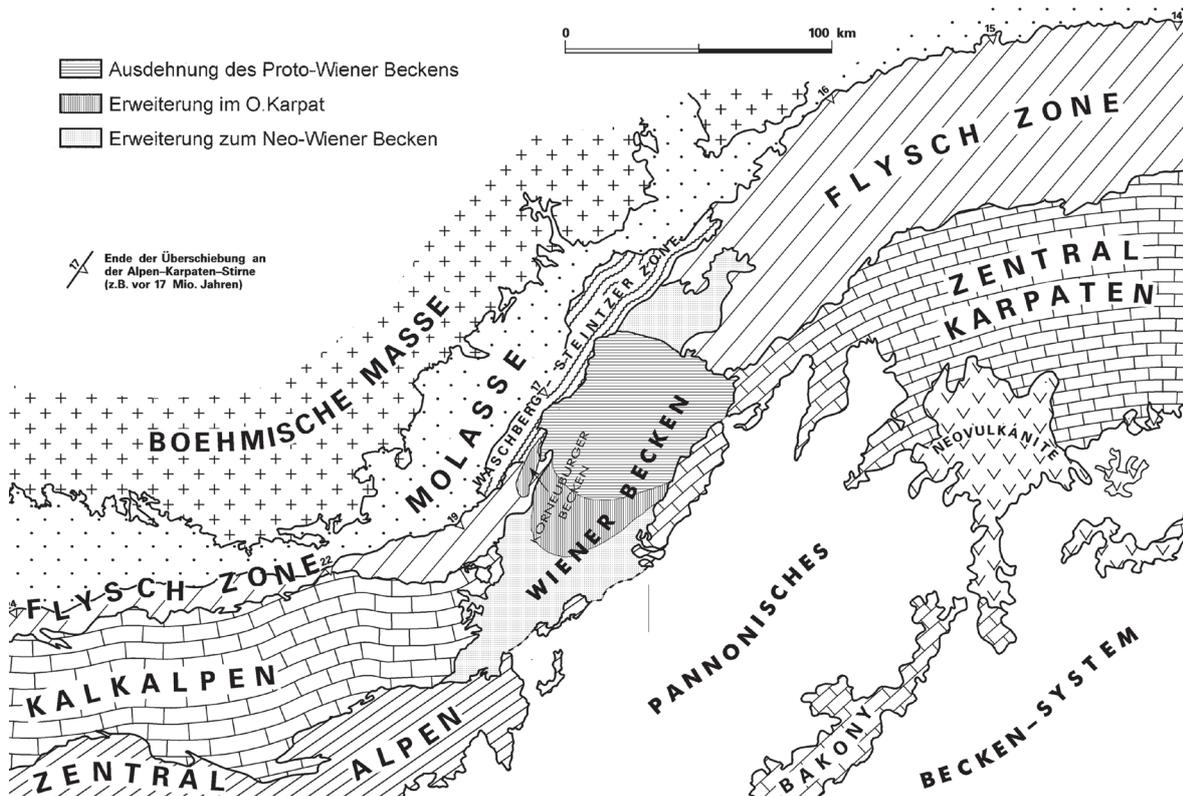


ABBILDUNG 5: GEOLOGISCHER ÜBERBLICK (WESSELY, 2006; SEITE: 190)

Entwicklungsgeschichte des Wiener Beckens

Durch die N-S Kompression während der Spätphase der alpin-karpatischen Überschiebungstektonik wurden, aufgrund von Platzmangel, Krustenteile in den Osten gedrückt. Die Folge dieser „Escape –Tektonik“ waren Seitenverschiebungen. Letzte Bewegungen sind im Pannonium vor ca. 9 Millionen Jahren in Rumänien bekannt. Durch die rhombische Form und die Kulissenbrüche wird auf ein Pull-apart-Becken geschlossen. Die Entwicklung des Beckens lässt sich zeitlich und räumlich in drei Phasen untergliedern, das Prä-Wiener Becken, das Proto-Wiener Becken und das Neo-Wiener Becken. Dargestellt wird diese Entwicklung in Abbildung 6.

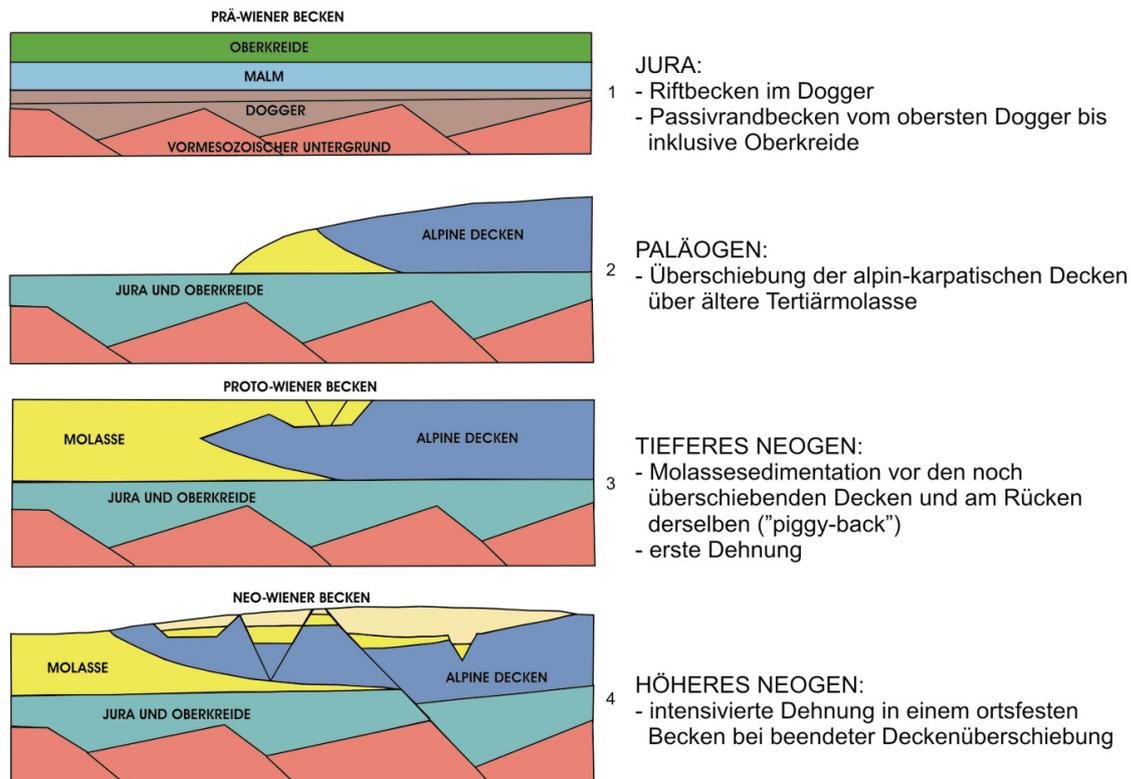


ABBILDUNG 6: ENTSTEHUNG DES WIENER BECKENS (WESSELY, 2006, SEITE: 196)

Prä-Wiener Becken

Im Dogger überlagert den Kristallinsockel der Böhmisches Masse ein Riftbecken. Im Malm und der Kreide entsteht daraus ein Passivrandbecken. Dem im Eozän bis Oligozän entstehenden Vorlandbecken wurden alpin-karpatische Einheiten überschoben. Es fand ein Vorschub dieser Decken im Oligozän statt.

Proto-Wiener Becken

Im tieferen Neogen (Eggenburgium-Karpatium) schieben sich die Decken weiter Richtung Nordwesten. Die Sedimente, die zu dieser Zeit entstehen greifen über die Decken, wo sie als „Piggy-Back-Becken“ auflagern und mitbewegt werden. Zusätzlich zu dieser Weiterbewegung treten Pull-apart-Effekte, wie zum Beispiel Dehnungen, auf.

Die Hauptverbreitung dieses Beckens liegt heute im Norden. Zwischen diesem und dem Neo-Wiener Becken liegt eine stark tektonische Phase. Darauf folgt kräftige Erosion.

Neo-Wiener Becken

Im höheren Neogen lag das Wiener Becken schon in seiner heutigen Position. Jedoch fanden noch starke Dehnungen statt. Die Überschiebung war zu diesem Zeitpunkt beendet. Aus diesem Zeitraum resultieren die tektonischen Hauptelemente des Wiener Beckens.

Die auftretenden Brüche sind häufig durch Zerrmechanismen kulissenartig angeordnet. Am Nordwestrand (Poysbrunner Scholle, Mistelbacher Scholle und Mödlinger Scholle) und am Südostrand (Südostrandscholle) treten einige Randschollen auf. Die Strukturen wechseln bei diesen von tief bis hin zu seicht. Durch die Schleppungen, das Roll-over, die Parallel- und Gegenbrüche ist der Bereich des Wiener Beckens als Öl- und Gasfallen von Bedeutung.

Es treten mehrere Gräben im Wiener Becken auf, wie die Wiener Neustädter, die Mitterndorfer und die Lassener Senke. Diese stehen in Verbindung mit einer sinistralen Seitenverschiebung, die mit der Mur- und Mürzstörung in Zusammenhang steht. Entlang der Seitenverschiebungen und der Überschiebungsgrenze zwischen Grauwackenzone und Unter/Mittelostalpin sind die Schichten grabenartig eingetieft. Heute noch sind diese Bereiche seismisch aktiv.

Sedimente des Wiener Beckens

Die umfangreichen Sedimentstapel (vom Miozän bis in die Eis- und Nacheiszeit) zeigen durch die Meeresspiegelschwankungen eine Gliederung in mehrere Hauptsequenzen, die wiederum in mehrere rhythmische Abfolgen untergliedert werden können.

Sedimente des Proto-Wiener Beckens (Eggenburgium-Ottományium-Karpatium)

Diese Sedimente sind auf den nördlichen Teil des Wiener Beckens beschränkt und lassen sich als „Schlier“ der Molasse deklarieren. Zu Beginn treten im Eggenburgium die als Planularia-Schichten bezeichneten marinen, bunten Mergel auf. Diese lagern dem Flyschuntergrund auf. Den Schichten folgt weiter die Luschnitz-Formation, die aus grauen, geschichteten bis schiefrigen feinglimmerigen Tonmergeln besteht.

Ihre Mächtigkeit beträgt einige hundert Meter. Südlich des Matzener Rückens tritt die Luschtz-Formation nicht mehr auf. Im Karpatium entsteht die Laa-Formation, die aus Tonen und Sanden besteht, durch die Ausdehnung des marin entwickelten Beckens.

Im südlichen Wiener Becken folgt auf die Planularia-Schichten die Blockfließ-Formation. Diese besteht aus Sanden und Geröllhorizonten. Darauf folgt, durch eine Diskordanz getrennt, die Gänserndorfer-Formation, eine im Karpatium gebildete terrestrisch-limnische Schicht aus grauen und bunten Mergeln mit Sandsteinlagen.

Über dieser Formation liegt die Aderklaa-Formation. Als Bestand weist sie limnische, graue bis graugrüne Mergel, mit zum Teil mächtigen Sandsteinlagen, auf. Gebildet im oberen Karpatium beträgt ihre Mächtigkeit über 1000 Meter.

Sedimente des Neo-Wiener Beckens (Badenium)

Im nördlichen Teil ist der Faziesbereich überwiegend marin. Hingegen treten im südlichen Teil, durch eine Konkordanz getrennt, fluviatile Ablagerungen auf, die als Aderklaaer-Konglomerat bezeichnet werden. Das Material wurde durch Flüsse aus dem kalkalpinen, zentralalpinen und karpatischen Hinterland transportiert. Nach diesen Ablagerungen geht die Fazies in ein marines Milieu über.

Die Auersthal-Formation entwickelte sich aus einer limnisch-fluviatilen Fazies entlang des Matzener Rückens. Dies führte zu Wechsellagerungen von Süßwasserlagen und marinen Lagen bis zum Übergang zum Matzener Sand, der rein marin entwickelt ist. Die marine Beckenfüllung, bestehend aus grauen Tonmergeln, wird vom Badener Tegel überlagert.

An den Rändern des Wiener Beckens treten immer wieder Flussmündungen, und somit Fluss- und Seeablagerungen auf. Zwei Braunkohleflöze von Grillenberg bis Neusiedel entstanden durch einen ehemaligen Süßwassersee.

Unterschiedliche Tiefen lassen sich, zum Beispiel im Raum Vöslau bis Gainfarn erkennen, wobei die Gainfarn Brekzie in tieferem und das Vöslauer und Badener Konglomerat in höherem Milieu gebildet wurden. Leithakalke treten in typisch marinen Küsten- und Flachwasserfazies auf und können immer wieder am Rand des Wiener Beckens, wie am Nordsaum der Hainburger Berge, im Raum Wöllersdorf oder westlich und südwestlich von Herrenbaumgarten, erkannt werden.

Im Sarmatium entstand im Becken eine grünlichgraue, mergelig-sandige Fazies im Gegensatz zum Beckenrand, wo kalk-klastisches Material abgelagert wurde. Im Becken kommen immer wieder sandige Einschaltungen vor.

An den Beckenrändern kam es wie im Badenium zu Flachwasserablagerungen. In Buchten zum Beispiel wurden Oolithe abgelagert, wobei man durch diese auf eine erhöhte Salinität und einen Abfall des Kohlendioxidgehaltes schließen kann.

Im Pannonium gibt es keine Veränderung bei der Sedimentation, jedoch änderte sich der Salzgehalt bis zur Verbrackung. Dies lässt auf vermehrten Süßwassereintrag in ein Brackwassermeer schließen. Im unteren und mittleren Pannonium wurden Schotter von Flüssen eingetragen. Stärkerer fluviatiler Eintrag erfolgte dann im oberen Pannonium.

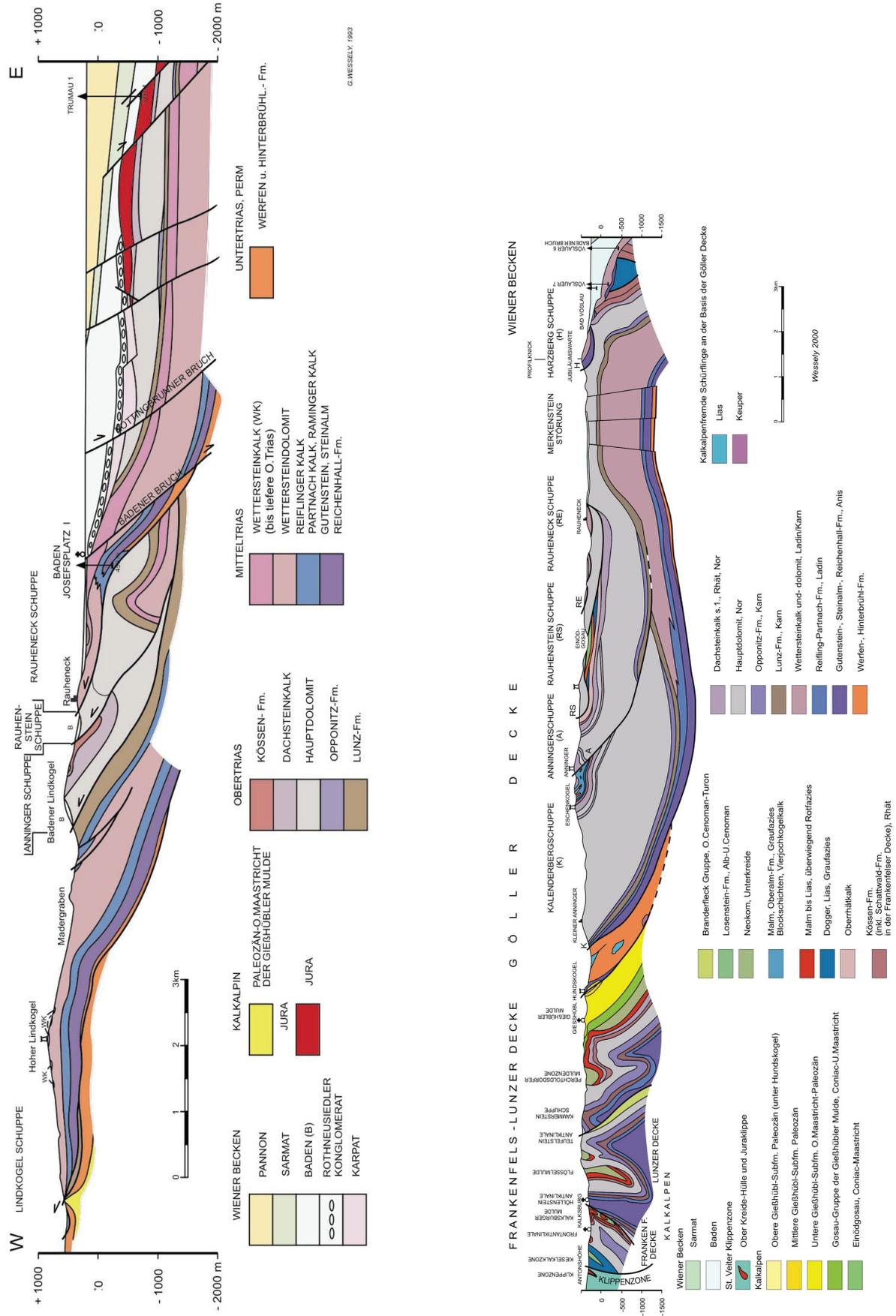
Im Oberpannonium überwiegen Sande, Schotter und Konglomerate, die in einen Süßwassersee eingesedimentiert wurden. Die Sedimente bestehen aus grauen, blauen, grünlichen, gelben und rötlichen Mergeln. Die Sande zeigen eine deutliche Kreuzschichtung. Weiters entstanden zu dieser Zeit Lignit-führende Schichten, die zum Teil zu Tagebauen von Kohle führten.

2.1.3 Tektonik

Nach der variszischen Gebirgsbildung herrschte im Perm ein kontinentaler bis flachmariner Ablagerungsraum vor. Ab der Mitteltrias begann die Veränderung mit der Öffnung des Tethys-Ozean und der somit neu entstehenden ozeanischen Kruste. Der Tethys-Ozean wurde durch die Plattenabschnitte aus dem Süden subduziert. Im Jura öffneten sich der südpenninische Ozean und anschließend der nordpenninische Ozean. Diese trennten den alpinen Schelf in einen ostalpinen und einen penninisch-helvetischen Teil. Ab der Unterkreide drängte die Afrikanisch-adriatische Platte nach Norden. Dies führte zum Einsetzen der Subduktion des penninischen Ozeans. Im ostalpinen Bereich kam es weiter zu Subsidenz mit Trogbildung, Auffaltungen, Überschiebungen und zu Erosion.

Bei der darauf folgenden Überschiebung kam das Ostalpin über dem Flysch und Penninikum zu liegen. Das Ostalpin wird wiederum in das Unter- und Oberostalpin unterteilt. Ab dem oberen Eozän begann sich die Molassezone im Norden in der Front als Vorlandbecken auszubilden. Durch Seitenverschiebungen kam es zum ostwärts gerichteten Ausweichen von Krustenkeilen. Diese Bewegung führte dann zum Einsenken des Wiener Beckens.

Als letztes der Orogenbildung stieg der Alpenkörper auf.



ABILDUNG 7 (LINKS): PROFIL AM BECKENRAND BEI BADEN (WESSELY, 2006, SEITE 163)

ABILDUNG 8 (RECHTS): PROFIL DURCH BAD VÖSLAU (WESSELY, 2006, SEITE 162)

2.2 Regionale Geologie um Baden und Bad Vöslau

Das Tirolikum der Kalkalpen, welches in dem betrachteten Bereich im Vordergrund steht, wird in die Reisalpendecke, die der Sulzbachdecke (Bajuvarikum) auflagert, die Ötscher-Decke sowie die Göller-Decke unterteilt. Von diesen Decken tritt nur die Göller Decke am Beckenrand von Mödling bis ins Piestingtal auf (WESSELY, 1983).

Stark gekennzeichnet ist der kalkalpine Bau durch E-W gerichtete Störungen, wie die Merkensteiner Störung, die den Körper in langgestreckte Schollen zerteilen.

Das Kalkalpin bildet im Nordwesten (Abb. 9) Teilüberschiebungen in Form der Rauheneck-, der Rauhenstein-, sowie der Lindkogel-Schuppe aus, wobei die Lindkogel-Schuppe weit nach Nordwest vorgeglichen ist. Die südwestliche Begrenzung bildet die Merkensteiner-Seitenverschiebung.

Durch das Umknicken der Stirn der Ötscher- und Göller Decke entstand ein Raumdefizit, das zu quergreifenden Schuppen und Schollenbildung durch Ausweichbewegungen führte (WESSELY, 2006).

Die Hauptmasse des Badener Lindkogels besteht aus mächtigen Wettersteindolomiten, überlagert von Wettersteinkalken, die bis in den Raum Rohrbach auftreten. Entlang des Westfußes treten Lunzer Schichten und Hauptdolomit auf (WESSELY, 1983).

Die mächtigen Folgen von Hauptdolomit werden im Bereich Oberlaa, Rothneusiedel und Kledering von geringmächtigen Lunzer- und Opponitzerschichten unterlagert (WESSELY, 1983).

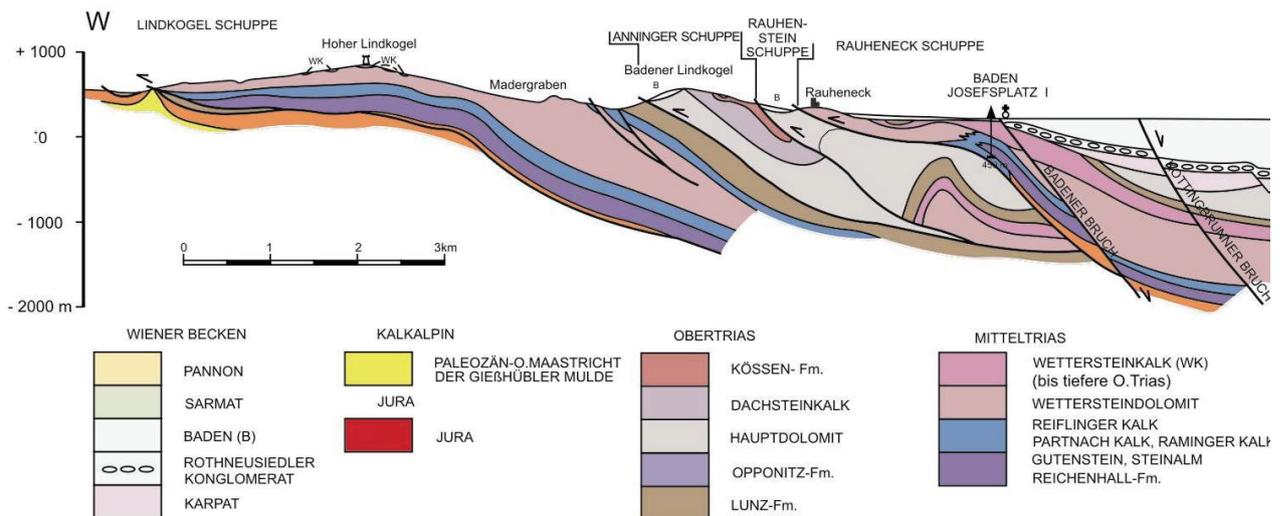


ABBILDUNG 9: GEOLOGISCHER SCHNITT BEI BADEN (WESSELY, 2006, SEITE 163)

Im Raum Bad Vöslau läuft parallel zur Merkensteinstörung die Abschiebung des Harzbergbruches, deren Bewegungsalter im tieferen Badenium liegen.

Die Lindkogeleinheit wird nördlich von Gainfarn und westlich von Vöslau von Dachsteinkalk und Einschaltungen von Kössener Schichten überlagert. Als tektonisches Äquivalent zur Rauhensteinschuppe im Raum Baden tritt hier die Harzbergsscholle auf, die im Süden durch die Harzbergstörung begrenzt ist. Die Harzbergstörung ist eine W-E streichende, 60° nach Süden geneigte Störungszone. Dieser Bruch trennt die Gainfarn Brekzie von Mitteltriadischen Kalken und Dolomiten, einmalig aufgeschlossen im Steinbruch am Harzberg.

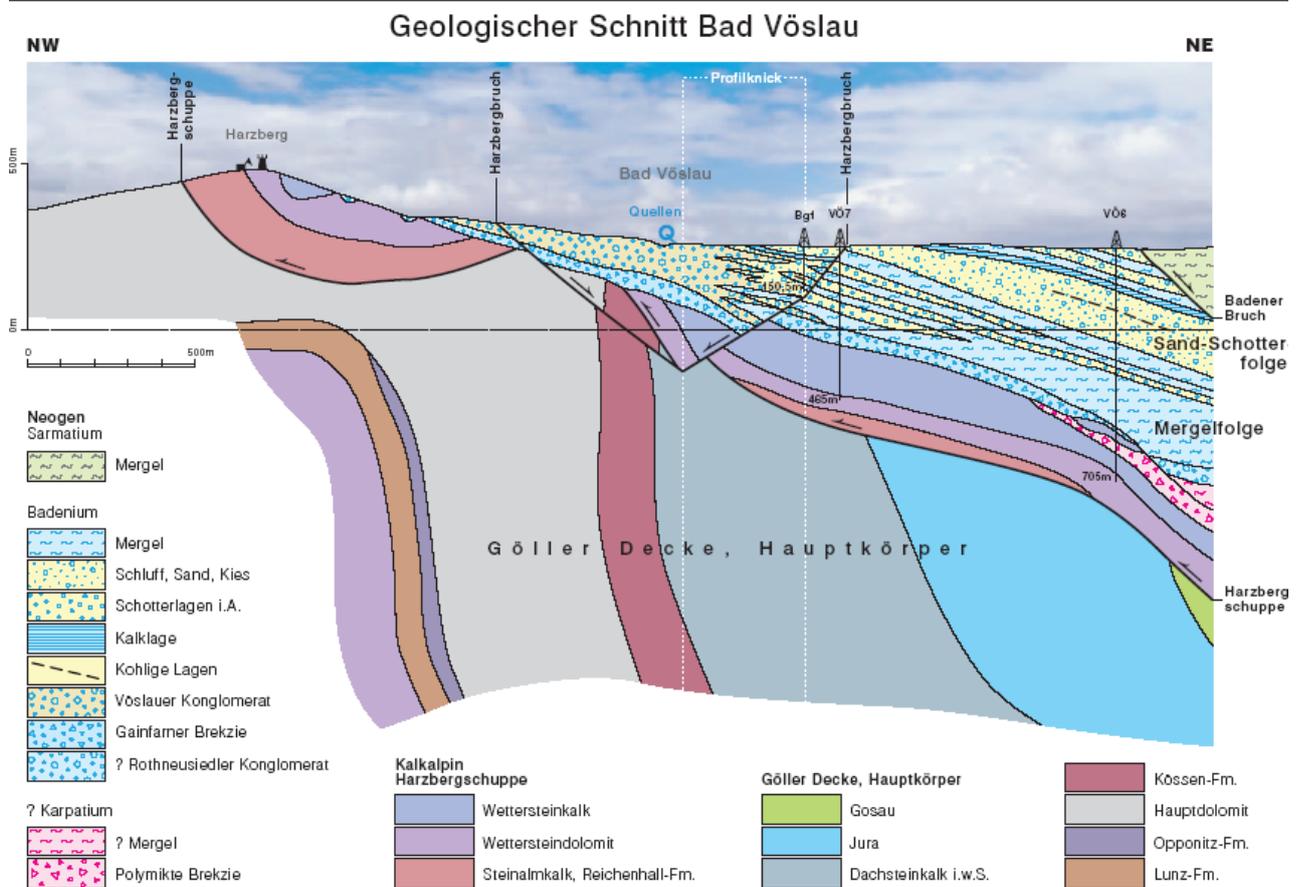


ABBILDUNG 10: PROFIL BEI BAD VÖSLAU (WESSELY ET AL., 2007, SEITE 423)

Im Raum Vöslau tritt ein Wechsel von Randfazies mit fluviatilen Eintrag und Beckenfazies auf. Die Gainfarn Brekzie, die aus kantigen Dolomitkomponenten besteht, tritt als Randfazies auf. Obertags ist diese am südlichen Rand des Harzberges wieder zu finden.

Höher folgt das Vöslauer Konglomerat mit gerundeten Komponenten von Kalkalpin und Flysch. Obertags tritt es am Ostrand des Harzberges, über den oberen Stadtteil von Bad Vöslau bis zum Gainfarner Bruch auf.

Die Stratigraphie ist in Abbildung 11 dazu dargestellt.

Die Beckenfazies besteht zum einen aus einem mergelreichen Abschnitt und zum anderen einem sand- und schotterreichen Abschnitt, erkennbar in Abbildung 10 (WESSELY, 2007). Ein weiteres Profil in dem Gebiet um Bad Vöslau wurde von Prof. Dr. Wessely (2002) für das Joanneum Research gezeichnet (Abb. 13). In diesem ist noch einmal der Beckenuntergrund dargestellt.

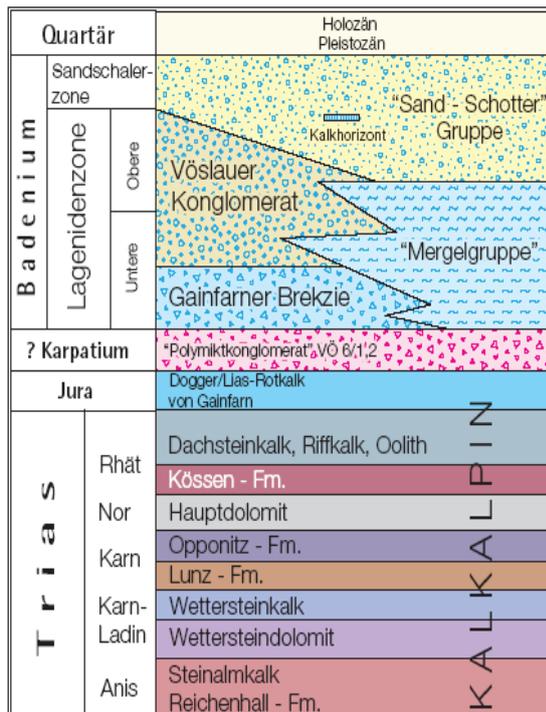


ABBILDUNG 11: STRATIGRAPHIE VON BAD VÖSLAU (WESSELY ET AL., 2007, SEITE 423)

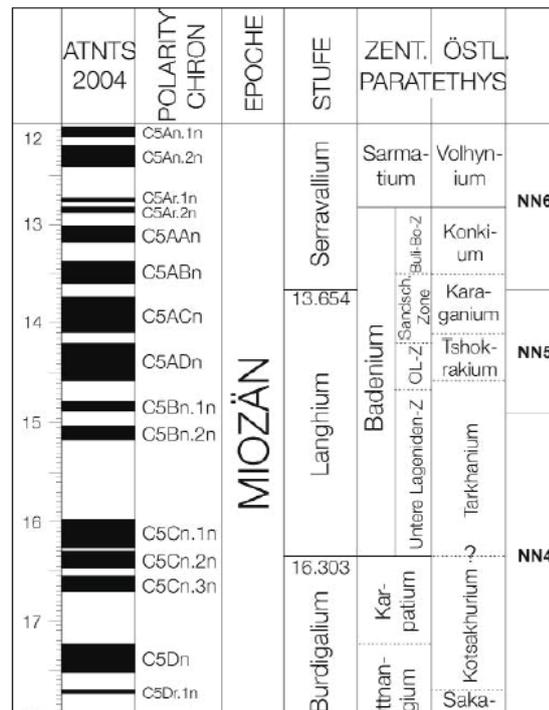


ABBILDUNG 12: STRATIGRAPHIE DES MIOZÄN IM WIENER BECKEN (WESSLEY ET AL., 2007, SEITE 423)

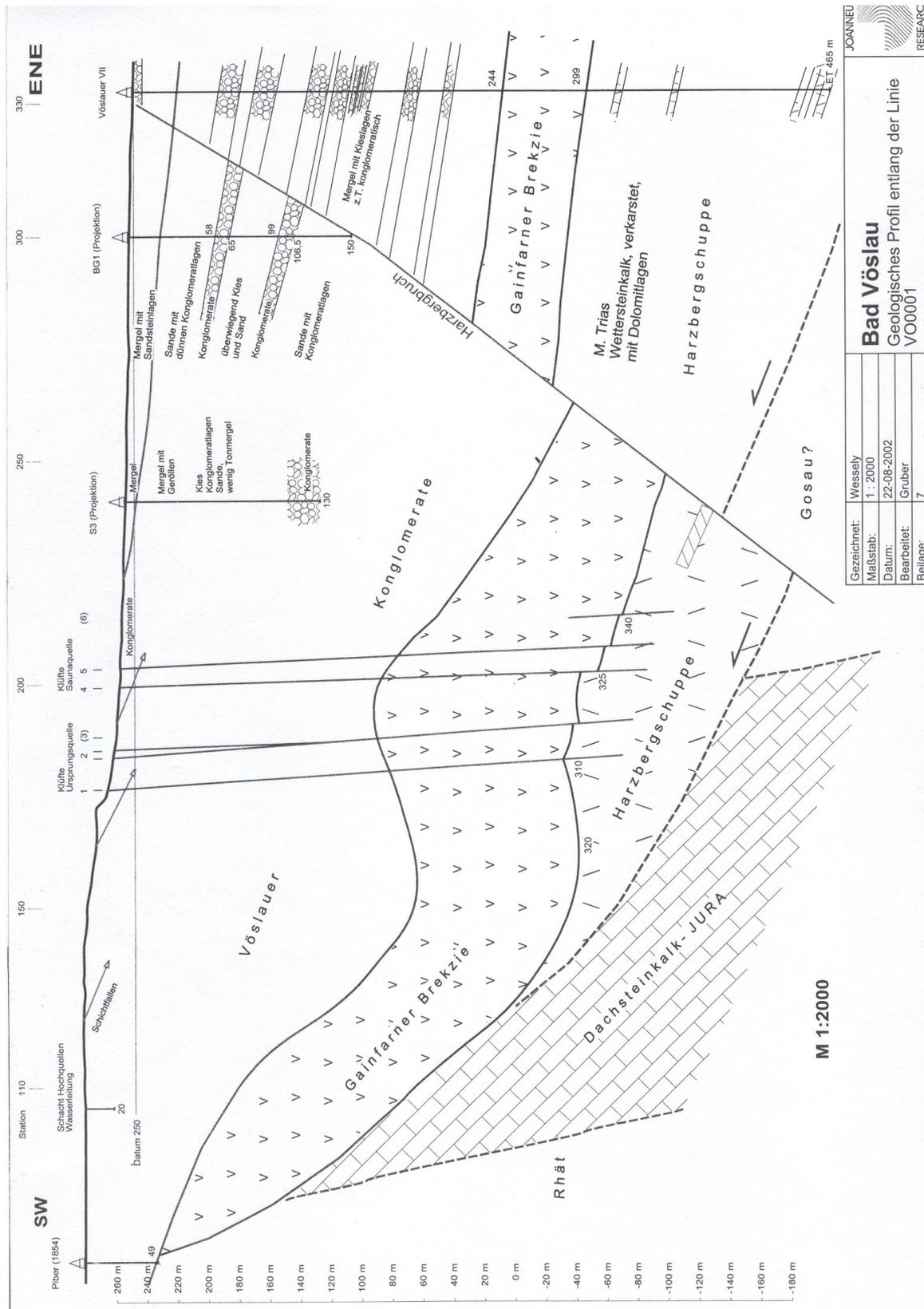


ABBILDUNG 13: GEOLOGISCHER SCHNITT BEI BAD VÖSLAU MIT DEN BOHRUNGEN VÖSLAU 7, BG 1 UND S3 (WESSELY, 2002 VON JOANNEUM RESEARCH)

2.3 Fazies für Thermalwasser und Mineralwasser

Die Grundvoraussetzung für Thermal- und Mineralwasserbildung ist eine erhöhte Temperatur. Für Thermalwasser wird das meist durch einen tiefliegenden Aquifer erreicht, bei Mineralwasser wird die Wärme für die Abspaltung bestimmter Minerale benötigt. Der erhöhte geothermische Gradient im Wiener Becken ist auf die Hochlage des Erdmantels im ungarischen Raum zurückzuführen. Das Thermalwasser kommt hauptsächlich in Karbonaten des Malm und Sandsteinen des Dogger vor.

Im Untergrund des Wiener Beckens treten hauptsächlich Wettersteinkalke und –dolomite sowie Hauptdolomit– und Dachsteinkalkabfolgen in großer Mächtigkeit auf. Undurchlässige Bereiche treten in Form von tonig-sandig, bis mergeligen Lagen, wie den Werfener Schichten und den Lunzer Schiefern, auf.

Aufgrund des Leopoldsdorfer Bruches wird der Untergrund in eine Hoch- und eine Tiefscholle, mit einer maximalen Sprunghöhe von 4000 m, geteilt. Durch das große Bruchsystem am südlichen Rand des Wiener Beckens tritt das Thermal- bzw. Mineralwasser zum Teil in Quellen an die Oberfläche.

Im Untergrund des Wiener Beckens liegen zwei Wassersysteme, durch die Dichtezone des Leopoldsdorfer Bruches und die Grauwackenzone getrennt, vor. Das Eine mit geringer Hydrodynamik, mit hoher Salinität und gleichförmigem Temperaturgradienten im abgesenkten zentralen Wiener Becken und das andere mit stärkerer Hydrodynamik, geringer Salinität und unterschiedlichem Temperaturgradienten auf der Hochscholle westlich des Leopoldsdorfer Bruches.

Beim zweiten System migriert kaltes Oberflächenwasser der Kalkalpen unter das Wiener Becken, wird dort mineralisiert, erwärmt und steigt an der Dichtegrenze des Leopoldsdorfer Bruches wieder an die Oberfläche. Hauptaustritte der Wässer liegen in Baden, Bad Vöslau und Bad Fischau.

Das Wasser von Baden hat ein Alter von ca. 32.000 Jahren, jenes von Bad Vöslau von ca. 23.000 Jahren (WESSELY ET AL., 2007). Die Zusammensetzung der Wässer von Bad Vöslau und Bad Fischau unterscheiden sich von denen von Oberlaa und Baden. Die letzteren sind reich an Schwefel, womit angenommen werden kann, dass diese aus einem nördlicheren, tieferen System kommen, vermutlich aus der Göller Decke. Der Schwefel wurde aus den Evaporiten der Werfener Schichten und den Reichenhaller und Opponitzer Evaporiten thermokatalytisch herausgelöst.

Beide haben aber dasselbe Zirkulationssystemprinzip, jedoch unterschiedliche Einspeisungsbereiche. Die Wässer von Bad Vöslau und Bad Fischau kommen aus einem südlicheren, seichteren System, vermutlich aus einer höheren Kalkalpendecke, wie der Schneebergdecke.

Bei Baden tritt das Wasser aus einem Wettersteindolomit der Rauheneckschuppe, die hier bis an die Oberfläche reicht, aus. In Bad Vöslau tritt das Wasser aus Spalten im Vöslauer Konglomerat zutage. Unterlagert wird es von Gainfarner Brekzie, die dem Aquifer auflagert. Der Aquifer hier wird von verkarstem Wettersteinkalk und -dolomit der Harzbergschuppe, die über die Göller Decke geschoben wurde, gebildet. Vom Lindkogelmassiv mischt sich über den Harzbergbruch junges, kaltes Karstwasser hinzu.

In Abbildung 14 sind die Richtung der Wässer, die Temperaturen und die Hydrodynamik dargestellt. Die Wässer fließen von den anstehenden Kalkalpen im tieferen Karbonatanteil Richtung Nord-Ost bis zum Bruchsystem mit dem Leopoldsdorfer Bruch. Dort steigen die mineralisierten Ströme auf und fließen in höheren Karbonatteilen zurück.

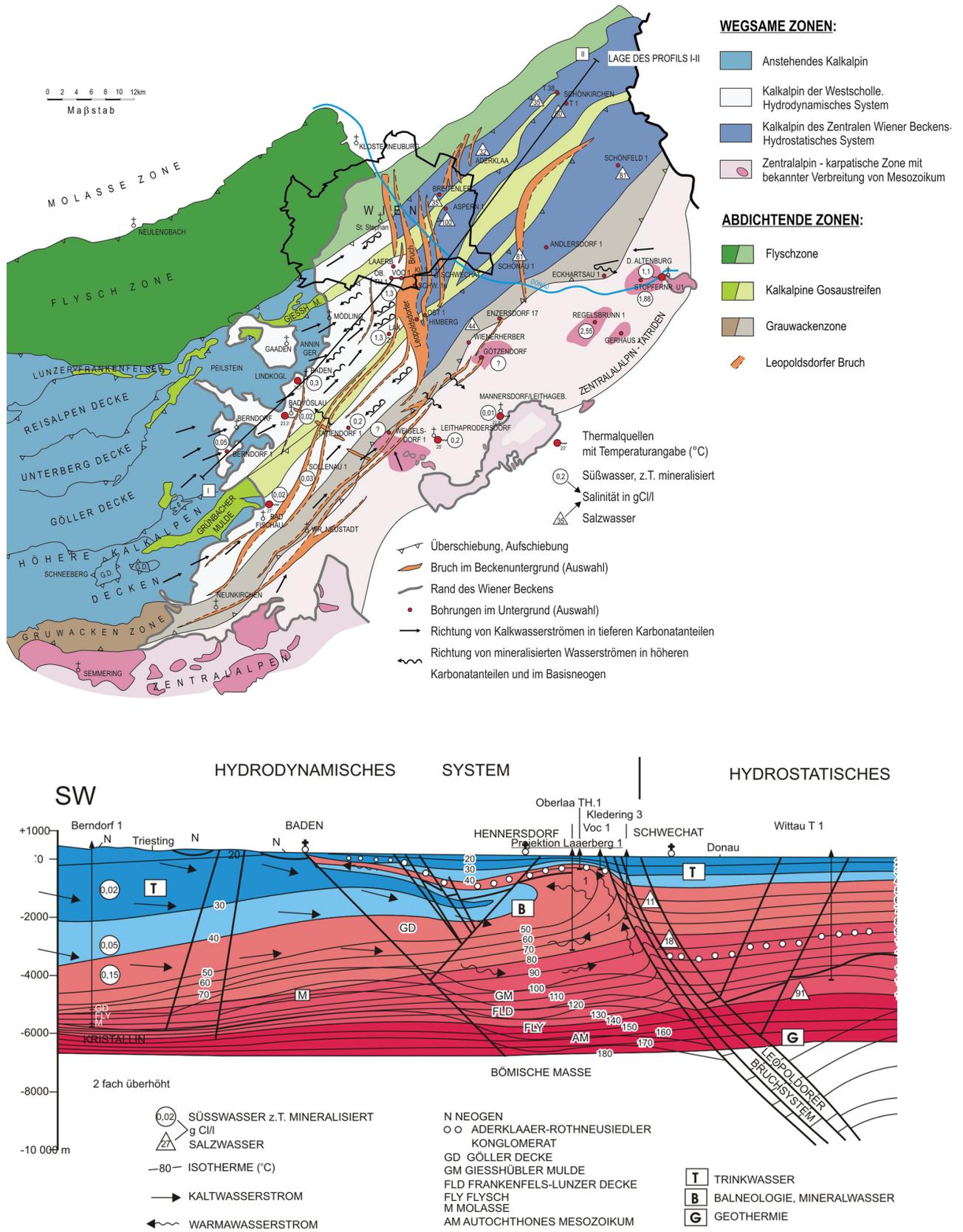


ABBILDUNG 14: HYDROGEOLOGISCHES SYSTEM IM WIENER BECKEN (WESSELY, 2006, SEITE 306)

3 Beschreibung der Bohrungen, Analysen und Zuflüsse

Die Beschreibung in diesem Kapitel wurde aus den unveröffentlichten Berichten des Joanneum Research und Prof. Dr. Wessely entnommen (siehe Literaturverzeichnis).

3.1 Bad Vöslau 6/1, 6/2 und 7

Die Bohrung 6/1 mit einer Endtiefe von 666 m wurde aus technischen Gründen durch die Bohrung 6/2 mit einer Endtiefe von 705 m ersetzt. Diese liegen nur wenige Meter voneinander entfernt. *Der Beckenuntergrund besteht aus hellem kompaktem Wettersteinkalk und kleinklüftigem Wettersteindolomit (Tabelle 1).*

Bei der Bohrung 7 mit einer Endtiefe von 465 m besteht der Untergrund ebenfalls aus Wettersteinkalk mit wenigen Wettersteindolomitlagen (Tabelle 2).

Eingesetzte Messverfahren und Messabschnitt sind im Anhang ersichtlich.

Die Bohrung Bad Vöslau 6 neu wurde bis rund 220 m mit einem 22“ Bohrloch abgeteuft, welches anschließend mit einem 18 5/8“ Rohr ausgebaut wurde. Bis zur Endteufe von 705 m wurde die Bohrung mit einer 12 1/4“ Bohrsektion durchgeführt. Bei der Produktionsrohrtour wurde mit 68 Stück 9 5/8“ Rohren begonnen und danach wurden 33 Stück 13 3/8“ Edelstahlrohre eingebracht.

Nach Beendigung der Bohrung 6 wurden 5 Pumpversuche durchgeführt. Der Erste (50-70 m) war nicht nutzbar. Der Zweite (610-660 m) hatte einen Zufluss von 9 l/sec mit einer Temperatur von 30,1 °C. Das Wasser ist kein Schwefelwasser, ebenso wie das Vöslauer Wasser, jedoch weist es eine leicht erhöhte Mineralisation auf. Beim dritten Pumpversuch (133-257 m) hatte man einen Zufluss von 11 l/sec bei einer Temperatur von 18-19 °C. Das Wasser hatte Trinkwassercharakter und wurde wahrscheinlich von der Oberfläche gespeist. Der Vierte (570-666 m) mit einer Temperatur von 28,9 °C und einem Zufluss von 9 l/sec war ähnlich dem Pumpversuch 2. Der fünfte Pumpversuch war eine Wiederholung des Dritten, über einen längeren Zeitraum.

Die Bohrung Bad Vöslau 7 wurde mit einem Durchmesser von 445 bzw. 331 mm abgeteuft. Der Ausbau erfolgte mit Stahlrohren mit 13 3/8“ bis 254,85 m.

Die Temperatur des Wassers liegt bei 31 °C.

Bei der Bohrung Bad Vöslau 7 wurde ein starker Zufluss aus Kluftsystemen bei 345-347 m, bei 363-368 m und bei 433-435 m durch Flowmeter- und Temperaturmessungen erkannt. Ein weiterer aber geringer Zufluss ist bei einer Tiefe zwischen 417 und 419 m.

Stratigraphie	Teufe [m]	Lithologie	bis 558 alt	und neu gleich
Badenium	0-50	Tonmergel		
(Sand-Schotterfolge)	50-100	Tonmergel (sandig, feinkörnig)		
	100-134	Tonmergel		
	134-145	Kalklage		
	145-170	Sandstein		
	170-187	Tonmergel		
	187-198	Sandstein		
	198-220	Tonmergel		
	220-260	Sandstein		
	260-272	Gerölle		
Badenium	272-355	Tonmergel		
(Mergelfolge)	355-370	Gerölle		
	370-508	Tonmergel		
	508-512	Sandstein		
	512-545	Tonmergel		
	545-552	Feingerölle		
	552-(558)565	Tonmergel	Neu	
Mitteltrias	565-573	Wettersteinkalk	558-570	Wettersteinkalk
Karpatium	573-605	Brekzie	570-620	Brekzie
Mitteltrias	605-610	Wettersteinkalk	620-648	Wettersteindolomit
	610-656	Wettersteindolomit	648-689	Wettersteinkalk
	656-666	Wettersteinkalk	689-705	Wettersteindolomit

TABELLE 1: LITHOLOGIE DER BOHRUNGEN BAD VÖSLAU 6 (ALT UND NEU)

Stratigraphie	Teufe [m]	Lithologie
Unteres Baden	0-33	Badener Tegel
(Laginidenzone)	33-52	stärker tonig
	52-56	Badener Tegel
	56-70	Schotter
	70-83	Badener Tegel
	83-92	Schotter
	92-100	Badener Tegel
	100-115	stärker tonig
	115-126	Schotter
	126-133	Badener Tegel
	133-142	Schotter
	142-158	Badener Tegel
	158-174	stärker tonig
	174-181	Badener Tegel
	181-210	Schotter
	210-244	stärker tonig
Unteres Baden	244-300	Gainfarner Brekzie
Mitteltrias	300-465	Wettersteinkalk mit Dolomitlagen

TABELLE 2: LITHOLOGIE DER BOHRUNG BAD VÖSLAU 7

3.2 Baden

Im Jahr 1994 wurde die bestehende Bohrung am Josefsplatz vertieft, um mehr Kenntnisse über das Thermalwassersystem zu erhalten und die zusätzliche Erschließung von Thermalwasser zu sichern. Die Bohrung wurde von 230 auf 450 m erweitert.

Der oberflächennahe Wettersteinkalk wird von Kalken der tieferen bis höheren Mitteltrias, mit dem Partnach-Kalk, dem Reiflinger Kalk und dem Steinalmkalk, unterlagert (Tabelle 3).

Eingesetzte Messverfahren und Messabschnitte sind im Anhang ersichtlich.

Bei der Vertiefung wurde eine Kernbohrung durchgeführt. Die Kerndimensionen wurden bei 342 m von 100 mm auf 84 mm verringert.

Thermalwasseraustritte sind bei 53 und 198 m, aus Karsthöhlenräumen, bekannt. Bei 271,1 m kommt es wieder zu einem Thermalaustritt. Im Bereich des Dolomits konnten Fließbewegungen aufgrund von Temperatur- und Flowmeter-Messungen erkannt werden. Ein weiterer Thermalwasserzutritt ist bei 445,3 m aus einem Karsthohlraum.

Mengenmessungen ergaben bei einer freien Schüttung 27 l/sec. Die Auslauftemperatur lag bei 35 °C. Der Chemismus ist dem des Badener Thermalwassers ähnlich.

Stratigraphie	Teufe	Lithologie
Quartär	0-8 m	Schotter und Sand
Mitteltrias	8-215 m	Wettersteinkalk: bis 165 m hell, ab 165 m dunkler
	215-274,8	hell bis mittelbräunlicher Kalk (=Raminger-Kalk; Heller Partnachkalk)
	274,8-281,3	Dolomitlage
	281,3-315	hell bis mittelbräunlicher Kalk (=Raminger-Kalk; Heller Partnachkalk)
	315-325	Reiflinger Kalk
Anis	325-374,5	hell bis mittelbräunlicher Steinalmkalk
		Dolomitlagen (346,5-347,6;350-350,5;367,2-369)
Anis	374,5-404	Steinalmdolomit
Anis	404-416	Steinalmkalk
	416-450	Reiflinger Kalk

TABELLE 3: LITHOLOGIE DER BOHRUNG BADEN

4 Hydrochemie

Der Anteil der im Wasser gelösten Stoffe hängt vom Angebot im Gestein und ihrer Lösungsbereitschaft im Wasser ab. Zusätzliche Parameter sind die Verweildauer des Wassers im Untergrund sowie die Temperatur. Der „Weg“ des Wassers und der Faziesbereich werden im Kapitel 2.3 (Fazies des Thermal- und Mineralwassers) beschrieben.

Die Grundlage an Literatur für dieses Kapitel boten ZÖTL & GOLDBRUNNER mit „Die Mineral- und Heilwässer Österreichs“ (1993).

4.1 Baden

Das Thermalfeld von Baden liegt am kalkalpinen Westrand des Wiener Beckens. Das Wasser hat einen hohen Schwefelgehalt. Die Temperaturen der dargestellten Wässer sind unterschiedlich. Ein Grund dafür, dass die Römerquelle kühler ist liegt sicher auch daran, dass sie natürlich zu Tage tritt.

	Josefsquelle	Römerquelle	Oberlaa
Temperatur	34,8	30,9	53,8
pH-Wert	6,95	7,02	6,8
Kationen			
Natrium	174,4	161,0	513,0
Kalium	9,2	8,0	22,5
Kalzium	270,1	254,5	446,6
Magnesium	62,9	68,8	123,5
Ammonium	0,32	0,33	1,25
Anionen			
Hydrogenkarbonat	280,6	294,1	263,5
Sulfat	656,0	627,2	1302,0
Chlorid	285,5	270,2	845,8
Borsäure und Kieselsäure		29,4	51,29

TABELLE 4: HYDROCHEMISCHE ANALYSEN IM RAUM BADEN (ZÖTL & GOLDBRUNNER, 1993)

In Tabelle 4 sind die Wasseranalysen der Josefsquelle, Römerquelle und Oberlaa aus ZÖTL & GOLDBRUNNER (1993) dargestellt. Man erkennt geringe Unterschiede zwischen der Josefsquelle und der Römerquelle bei der Temperatur, dem Natrium Anteil, im Kalzium und Magnesium Anteil, sowie den Anionen.

Die Bohrung Oberlaa liegt geographisch nahe an Baden, jedoch unterscheiden sich die Analysen stark von jenen in Baden. Auffällig ist der extreme Temperaturunterschied der Bohrungen. Dies würde das Zirkulationsmodell (Kapitel 2.3) von Prof. Dr. Wessely bestärken.

Nach ZÖTL & GOLDBRUNNER (1993) sind die Wässer trotz Unterschiede im Verhältnis ihrer gelösten Stoffe derselbe Typus. Bezeichnet werden die Wässer als Kalzium-Natrium-Magnesium-Sulfat-Chlorid-Schwefel-Mineralthermen. Es tritt zwar zum Teil eine starke Verdünnung auf, welche sich aber nicht auf das Ionenverhältnis auswirkt. Bei einer Edelgasmessung von Oberlaa und Baden wurde erkannt, dass beide einen bedeutenden Anteil an Mantelhelium beinhalten. Dies deutet darauf hin, dass das Bruchsystem die Erdkruste durchtrennt.

4.2 Bad Vöslau

Das Thermalwasser aus der Ursprungsquelle und der Vollbadquelle treten natürlich zutage. Früher wurde dies zusätzlich zum Bad auch für das Vöslauer Mineralwasser genutzt. Heute nutzt man dazu die Bohrungen 6 und 7, aus denen zum Teil auch das Kurzentrum sein Wasser bezieht. Die Temperatur liegt bei beiden Bohrungen um 32 °C.

	Ursprungsquelle 1	Ursprungsquelle 2	Vöslau 6	Vöslau 7
Temperatur	22,1	21	31	31
Kationen				
Natrium	10,2	10,6	14,5	14,2
Kalium	1,7	1,8	1,9	2,06
Magnesium	39,9	39,1	39,9	39,9
Kalzium	98,6	99,0	111,5	115,8
Anionen				
Chlorid	17,2	18,5	24,5	23
Sulfat	147,2	153	232	230
Nitrat	6,0	5,0	0,5	0,5

TABELLE 5: HYDROCHEMISCHE ANALYSE IM RAUM BAD VÖSLAU (ZÖTL & GOLDBRUNNER, 1993 UND VAG)

Die Daten der Ursprungsquelle 1 stammen aus ZÖTL & GOLDBRUNNER (1993), die anderen wurden von H. Krammer (VAG) erstellt und von Prof. Dr. Wessely für diese Arbeit bereitgestellt.

Es treten im Gebiet um Bad Vöslau kalte Karstquellen und Thermalquellen auf. Aus der Hydrochemie und Isotopenanalytik lässt sich eine Mischung von thermalen Tiefenwässern und dem kalten Karstwasser ableiten. Der Anteil dieser jungen, kalten Wässer ist höher als in Baden. Die Temperaturen von den Bohrungen 6 und 7 unterscheiden sich von denen die natürlich an die Oberfläche treten.

Der Anteil an Magnesium ist bei allen gleich, jedoch unterscheiden sich die Kalzium- und Natriumkonzentrationen. Chloride und Sulfate sind ebenfalls deutlich höher. Nur der Nitratanteil ist bei den Bohrungen geringer (Tabelle 5). Die Wässer werden als Kalzium-Magnesium-Hydrogenkarbonat-Sulfat-Thermalwässer bezeichnet.

4.3 Vergleich Baden-Bad Vöslau

	Josefsquelle	Römerquelle	Vöslau 6	Vöslau 7
Temperatur	34,8	30,9	31	31
Kationen				
Natrium	174,4	161	14,5	14,2
Kalium	9,2	8	1,9	2,06
Kalzium	270,1	254,5	111,5	115,8
Magnesium	62,9	68,8	39,9	39,9
Anionen				
Sulfat	656	627,2	232	230
Chlorid	285,5	270,2	24,5	23

TABELLE 6: VERGLEICH DER ANALYSEN VON BADEN UND BAD VÖSLAU

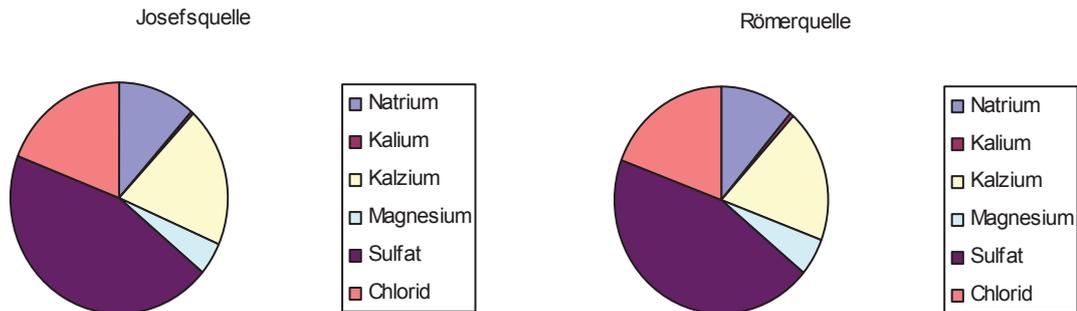


ABBILDUNG 15: DARSTELLUNG DER HAUPTBESTANDTEILE AUS DEN ANALYSEN VON BADEN

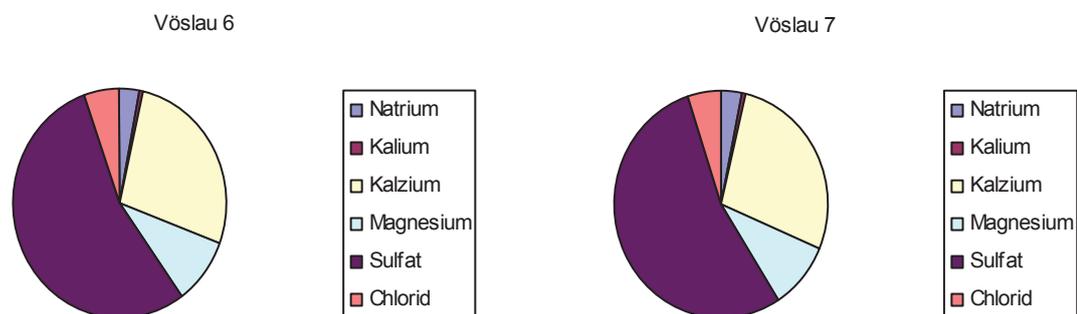


ABBILDUNG 16: DARSTELLUNG DER HAUPTBESTANDTEILE AUS DEN ANALYSEN VON BAD VÖSLAU

In Tabelle 6, sowie in Abbildung 15 und 16, wurden die Hauptbestandteile im Verhältnis zueinander dargestellt, um sie besser vergleichen zu können und den Text sowie die Tabelle graphisch darzustellen. So werden die Unterschiede besser verdeutlicht.

Es tritt in Baden eine höhere Konzentration von gelösten Stoffen (Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium, Sulfat und Chlorid) als in Bad Vöslau auf. Der Natrium, Kalium und Chlorid - Gehalt ist bei Baden um das 10fache höher. Der Kalzium und Magnesiumgehalt ist um das Doppelte höher, der Sulfat-Gehalt hat den Dreifachen Wert des Wassers von Vöslau. Gründe dafür können in der längeren Verweildauer des Wassers von Baden im Untergrund sein, der unterschiedliche Fließweg, sowie ein anderes Einspeisungsgebiet. Ein weiterer möglicher Grund kann die Verdünnung durch kalte Wässer in Bad Vöslau sein.

Beide Wässer haben als Hauptbestandteile Kalzium, Magnesium und Sulfat. Die Wässer von Baden haben zusätzlich noch Hydrogenkarbonat und besteht aus Natrium, sowie Chlorid und Schwefel. Der Schwefelanteil und die Bewegung der Wässer wurden schon im Kapitel 2.3 besprochen.

5 Petrophysik

5.1 Probennahme

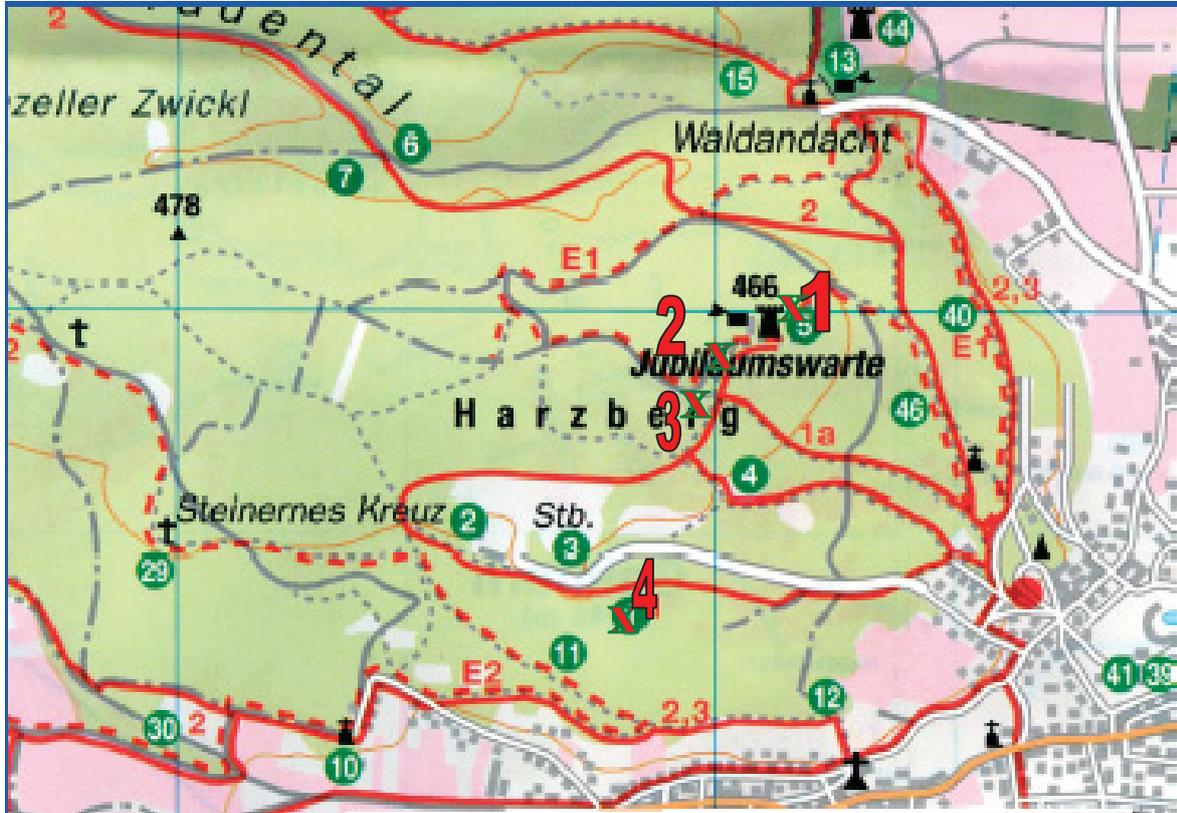


ABBILDUNG 17: ÜBERSICHTSKARTE ZUM GEOLEHRPFAD VON BAD VÖSLAU (WESSELY)

Zur Bestimmung petrophysikalischer Basisparameter und für eine detaillierte petrographische Beschreibung wurden im Gelände Proben genommen, die durch die Bohrungen erschlossenen Formationen/Gesteinen entsprechen. Die Probennahme erfolgte am 7. August 2007. Proben des Wettersteinkalks wurden am Punkt 1, des Wettersteindolomit am Punkt 2 und 3 und des Vöslauer Konglomerats am Punkt 4 genommen (Abbildung 17).

Prof. Dr. Wessely stellte zusätzlich Dünnschliffe aus Proben der Bohrungen zur Verfügung. Es wurden nur ein paar ausgewählt, um einen Überblick zu geben. Diese sind im Anhang 3 dargestellt.

5.1.1 Wettersteinkalk



ABBILDUNG 18: WETTERSTEINKALK

Die Probe wurde auf der Nordflanke des Harzberges, in der Nähe des Geopfad Punktes 16 (Abb. 17), genommen.

Dieser Kalk hat eine mittelgraue bis hellgraue Eigenfarbe (Abb. 18). Die Reaktion mit Salzsäure ist heftig. Der Bruch ist muschelig mit einem Perlmutt-Glanz.

An dieser Stelle treten auch Schwämme auf, die auf eine seichte Lagune hindeuten (WESSELY, 2006).

5.1.2 Wettersteindolomit



ABBILDUNG 19: WETTERSTEINDOLOMIT

Die erste Dolomitprobe (Abb. 19, rechtes Bild) wurde am Harzberg, am Parkplatz, genommen. Diese zeigte eine stärkere Reaktion mit Salzsäure, als die zweite Probe. Die Eigenfarbe ist gräulich und der Dolomit weist einen spröden Bruch auf.

Die zweite Probe (Abb. 19, linkes Bild) wurde am Geopfad Punkt 17 genommen. Die Eigenfarbe, die bräunlich bis hellgrau ist, unterscheidet sich deutlich von der anderen Probe. Beide Proben haben eine starke Klüftung und immer wieder größere Porenräume, wie in Abbildung 20 gezeigt.



ABBILDUNG 20: DOLOMITKLUFT (LÄNGE DER PROBE CA. 2,2 CM)

5.1.3 Vöslauer Konglomerat



ABBILDUNG 21: VÖSLAUER KONGLOMERAT

Die Probe wurde am Fuße des Harzberges (Geopfad Punkt 1; Abb. 17) genommen. Sie weist eine leicht rötliche Eigenfarbe auf. Die helleren Komponenten sind Kalk und die dunkleren sind Flysch. Beide sind gut gerundet, was auf einen längeren Transport hinweist, und haben eine Größe von bis zu 2,5 cm (Abb. 21).

Die gute Rundung kommt vom Transport durch Sedimente der Flüsse und deren Verteilung an der Küste (WESSELY, 2006).

5.1.4 Gainfarnner Brekzie



ABBILDUNG 22: GAINFARNNER BREKZIE

Die Gainfarnner Brekzie wurde früher in einem Steinbruch am Harzberg abgebaut. Von diesem stammt auch diese Probe. Im Gegensatz zum Vöslauer Konglomerat hat sie eine gräuliche Eigenfarbe und die Komponenten sind groß, kantig, kaum gerundet (Abb. 22) und reagieren mit Salzsäure.

Gespeist wurde die Brekzie vom Wettersteindolomit. Die Annahme ist, dass der Ursprung im Bereich des Lindkogels liegt und als Brandungsschutt im Badenium im Küstenbereich abgelagert wurde. Es erfolgte eine rasche Ablagerung, worauf auch die eckigen Komponenten deuten (WESSELY, 2006).

5.2 Grundlagen

Um die berechneten Porositäten aus den Logs zu unterstützen, wurden an den im Gelände genommenen Proben petrophysikalische Messungen vorgenommen. Hierzu wurden die Masse (trocken, gesättigt und unter Auftrieb) und daraus die Dichte, die Kompressionswellengeschwindigkeit und elektrische Leitfähigkeit bestimmt und aus diesen die Porositäten berechnet.

Die Porosität ist ein Maß für das potentiellen Speichervolumen von Kohlenwasserstoffen und anderen Fluiden. Definiert wird diese durch das Verhältnis von Porenvolumen zum Gesamtvolumen. Die Einheit ist dimensionslos. Häufig wird die Porosität aber in % angegeben.

Porositätsmessungen für Karbonate sollten nach Möglichkeit unter Insitu - Spannungsbedingungen durchgeführt werden, da diese komprimierbar sind (LUCIA, 1999). Eine derartige Laboreinrichtung stand jedoch bei den Messungen nicht zur Verfügung.

5.2.1 Probenvorbereitung

Aus den genommenen Proben wurden Kerne mit einem Durchmesser von 2,5 cm (2 Inch) herausgebohrt. Diese wurden weiters mit einer Säge mit einem Diamantsägeblatt auf eine Länge von ca. 2 cm gekürzt. Probleme sind hier vor allem beim Dolomit aufgetreten, da dieser eine starke Klüftung aufwies und sich der Bohrer hier immer wieder verkeilte.

Die Proben wurden anschließend 3 Tage im Trockenschrank bei einer Temperatur von 40 °C getrocknet.



ABBILDUNG 23: HERAUSBOHREN DER KERNE



ABBILDUNG 24: SÄGE MIT DIAMANTSÄGEBLATT

Nach den Messungen des Trockengewichts und den Ultraschallmessungen wurden die Proben gesättigt. Dazu wurde eine Lösung aus 1 g NaCl und 1 l destilliertem Wasser hergestellt. Die Proben wurden in ein Becherglas gegeben, mit der Lösung übergossen und in den Exsikkator gestellt, um eine vollständige Sättigung der Probe zu garantieren. Nachdem ein Vakuum aufgebaut wurde, wurde das Becherglas mit der Lösung aufgefüllt. Die Verweildauer im Exsikkator war ca. 24 Stunden. Alle Messungen wurden bei Raumtemperatur durchgeführt.

5.2.2 Dichtebestimmung

Die Dichte ist für die Berechnung von Porosität und Sättigungsgrad wichtig und berechnet sich aus der Masse durch das Volumen. Es werden die Sättigungsdichte, die Trockendichte und die Korndichte unterschieden.

Bei der Porositätsberechnung über die Dichte wird keine Unterscheidung getroffen, ob die Hohlräume miteinander verbunden sind oder nicht. Damit wird grundsätzlich die totale Porosität ermittelt (SCHÖN, 1983).

Die Proben wurden nach der Trocknung abgewogen und der Durchmesser und die Länge auf 2 Dezimalstellen genau gemessen.

Die Berechnungen erfolgten mit folgenden Formeln:

$$\text{Sättigungsdichte: } \rho_{\text{sat}} = \rho_{\text{pw}} \times \frac{m_{s,a}}{m_{s,a} - m_{s,w}} \quad \text{Gleichung 1}$$

$$\text{Trockendichte: } \rho_d = \rho_{\text{pw}} \times \frac{m_d}{m_{s,a} - m_{s,w}} \quad \text{Gleichung 2}$$

$$\text{Korndichte: } \rho_g = \rho_{\text{pw}} \times \frac{m_d}{m_d - m_{s,w}} \quad \text{Gleichung 3}$$

$$\text{Porosität : } \Phi = \frac{m_{s,a} - m_d}{m_{s,a} - m_{s,w}} \quad \text{Gleichung 4}$$

Messgrößen:

m_d	<i>Masse der trockenen Probe in Luft</i>
$m_{s,a}$	<i>Masse der gesättigten Proben in Luft</i>
$m_{s,w}$	<i>Masse der gesättigten Proben im Wasser</i>
ρ_{pw}	<i>Dichte des Porenwassers</i>

5.2.3 Ultraschallmessungen

Die Geschwindigkeit der Kompressionswelle hängt von den am Gestein beteiligten Mineralen, deren Volumenanteil und ihrer Anordnung, sowie vom Porenvolumen und der Porenfüllung ab. Zur Bestimmung werden die Probenlänge (Weg) und die Laufzeit des Ultraschallimpulses bestimmt (SCHÖN, 1983). Bei der verwendeten Messapparatur (Abbildung 25) kann nur die Kompressionswelle oder P-Welle erfasst werden.



ABBILDUNG 25: PROBE ZWISCHEN DEN PRÜFKÖPFEN BEI DER ULTRASCHALLMESSUNG

Die Frequenz betrug 10.000 kHz mit einer Amplitude von 5 Volt. Um einen besseren Kontakt zwischen Probe und Prüfköpfen herzustellen wird ein Ultraschallgel auf die Probe aufgetragen.

Die Messung beginnt mit der Bestimmung der Totzeit. Sie wird zwischen den Messköpfen ohne Probe gemessen und betrug 600 ns. Diese wird dann von den gemessenen Werten abgezogen.

Es folgte die Messung der Proben, zuerst in trockenem und danach in gesättigtem Zustand. Aus den gemessenen Daten wurden dann die Geschwindigkeit der Kompressionswellen und die Porosität berechnet.

Die Kompressionswellengeschwindigkeit wird im Labor über die Formel:

$$v_p = \frac{d}{(\Delta t - t_0)} \quad \text{Gleichung 5}$$

berechnet, wobei d, die Dicke der Probe, Δt die gemessene Laufzeit in μs und t_0 die Totzeit ist.

Weiters wurde die slowness Δt [$\mu\text{s}/\text{m}$] aus $1/v_p$ für die Porositätsabschätzung berechnet. Für die Porositätsberechnung von Dolomit und Kalzit wurde die Wyllie-Gleichung:

$$\Phi = \frac{\Delta t_{\text{mess}} - \Delta t_{\text{matrix}}}{\Delta t_{\text{fluid}} - \Delta t_{\text{matrix}}} \quad \text{Gleichung 6}$$

Herangezogen (Abb. 26).

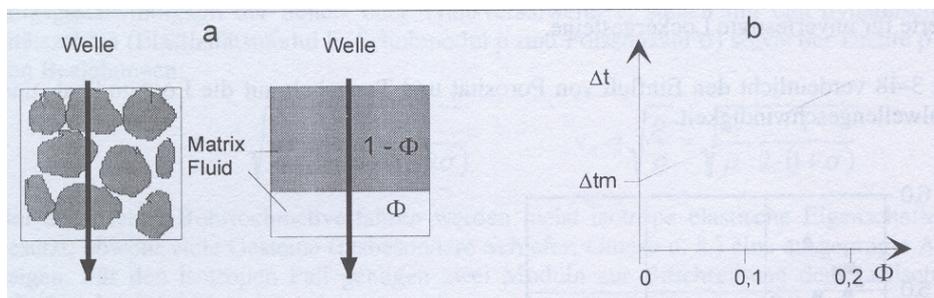


ABBILDUNG 26: GRUNDLAGEN DER WYLLIE-GLEICHUNG (FRICKE & SCHÖN, 1999, SEITE: 90)

Aus FRICKE & SCHÖN (1999) wurden mittlere Werte für Δt_{matrix} entnommen:

	Δt_{matrix} [$\mu\text{s}/\text{m}$]
Dolomit	143
Kalzit	156
Wasser	620

TABELLE 7: MITTLERE WERTE FÜR Δt_{MATRIX}

5.2.4 Elektrische Messungen

Die meisten gesteinsbildenden Minerale haben einen hohen spezifischen Widerstand, im Gegensatz zu Vererzungen, Graphit und Tonmineralen. Gute Leiter sind auch Kluff- und Porenwasser (FRICKE & SCHÖN, 1999). Über die spezifischen Widerstände von gesättigten Gesteinen und Porenfluide kann man die Formationsfaktoren berechnen, über die man wiederum zur Porosität durch die Archie-Gleichung kommt.

Die Messung erfolgte mit einem 4-point-light-Messgerät (Abb. 27).

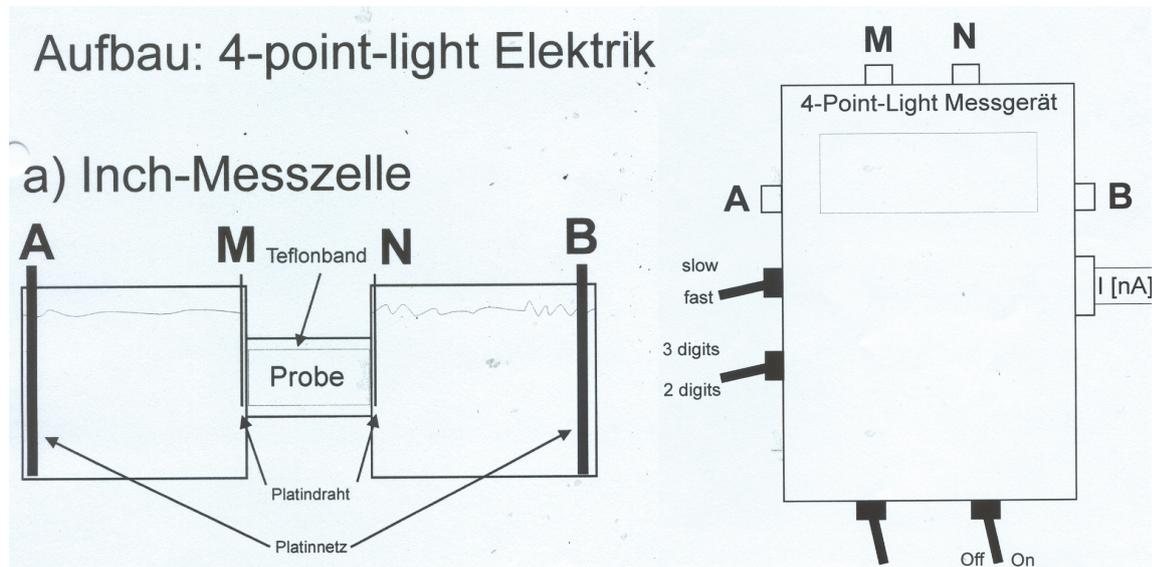


ABBILDUNG 27: AUFBAU DER MESSGERÄTE DER ELEKTRISCHEN MESSUNG

Es wurden die gesättigten Proben verwendet. Diese werden zu Beginn mit einem Teflonband umwickelt, sodass kein Strom über den Wasserfilm am Zylindermantel fließen kann. Es werden zwei Widerstände (bzw. Leitfähigkeiten) bestimmt:

- Spezifischer elektrischer Widerstand des Porenwassers R_w mit einem Leitfähigkeitsmessgerät (WTW LF 325)
- Spezifischer elektrischer Widerstand der gesättigten Probe R_0

Vor und hinter der Probe befindet sich jeweils ein Platin Draht zum Abtasten der Spannung. Die Messzelle ist mit derselben NaCl-Lösung gefüllt, mit der auch schon die Proben gesättigt wurden.

Die verwendete Formel für den Geometriefaktor ist

$$k = \frac{\theta^2 \times \pi}{l}$$

Gleichung 7

wobei θ der Radius und l die Länge der Probe ist. Der spezifische Widerstand wird mit

$$R_0 = R \times k$$

Gleichung 8

berechnet. R ist der Widerstand.

Aus den beiden spezifischen Widerständen wird der Formationsfaktor F berechnet:

$$F = \frac{R_0}{R_W}$$

Gleichung 9

Aus dem Formationsfaktor kann die Porosität berechnet werden, um sie mit den Porositäten aus der Ultraschallmessung und aus der Masse zu vergleichen. Hierzu wird die Archie-Gleichung

$$\Phi = \left[\frac{a}{F} \right]^{(1/m)} \times 100$$

Gleichung 10

verwendet.

Bei der Anwendung der Archie - Gleichung ist zu beachten, dass diese nur für „reine“, das heißt tonfreie, Gesteine gilt.

5.3 Auswertung und Porositätsberechnung

Aus den Messergebnissen wurden die Porositäten bestimmt und diese untereinander verglichen. Als Bezugsgröße diente dabei die aus der Masse direkt ermittelte Porosität. Die gemessenen Werte wurden in Tabellen eingetragen. Weiters wurden Plots dargestellt, um die Werte besser vergleichen zu können.

5.3.1 Porosität aus der Massebestimmung

Die Berechnung der Porosität aus der Masse bzw. der Dichte zeigt die Tabelle 8. Die Grundlagen und Formeln werden im Kapitel 5.2.2 beschrieben.

	m_d	$m_{s,a}$	$m_{s,w}$	Sättigungsdichte	Trockendichte	Korndichte	Porosität
	g	g	g	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	%
VK 2	25,26	27,27	15,77	2,37	2,19	2,66	17,48
GF 1	26,22	27,93	16,87	2,52	2,37	2,80	15,46
GF 2	27,26	29,05	17,55	2,52	2,37	2,80	15,57
GF 3	28,77	30,8	18,48	2,50	2,33	2,79	16,48
GF 4	26,37	28,06	16,95	2,52	2,37	2,80	15,21
K 2	30,39	30,48	19,21	2,70	2,69	2,72	0,80
K 3	24,44	24,55	15,44	2,69	2,68	2,71	1,21
K 4	31,26	31,31	19,73	2,70	2,70	2,71	0,43
K 5	29,35	29,51	18,52	2,68	2,67	2,71	1,46
Dol 3 (1)	29,78	29,94	19,25	2,80	2,78	2,83	1,50
Dol 4 (1)	26,34	26,54	17,03	2,79	2,77	2,83	2,10

TABELLE 8: GEMESSENE MASSESSEN UND DARAUSS BERECHNETE DICHTEN UND POROSITÄTEN DER MASSE

5.3.2 Ergebnisse der Ultraschallmessung, Korrelation von Geschwindigkeit und Porosität

In Tabelle 9 wurden die gemessenen Werte der Ultraschallmessung dargestellt. Weiters sind auch die Berechnungsschritte für die Porosität eingetragen. Die verwendeten Formeln wurden im Kapitel 5.2.3 beschrieben.

	Δt (gesättigt)	vp (trocken)	vp (ges.)	Δt (tro.)	Δt (ges.)	Δt (matrix)	Porosität (vp,ges.)
	μs	cm/ μs	cm/ μs	$\mu\text{s}/\text{m}$	$\mu\text{s}/\text{m}$	$\mu\text{s}/\text{m}$	%
VK 2	6,40	0,34	0,41	291,67	241,67		
GF 1	6,80	0,27	0,37	365,22	269,57		
GF 2	8,00	0,24	0,32	408,33	308,33		
GF 3	8,00	0,29	0,36	348,15	274,07		
GF 4	6,80	0,23	0,38	430,38	261,60		
K 2	4,60	0,53	0,58	188,84	171,67	156,00	3,38
K 3	3,60	0,45	0,63	221,05	157,89	156,00	0,41
K 4	4,40	0,60	0,63	166,67	158,33	156,00	0,50
K 5	4,20	0,55	0,61	181,82	163,64	156,00	1,65
Dol 1							
Dol 3 (1)	4,60	0,48	0,55	209,09	181,82	172,00	2,19
Dol 4 (1)	4,20	0,44	0,54	226,80	185,57	172,00	3,03

TABELLE 9: BERECHNUNG DER POROSITÄT AUS DER ULTRASCHALLMESSUNG

Zunächst wird eine Porositätsabschätzung nach der Wyllie-Gleichung vorgenommen, wobei folgende Parameter verwendet werden:

$$\Delta t_{\text{Matrix, Dolomit}} = 172 \mu\text{s}/\text{m}$$

$$\Delta t_{\text{Matrix, Kalkstein}} = 156 \mu\text{s}/\text{m}$$

$$\Delta t_{\text{Fluid}} = 620 \mu\text{s}/\text{m}$$

Es ergeben sich die in der letzten Spalte der Tabelle 9 angeführten Werte. Die direkte Gegenüberstellung (Tabelle 10) zeigt, dass die Werte nach der Wyllie-Gleichung meist zu hohe Porositäten aufweisen.

	Porosität (masse)	Porosität (akust.)
K 2	0,80	3,38
K 3	1,21	0,41
K 4	0,43	0,50
K 5	1,46	1,65
Dol 3 (1)	1,50	2,19
Dol 4 (1)	2,10	3,03

TABELLE 10: VERGLEICH DER POROSITÄTEN AUS DER MASSE UND DER AKUSTISCHEN MESSUNG [%]

Es wird daher eine direkte Gegenüberstellung von gemessener slowness Δt und nach der Masse ermittelten Porosität vorgenommen.

Die Abbildung 28 zeigt Δt als Funktion von der Porosität aus der Masse. Der generelle Trend zeigt, dass mit zunehmender Porosität, die Laufzeit steigt bzw. die Geschwindigkeit abnimmt.

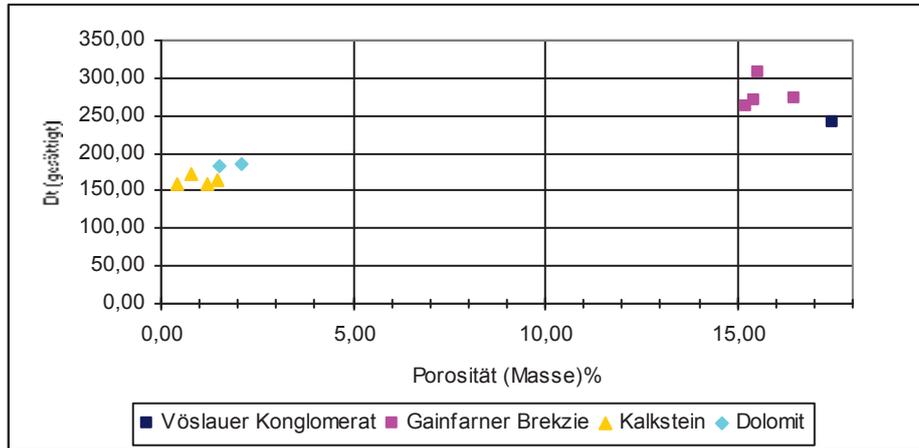


ABBILDUNG 28: POROSITÄT (MASSE) [%] – DT (GESÄTTIGT)

Gut erkennbar ist hier der Unterschied zwischen dem Kalkstein bzw. Dolomit und dem Konglomerat und der Brekzie. Die Brekzie und das Konglomerat haben eine viel höhere Porosität und somit auch eine höhere Transitzeit, da die Wellen durch die Porosität langsamer sind.

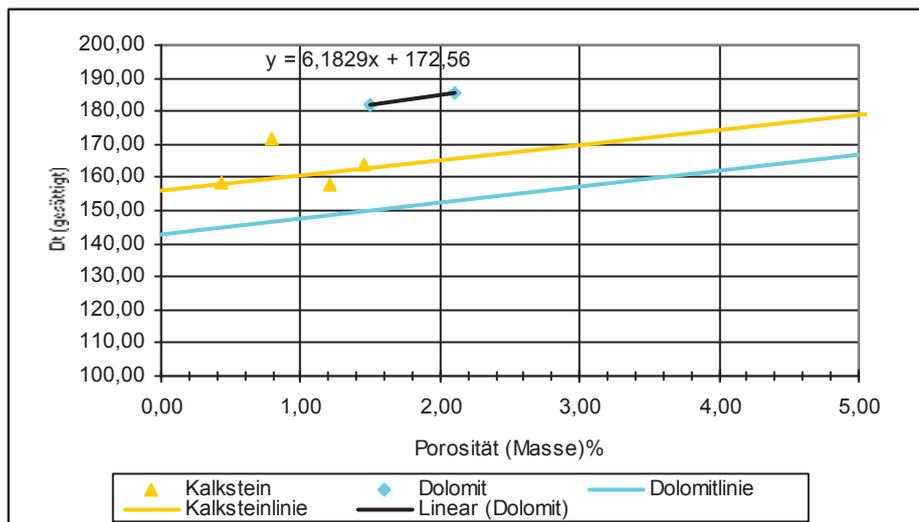


ABBILDUNG 29: POROSITÄT (MASSE) [%] – DT (GESÄTTIGT) [KALKSTEIN UND DOLOMIT]

Für die Karbonate wurden in Abbildung 29 die Werte separat noch einmal aufgetragen. Zusätzlich wurde aus der Wyllie Gleichung (Gleichung 6; Kapitel 5.2.2) die berechneten Trendlinien mit $\Delta t_{\text{matrix,Dolomit}} = 156 \mu\text{s/m}$ und $\Delta t_{\text{matrix,Kalkstein}} = 143 \mu\text{s/m}$ dargestellt.

Als Grundproblem stellten sich die Standardwerte für Δt_{matrix} für den Dolomit heraus. Bei den ersten Darstellungen mit einem Δt_{matrix} von 143 $\mu\text{m/s}$ für den Dolomit schwankten die Porositäten stark. Somit wurde ein Crossplot (Abb. 29) angelegt, bei dem man erkennen kann, dass die angenommenen Werte für den Kalkstein recht gut waren, die für den Dolomit jedoch weit darüber lagen.

Der Kalkstein liegt in der Nähe der Kalksteinlinie, mit den Standardwerten. Wenn man eine Trendlinie durch die beiden Punkte des Dolomits legt, kommt man auf einen Wert Δt_{matrix} von rund 172 $\mu\text{m/s}$. Mit diesem Wert korrelieren die Porositäten aus den unterschiedlichen Berechnungen besser.

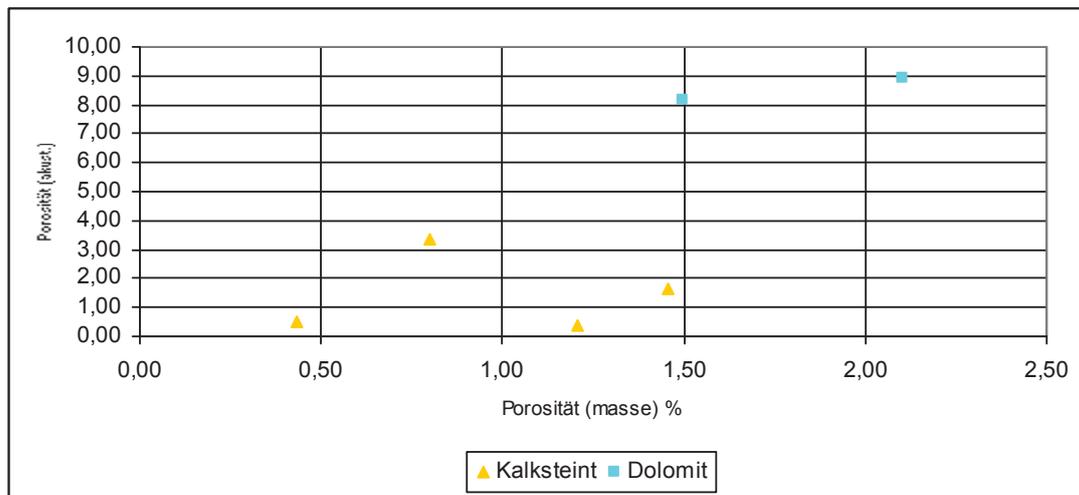


ABBILDUNG 30: POROSITÄT (MASSE) [%] – POROSITÄT (AKUST.)

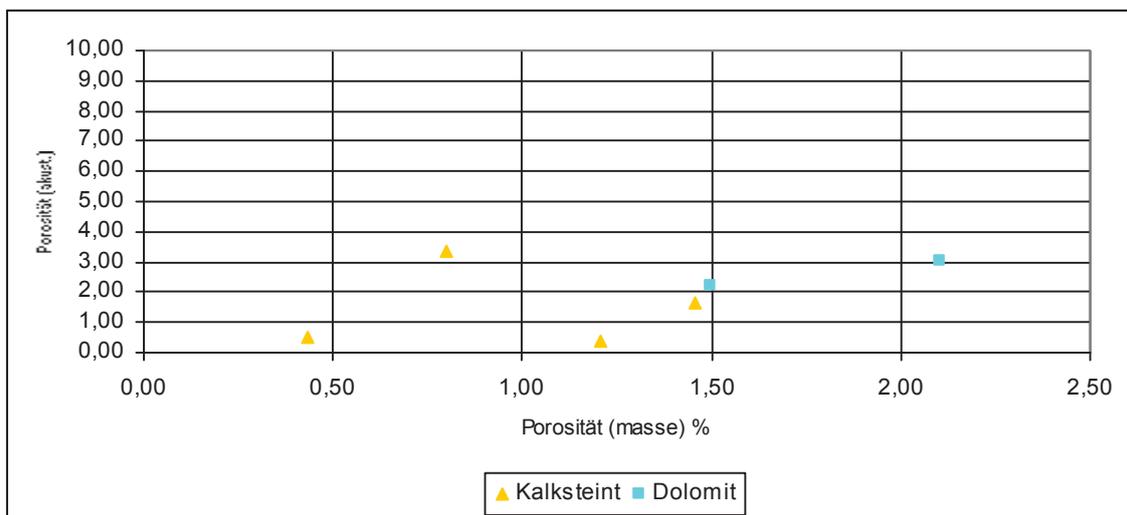


ABBILDUNG 31: POROSITÄT (MASSE)[%] – POROSITÄT (AKUST.)

Bei der Gegenüberstellung der Porosität aus der Masse und der Porosität aus der Ultraschallmessung (Abbildungen 30 und 31) ist erkennbar, dass die Werte des Kalksteins ähnlich sind. In Abbildung 30 ist die Darstellung mit einem Δt_{matrix} für den Dolomit von 143 $\mu\text{s/m}$ und in Abbildung 31 mit 172 $\mu\text{s/m}$.

Bei den Daten des Kalksteins gibt es einen Ausreißer, bei dem die Porosität (akust.) höher ist als bei der Porosität (Masse). Vermutlich handelt es sich hier um eine messtechnisch bedingte Ungenauigkeit, da die Probe extrem kurz (um 0,4 cm kürzer) ist und sich eine geringe Ungenauigkeit in der Mess- oder Totzeit stark auswirkt. Der Unterschied liegt in einem Bereich von ca. 3 % Porosität.

Beim Dolomit (mit 143 $\mu\text{s}/\text{m}$) hingegen liegen die Werte der Porosität aus der akustischen Messung eindeutig, um ca. 7%, oberhalb der Porositäten aus der Masse. Ein Grund für diesen Unterschied könnte die starke Klüftung des Dolomits sein. Diese ändert nur wenig an der Dichte, hat aber eine Auswirkung auf die Geschwindigkeit der Wellen durch die Probe. Ein anderer Grund, wie schon oben angesprochen kann der „falsche“ Wert für die slowness sein. Wenn man Anstelle von 143, 172 einsetzt, passen die Werte besser zusammen und der Unterschied liegt nur bei rund 1 %. Hinzu kommt, dass die Wyllie-Gleichung für Tiefen >1000 m empfohlen wird. Bei den Oberflächenmessungen im Labor ist die Probe unter geringerem Druck. Damit nimmt die Geschwindigkeit ab bzw. die slowness zu. Folglich ergibt sich eine zu hohe Porosität.

5.3.3 Formationsfaktor und Porosität aus den elektrischen Messungen

Auch hier wurde zunächst mit der Archie-Gleichung eine Porositätsabschätzung vorgenommen, die in die Tabelle der Messwerte (Tabelle 11) eingetragen ist.

	k	R	R ₀	R _w	F	a	m	Porosität
	m	Ω	Ωm	Ωm				%
VK 2	0,02	4981,50	101,89	5,37	18,99	1	1,3	10,39
GF 1	0,02	3766,50	80,39	5,33	15,08	1	1,3	12,40
GF 2	0,02	3670,50	75,07	5,33	14,09	1	1,3	13,07
GF 3	0,02	3986,50	72,48	5,31	13,65	1	1,3	13,39
GF 4	0,02	4022,50	83,31	5,30	15,73	1	1,3	12,00
K 2	0,02	51745,00	1090,14	5,41	201,62	1	1,5	2,91
K 3	0,03	45615,00	1178,48	5,35	220,44	1	1,5	2,74
K 4	0,02	133150,00	2723,33	5,34	509,81	1	1,5	1,57
K 5	0,02	142450,00	3178,41	5,31	599,13	1	1,5	1,41
Dol 3 (1)	0,02	58155,00	1297,58	5,31	244,33	1	1,5	2,56
Dol 4 (1)	0,03	47075,00	1191,13	5,33	223,52	1	1,5	2,72

TABELLE 11: BERECHNUNG DER POROSITÄT AUS DER ELEKTRISCHEN MESSUNG

In Tabelle 11 wurden die Berechnungsschritte für die Porosität aus den elektrischen Messungen dargestellt. Die Formeln hierzu findet man im Kapitel 5.2.4.

In Tabelle 12 sind wiederum diese Porositätswerte den aus der Massebestimmung ermittelten gegenübergestellt. Zusätzlich sind die Werte nach der Wyllie-Gleichung aufgenommen.

	Porosität (masse)	Porosität (akust.)	Porosität (elektr.)
VK 2	17,48		10,39
GF 1	15,46		12,40
GF 2	15,57		13,07
GF 3	16,48		13,39
GF 4	15,21		12,00
K 2	0,80	3,38	2,91
K 3	1,21	0,41	2,74
K 4	0,43	0,50	1,57
K 5	1,46	1,65	1,41
Dol 3 (1)	1,50	2,19	2,56
Dol 4 (1)	2,10	3,03	2,72

TABELLE 12: VERGLEICH DER POROSITÄTEN [%]

Da auch hier die Korrelation nicht zufrieden stellend ist, wird direkt der Formationsfaktor mit der aus der Masse bestimmten Porosität korreliert.

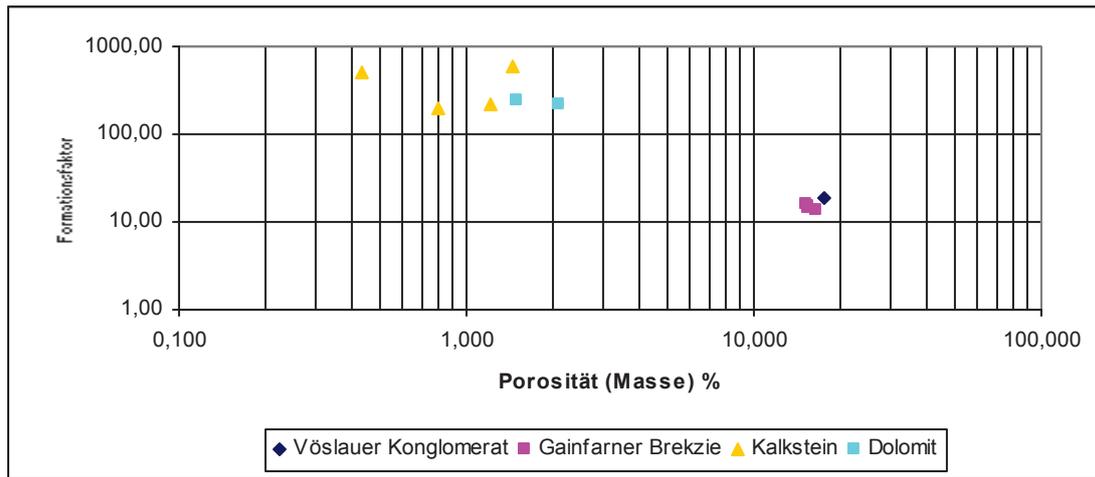


ABBILDUNG 32: POROSITÄT (MASSE) [%] - FORMATIONSFAKTOR

Die Abbildung 32 zeigt den Formationsfaktor gegen die Porosität (Masse).

Der Formationsfaktor gilt als Maß für die Vergrößerung des spezifischen Widerstandes einer wässrigen Porenlösung durch eine nichtleitende Gesteinsmatrix. Dieser wird somit zum Großteil von der Porosität bestimmt (SCHÖN, 1983).

Dolomit und Kalkstein haben mit einer geringeren Porosität einen höheren Formationsfaktor, hingegen haben Brekzie und Konglomerat mit höherer Porosität einen geringeren Formationsfaktor.

Die Zementationsexponenten a und m wurden über den Formationsfaktor und die Porosität abgeschätzt. Für a wurde ein Wert von 1 angenommen und für m für die Gainfarner Brekzie und das Vöslauer Konglomerat 1,5, sowie für den Kalkstein und den Dolomit 1,3 (siehe Abb. 33) abgeleitet.

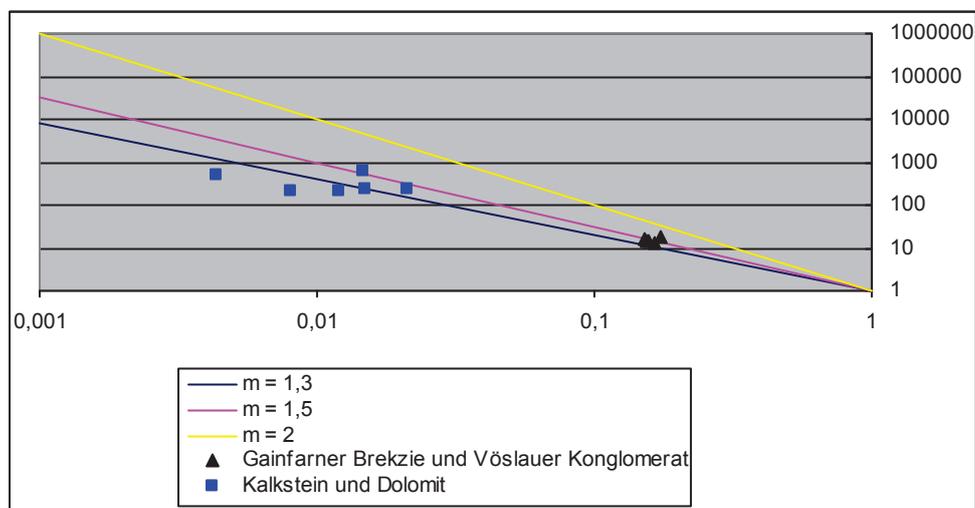


ABBILDUNG 33: ABSCHÄTZUNG VON A UND M AUS POROSITÄT (MASSE) [%] - FORMATIONSFAKTOR

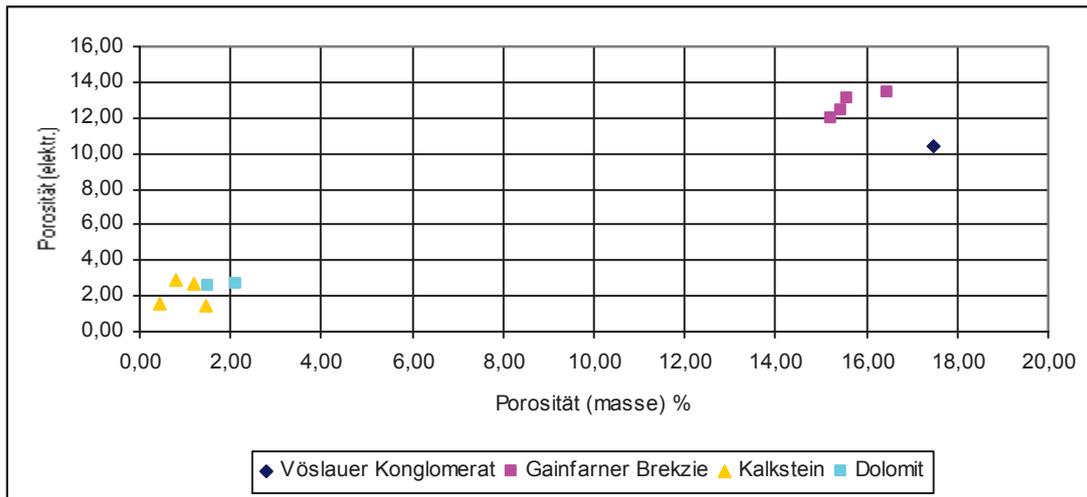


ABBILDUNG 34: POROSITÄT (MASSE) [%] – POROSITÄT (ELEKTRISCH) [%]

Bei dem Vergleich der Porositäten (Masse) mit denen aus den Widerstandsmessungen (Abbildung 34) sieht man, dass die Werte der Gainfarner Brekzie recht gut übereinstimmen und der Wert des Vöslauer Konglomerates eine niedrigere Porosität aus den elektrischen Messungen als die Porositäten aus der Masse hat. Kalkstein und Dolomit zeigen ebenfalls einen geringen Unterschied. Die Porosität (elektrisch) hier ist ein wenig höher (um bis zu 2 %). Die Gründe könnten wiederum bei den Klüften und Fractures gesucht werden, die auf die elektrischen Eigenschaften stärkeren Einfluss als auf die Porosität selbst haben.

5.3.4 Vergleich der Porosität aus den akustischen und den elektrischen Messungen

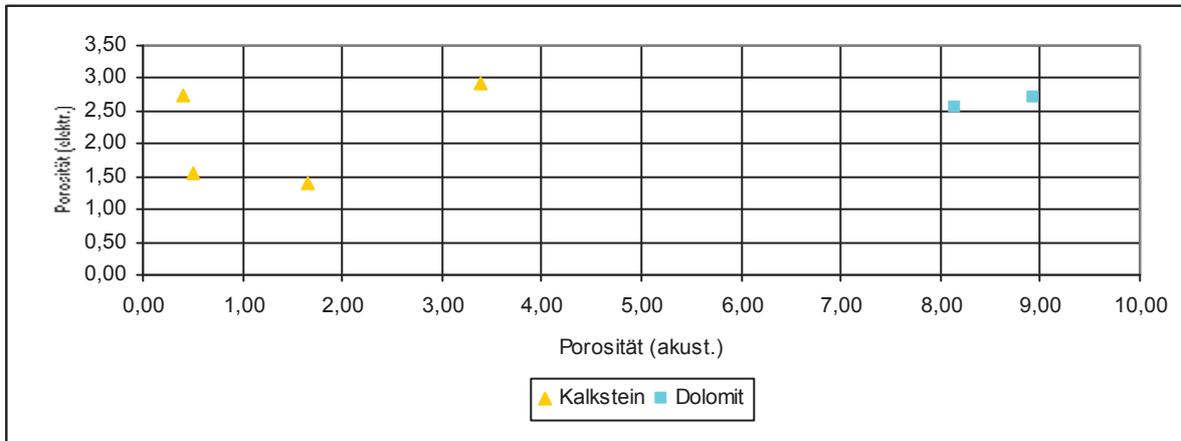


ABBILDUNG 35: POROSITÄT (AKUSTISCH) [%] – POROSITÄT (ELEKTRISCH) [%]

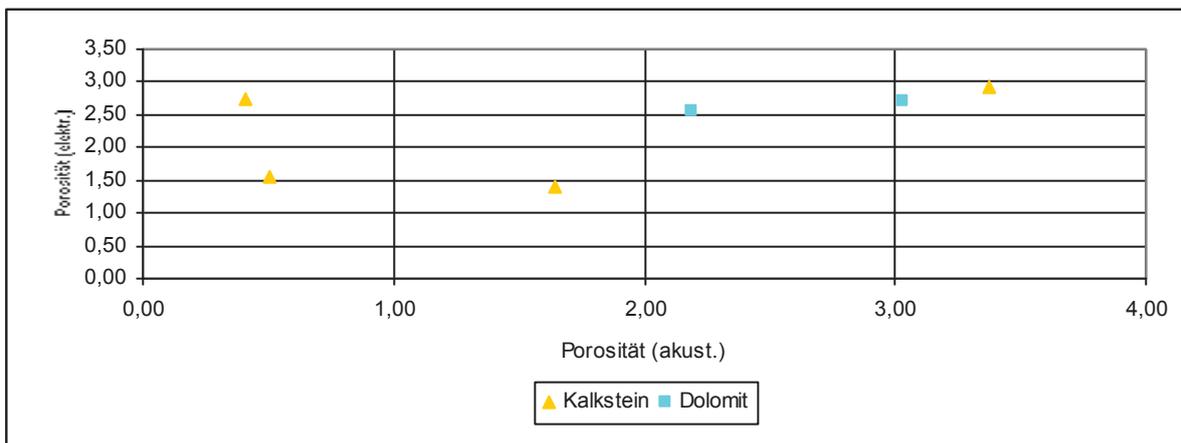


ABBILDUNG 36: POROSITÄT (AKUSTISCH) [%] – POROSITÄT (ELEKTRISCH) [%]

Die letzten 2 Plots zeigen die elektrische Porosität gegen die Porosität aus den Ultraschallmessungen. Die Werte des Kalksteins liegen im Vergleich nur ein wenig auseinander (zwischen 1 und 2 %). Der Dolomit wurde wieder in Abbildung 35 mit einem Δt_{matrix} von 143 und in Abbildung 36 von 172 $\mu\text{s}/\text{m}$ dargestellt. Bei der oberen Abbildung liegt der Unterschied der Werte bei rund 6 %, hingegen sind bei der unteren die Werte sehr ähnlich.

5.4 Zusammenfassung

Die Werte der Porositäten des Vöslauer Konglomerats und der Gainfarner Brekzie stimmen bei den unterschiedlichen Messverfahren gut über ein.

Die Gainfarner Brekzie hat im Durchschnitt eine Porosität von ~13 % aus den elektrischen Messungen und ~15 % aus der Masse.

Das Vöslauer Konglomerat besitzt eine geringere Porosität mit rund 11 % (elektrisch) und eine höhere mit rund 17 % (Masse).

Probleme traten beim Kalkstein nur bei einem „Ausreißer“ auf, die sich aber auf die unterschiedliche Länge der Probe, im Gegensatz zu den 3 anderen, zurückführen lassen. Bei der Überprüfung der Δt_{matrix} Werte, ist erkennbar, dass die Standardwerte aus SCHÖN (1999) mit den gemessenen gut korrelieren.

Im Gegensatz dazu der Dolomit, bei dem anstelle des Standardwertes 143, der abgeleitete Wert aus dem Crossplot (Abbildung 29), mit 172 $\mu\text{s/m}$ verwendet wurde. Zu Beginn passten die meisten Werte aus den Messungen nicht gut überein (siehe die Plot-Vergleiche). Mit dem geänderten Wert, korrelierten die Daten viel besser.

Für die Anwendung der Archie-Gleichung werden für die Proben gute Ergebnisse mit den aus den Messungen abgeleiteten Parameter $a = 1$ und $m = 1,3$ bzw. $1,5$ erzielen.

Die Werte für die Porosität des Kalksteins aus der Masse, den elektrischen und den akustischen Messungen liegt zwischen 0,5 und 3,5 %. Die Dolomit Porositäten liegen mit einem Δt_{matrix} von 172 $\mu\text{s/m}$ ähnlich den Werten des Kalksteins zwischen 1 und 3 %.

6 Geophysikalische Bohrlochmessungen

6.1 Grundlagen der Bohrlochmessungen

In diesem Kapitel wird ein kurzer Überblick über die in dieser Arbeit verwendeten geophysikalischen Bohrlochmessungen gegeben. Die Grundlage bildete von FRICKE & SCHÖN „Praktische Bohrlochgeophysik“ (1999).

Beim Einsatz und bei der Bewertung der Bohrlochmessergebnisse ist stets zu beachten, dass diese einer Reihe von Fehler- und Störeinflüssen unterliegen, besonders wichtig sind dabei Effekte, die durch Kaliberveränderungen und Infiltration hervorgerufen werden. Sie erfordern bei einer quantitativen Auswertung entsprechende Korrekturen.

Elektrische Messverfahren

Man unterteilt grundsätzlich in die Messung von natürlichen und künstlichen Feldern. Die natürlichen Verfahren werden mit passiven Verfahren wie der Eigenpotentialmethode gemessen, die künstlichen hingegen mit aktiven Verfahren wie der Widerstandsmessung.

Bei der Untersuchung von natürlichen und künstlichen Feldern liegt ein stationäres Feld zu Grunde, daher wird der elektrische Widerstand gemessen.

Ausnahmen zu den meisten gesteinsbildenden Mineralen mit hohem spezifischem Widerstand bilden Vererzungen, Graphit und Tonminerale. Poren und Kluftwässer sind meist gut leitend, wobei dies immer von den gelösten Salzen und der Temperatur abhängt. Bei tonfreien, bzw. „reinen“ Gesteinen, deren Matrixleitfähigkeit zu vernachlässigen ist, gilt Gesteinsleitfähigkeit ist proportional der Porenwasserleitfähigkeit.

Verfahren der Widerstandsmessung

Das physikalische Prinzip das dem Messverfahren zu Grunde liegt, ist die Messung des scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstandes. Wichtig ist, dass das Bohrloch unverrohrt und die Spülung elektrisch leitend ist. Die Maßeinheit ist Ohmmeter. Bei der Einelektroden-Widerstandsmessung wird mittels einer Elektrode Strom zugeführt und mit dieser gleichzeitig die Spannung gemessen. Für ein quantitatives Ergebnis werden Vierelektroden-Messungen verwendet. Hierbei werden Stromeinspeisung und Spannungsabgriff getrennt. Die Ergebnisse die aus der Interpretation gezogen werden können, sind Aussagen über die Lithologie, Kluftbereiche und Porositäts- sowie Sättigungsbestimmung.

Bei den fokussierenden Widerstandsmessverfahren wird im Vergleich zu den konventionellen 4-Elektrodenmessungen der Strom lateral (seitlich) in das Gebirge gedrängt. Die Vorteile sind hier, dass ein höheres Schichtauflösungsvermögen erreicht wird und der gemessene Widerstand dem wahren Schichtwiderstand näher kommt.

Gut anwendbar ist dieses Verfahren für hochohmige Formationen, wobei die Grenze des maximalen Widerstandes, der gemessen werden kann, bei etwa 40.000 bis 60.000 Ohm liegt. Überschritten wird diese zum Beispiel von Zechsteinsalz oder Anhydrit.

Mikrowiderstandsmessung

Bei dieser Messung werden die Elektroden auf einer Platte montiert, die direkt an die Bohrlochwand gepresst wird. So wird ein direkter Kontakt mit dem Gebirge, abgesehen von der Rauigkeit oder dem Filterkuchen, hergestellt. Die Elektrodenabstände liegen im cm-Bereich. Ein großer Vorteil dieser Methode ist, dass ein hohes vertikales Auflösungsvermögen erreicht wird. Daher wird sie hauptsächlich zum Lokalisieren von permeablen oder infiltrierten Schichten verwendet.

Radiometrische und kernphysikalische Verfahren

Dieses Verfahren liegt die Messung von radioaktiver Strahlung zu Grunde, wobei entweder Gamma- oder Neutronstrahlung gemessen wird. Es wird die natürliche Strahlung des Gebirges oder die Strahlung im Ergebnis von Wechselwirkungsprozessen erfasst.

Ein großer Vorteil des Verfahrens ist, dass im offenen und verrohrten Bohrloch Messungen vorgenommen werden können. Es werden drei Gruppen von Verfahren unterschieden. Die erste ist die Gammamessung, die die natürliche Radioaktivität der Gesteine misst. Bei der zweiten Gruppe, der Gamma-Gamma-Messung, wird eine Gammaquelle mit der Sonde eingebracht und die rückgestreute Strahlung gemessen. Bei der Neutronmessung, der dritten Gruppe, wird eine Neutronquelle als Teil der Sonde verwendet und ebenfalls die Strahlung nach Wechselwirkungsprozessen (Brems- und Einfangprozesse) gemessen.

Die Grundlage der Gammamessung liegt im Zerfall der im Gestein erhaltenen instabilen Isotope von Kalium, Thorium und Uranium, die zur natürlichen Radioaktivität führen. Der Anteil dieser Elemente ist von Mineral zu Mineral bzw. von Gestein zu Gestein unterschiedlich. Erhöhte Konzentrationen liegen bei Tonmineralen, Kalifeldspäten, Glimmern und Kalisalzen vor. Grundsätzlich ist die Tendenz, dass bei kristallinem Gestein die Radioaktivität von basischen zu sauren Gesteinen und bei Sedimentgesteinen von tonfreien zu tonhaltigen zunimmt.

Das Prinzip bei dieser passiven Messung ist, dass die Gammastrahlen von einem Detektor aufgenommen werden und in elektrische Impulse umgewandelt werden. Anhand des Logs können Aussagen über die Lithologie und den Tongehalt gemacht werden.

Gamma-Gamma-Dichte Messung

Mit der Gamma-Gamma-Messung kann über den Comptoneffekt die Gesteinsdichte bestimmt werden, bei bekannter Matrixdichte lässt sich hieraus die Porosität berechnen. Es werden folglich zwei Dichten unterschieden, zum einen die Bulk-Dichte und zum anderen die Matrixdichte, wobei die Bulk-Dichte die gesamte Formation mit fluiden und festen Phasen umfasst. Die Matrixdichte ist nur die Dichte des festen Gesteins. Angegeben werden die beiden in g/cm^3 .

Ein Dichte-Log kann helfen, Evaporitminerale zu identifizieren, gashältige Zonen abzugrenzen sowie tonige Sand-Reservoirs und komplexe Lithologien zu bestimmen.

Während der Messung wird versucht den Sender an die Bohrlochwand zu drücken, da die Eindringtiefe relativ gering ist. Es wird Gammastrahlung in die Formation ausgesendet. Bei der Kollision mit den Elektronen der Formation, verliert das Gammateilchen Energie.

Die Bulk-Dichte wird auch für Porositätsabschätzungen verwendet (ASQUITH & KRYGOWSKI, 2004).

Akustische Verfahren

Bevorzugte Anwendung findet dieses Verfahren im unverrohrten Bohrloch. Es wird hierbei die Ausbreitung elastischer Wellen im Bohrloch gemessen und ihre Laufzeit bestimmt. Gesendet werden sie von einem Ultraschallsender und von einem bzw. mehreren Ultraschallempfänger empfangen. Von dem Log kann man auf die Porosität, die Speichereigenschaften, die Klüftigkeit und die mechanischen Gesteinseigenschaften schließen (FRICKE & SCHÖN, 1999).

6.2 Korrelation

Unter „Korrelation“ versteht man in der Bohrlochmessung das Verfolgen bzw. Verbinden von typischen Kurvenmerkmalen benachbarter Bohrungen. Es eignen sich hierfür vor allem „lithologie sensitive“ Logs, wie das Gamma- oder das SP-Log (Eigenpotential). Die Korrelation in dieser Arbeit war jedoch nur aufgrund der geologischen Profile möglich, da das Gamma-Log vor allem für den Karbonatbereich nicht geeignet ist.

6.2.1 Korrelation der Gammalogs sämtlicher Bohrungen

Zuerst wurden die vorhandenen Gammalogs (in API Einheiten) nebeneinander dargestellt (Abb. 37). Der Tiefenmaßstab ist einheitlich die Seehöhe.

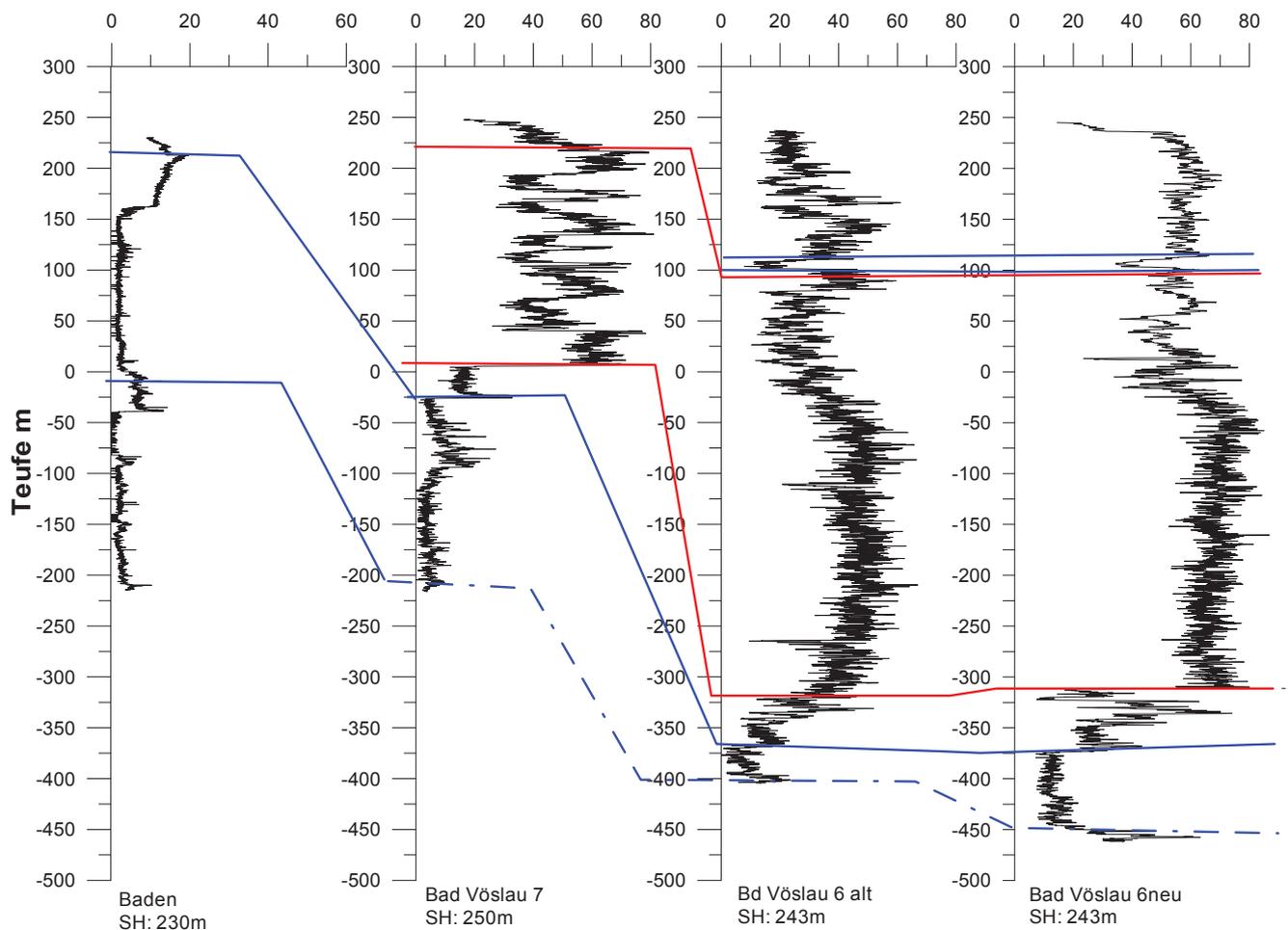


ABBILDUNG 37: GAMMALOGS SÄMTLICHER BOHRUNGEN IN API-EINHEITEN

Bestimmte Grenzen wurden versucht mit Hilfe von geologischen Profilen zu verbinden, da dies sonst oft nicht eindeutig bestimmbar war. Die Bohrung Baden stellte in der Hinsicht ein Problem dar, da der gesamte Untergrund aus einem Karbonatbereich besteht. Dieser wird zwar lithologisch unterteilt, jedoch können Karbonate untereinander alleine durch ein Gammalog meist nicht unterschieden werden (hierzu wäre eine Kombination von Dichte-Neutron-Log erforderlich).

Zu Beginn wurde versucht, die Grenze des Wettersteinkalks bzw. -dolomits zu verfolgen (blauer Bereich). Charakteristisch sind hier die geringen Gammawerte für das Karbonat. Die Bohrung Baden besitzt den mächtigsten Anteil an Wettersteinkalk/dolomit, wobei vermutet werden kann, dass bei den anderen drei Bohrungen in größerer Tiefe dieser auch noch auftritt. Da das Ende der Bohrung nicht unbedingt das Ende einer Lithologie bedeutet wurde die untere Grenze des Karbonates nur strichliert angedeutet.

Der Bereich (rot-blaue Grenzen) über dem Wettersteinkalk/-dolomit weist einen geringfügig höheren Gammawert auf. Dies passt zur Gainfarner Brekzie, die vom Wettersteindolomit gespeist wurde. In der Bohrung Baden tritt sie jedoch nicht mehr auf. Bei der Bohrung Bad Vöslau 7 liegen die Grenzen bei -25 m und 10 m und bei 6 (neu und alt) bei -320 bzw. -375 m.

Der darüber liegende rote Abschnitt, wird als Schotter-Sand und Mergelfolge bezeichnet, gekennzeichnet durch höhere Gammawerte. (Eine genauere Beschreibung und Korrelation erfolgt in Kapitel 6.2.1.2) Auch dieser Bereich tritt nicht bei der Bohrung Baden auf.

Eine Karbonatlage zwischen 100 und 120 m ist nur in den Bohrungen Bad Vöslau 6 alt und neu erkennbar. Charakteristisch ist der starke Rückgang der Gammawerte. Weder bei der Bohrung Baden noch bei Bad Vöslau 7 ist diese vorhanden.

6.2.2 Korrelation Bad Vöslau 6 (neu) und 7

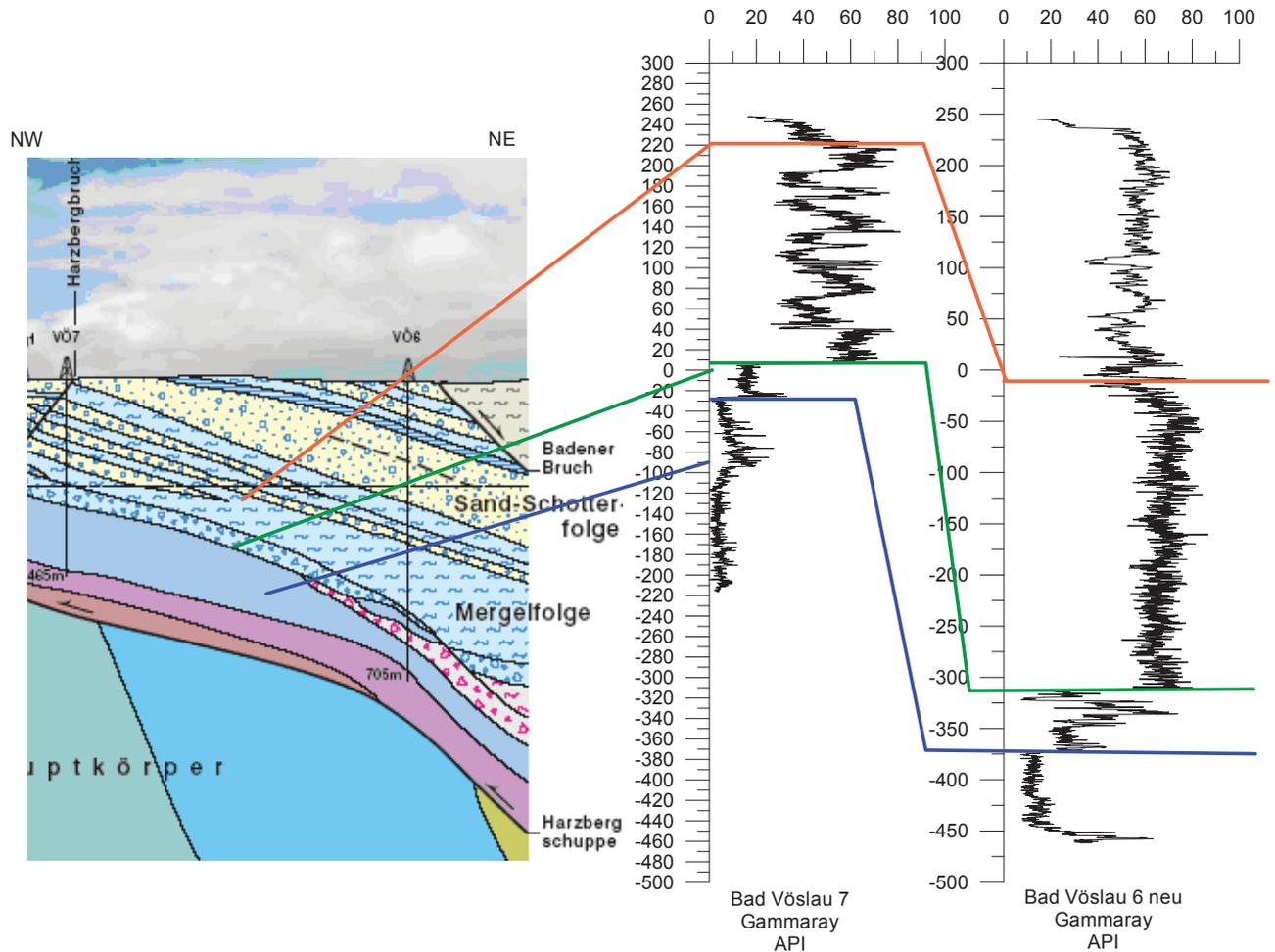


ABBILDUNG 38: NW-NE PROFIL BEI BAD VÖSLAU KORRELIERT MIT GAMMALOGS VON 6 (NEU) UND 7

Bei der Korrelation der Bohrungen Bad Vöslau 6 (neu) und 7 stand ein geologisches Profil (WESSELY ET AL., 2007) zur Verfügung (Abb. 38; links).

Von unten nach oben beginnend, ist im Liegenden der Wettersteinkalk (blau begrenzt) mit Wettersteindolomit-Lagen. Die Schichten fallen von West nach Ost mit ca. 60 Grad ein. Darum liegen die Schichten bei der Bohrung 7, die im Westen liegt, höher als bei 6 (neu). Über dem Wettersteinkalk, tritt die Gainfarner Brekzie (grün-blauer Bereich) auf. Die Gammawerte sind hier gering höher als beim Kalk, da die Brekzie aus Bruchstücken von hauptsächlich Wettersteindolomit besteht.

Die beiden Gammalogs bestätigen diesen Aufbau und lassen folgende Merkmale erkennen:

- Der untere Bereich ist durch sehr niedrige Gammawerte gekennzeichnet. Er repräsentiert die Karbonatfolge. Nach den Logs liegt die obere Grenze bei –30 (Vöslau 7) und –375 m (Vöslau 6 neu).
- Es folgt mit leicht erhöhten Gammawerten die Gainfarner Brekzie. Die obere Grenze liegt bei der Bohrung Bad Vöslau 7 bei 10 m und bei 6 neu bei –315 m. Obwohl die Gainfarner Brekzie vom Wettersteindolomit gespeist wurde, sind die Werte im Gegensatz zum Karbonatbereich erhöht, dies ist vermutlich auf tonig-siltige Beimengungen zurückzuführen.
- Die anschließende Mergel- Sand- und Schotterfolge (grün-oranger Bereich) sind in den beiden Bohrungen unterschiedlich ausgebildet.

In der Bohrung 6 (neu) sind beide Abfolgen praktisch als getrennte Gesteinskörper vorhanden. Die Mergelfolge mit hohen Gammawerten erstreckt sich bis auf –10 m. Es schließt sich mit geminderten Gammawerten die Sand- und Schotterfolge an. Diese reicht bis zur Oberfläche. Unterbrochen wird sie nur durch eine wenige Meter mächtige Kalklage bei 100 m.

In der Bohrung 7 sind die beiden Gesteinsausbildungen weniger mächtig und als Wechselfolgen verzahnt. Die höheren Gammawerte weisen dabei auf die Mergellagen und die niedrigeren auf die Sand-Schotterlagen hin. Es tritt bei dieser Bohrung keine Kalklage mehr auf. Dies liegt am Einfallen der Schichten, wie man im Profil gut erkennt.

6.2.3 Temperaturabfolge

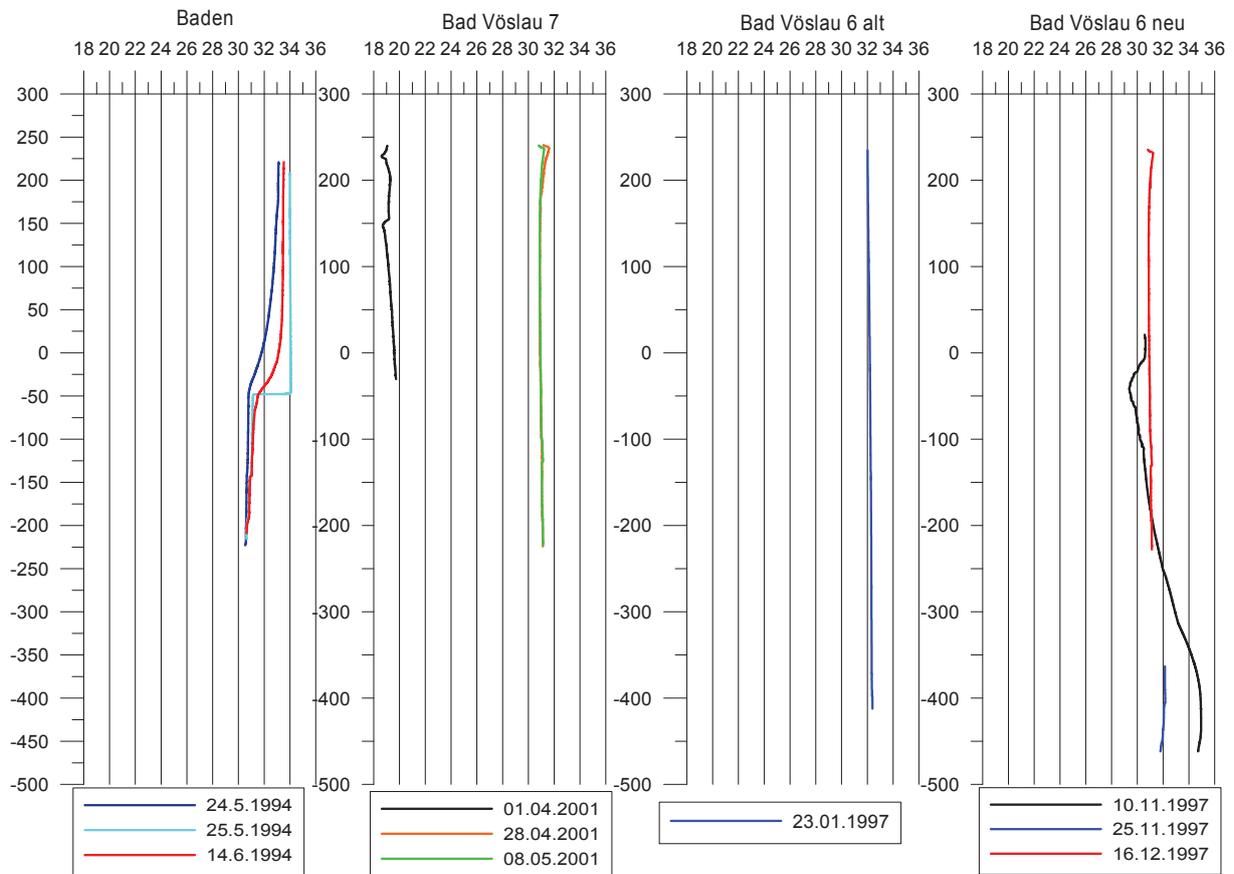


ABBILDUNG 39: TEMPERATURLOGS SÄMTLICHER BOHRUNGEN [C°]

Die Temperaturabfolge bei den Bohrungen in Bad Vöslau ist relativ einheitlich, außer der Bohrung 6 (alt) (Abb. 39). Der Anstieg der Bohrung 6 (alt) nach unten hin, kann daran liegen, dass die Förderung des Wassers eingestellt wurde. Es nimmt dann beim Verweilen im Bohrloch nach und nach die Temperatur des Gebirges an.

Die Bohrung Baden ist zweigeteilt. Der Temperatur zufolge, ist der untere Bereich denen von Bad Vöslau ähnlich. Der obere Bereich weist höhere Temperaturen auf (Abb. 39). Dies könnte mit dem Zirkulationssystem von Prof. Dr. Wessely (Kapitel 2.3, Abb. 14) zusammenhängen.

6.3 Porositätsabschätzung

6.3.1 Methodik

Eine gute Grundlage für die Porositätsberechnung von Karbonaten wäre die Dichte-Neutron-Log-Kombination. Die Dichte kann Rückschlüsse auf die Lithologie geben und es kann eine Matrixdefinition vorgenommen werden.

Ein weiterer Weg für die Porositätsabschätzung wären Crossplots. Dazu wird eine graphische Lösung herangezogen, bei der zwei oder drei Porositätsmessungen herangezogen werden, um die Lithologie und Porosität zu berechnen. Es wird eine Messung entlang der x-Achse und eine entlang der y-Achse aufgetragen. Im Plot sind lithologische Linien eingetragen, meist eine für Sandstein, Kalkstein und Dolomit. Auf jeder dieser Linien kann die Porosität bestimmt werden (ASQUITH & KRYGOWSKI, 2004).

Bei den hier bearbeiteten Bohrungen wurden entweder nur ein Dichte oder nur ein Soniclog gemessen. Somit fehlte bei der Porositätsberechnung eine Dichte-Neutron- oder eine Dichte-Sonic-Kombination. Weiters konnte so die Matrix nicht anhand der Bohrlochmessungen definiert werden.

Die Porositätsberechnungen können in 2 Gruppen geteilt werden:

- Bad Vöslau 7 und 6 (neu) nach Sonic -Log
- Baden und Bad Völsau 6 (alt) nach Dichte-Log

Zusätzlich wurde versucht die Porosität aus den Widerstandslogs zu berechnen. Diese war nur für die erste, oben genannte, Gruppe (Bad Vöslau 7 und 6 (neu)) möglich, da hier ein R_w mitgemessen wurde. Zusätzlich erforderlich sind die Zementationsexponenten a und m , die aus der Petrophysik abgeleitet wurden.

- $a = 1$
- $m = 1,3$

Dargestellt sind in den nachfolgenden Kapiteln nur die Karbonatbereiche.

6.3.2 Bad Vöslau 7

Das verfügbare Log für die Porositätsberechnung bei dieser Bohrung war das Sonic-Log. Zu Beginn wurden der Kalkstein und Dolomit anhand von geologischen Profilen unterschieden. Eine Matrixidentifikation war aus oben genannten Gründen nicht möglich.

Die Berechnung der Porosität erfolgte mittels der Wyllie Gleichung (Beschreibung Seite 35). Folgende Parameter wurden verwendet:

$\Delta t_{\text{Kalkstein}}$: 156 $\mu\text{s/m}$

$\Delta t_{\text{Dolomit}}$: 143 $\mu\text{s/m}$

Δt_{Wasser} : 700 $\mu\text{s/m}$

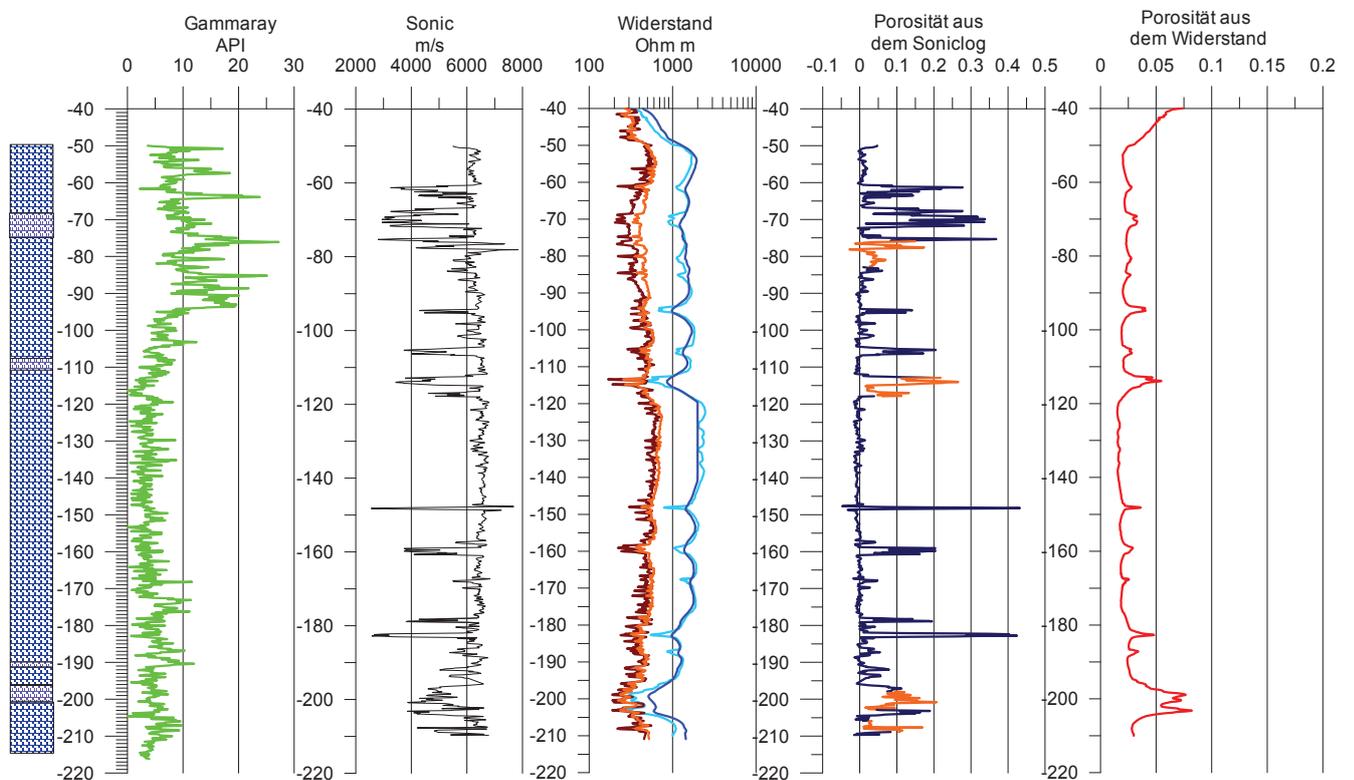


ABBILDUNG 40: LOGS DER BOHRUNG BAD VÖSLAU 7 (GAMMARAY, SONIC , WIDERSTAND, POROSITÄT AUS SONIC BZW. WIDERSTAND) (04/05.2001)

Bei der Zusammenstellung wurden die Bereiche nach den geologischen Profilen für den Kalkstein in blau und die für den Dolomit in orange dargestellt. In grün ist das Gamma-Log dargestellt und rot zeigt die Porosität aus dem Widerstand. Weiters abgebildet sind in schwarz das Sonic- Log sowie bei den Widerständen: das Laterolog in türkis, R64 in blau, ML 1 in braun und ML 2 in orange (Abb. 40).

Bereiche mit Porositäten aus dem Sonic-Log über 10 % treten in folgenden Tiefen auf:

- -60 bis -80 m
- -95 m
- -105 m
- -110 bis -120 m
- -148 m
- -160 m
- -180 bis -185 m
- -195 bis -210 m

Praktisch dicht sind die Bereiche zwischen -50 bis -60 m; -85 bis -95 m; -120 bis -145 m; -165 bis -175 m.

Die berechneten Porositäten aus dem Sonic Log sind höher als die aus den Widerständen. Die Porositäten aus den Widerständen sind realistischer, da Porositäten im Karbonat über 10 % kaum auftreten. Es können so nur Bereiche abgeleitet werden, die stark porös oder kaum porös sind.

Die Bereiche mit höheren Porositäten aus dem Widerstandslog sowie aus dem Sonic-Log liegen in denselben Tiefen.

Die Porositäten aus dem Widerstandslog liegen zwischen 0,01 und 0,075. Diese Werte stimmen gut mit den Porositäten aus den petrophysikalischen Messungen überein.

6.3.3 Bad Vöslau 6 (neu)

Das verfügbare Log zur Berechnung der Porosität war das Sonic – Log.

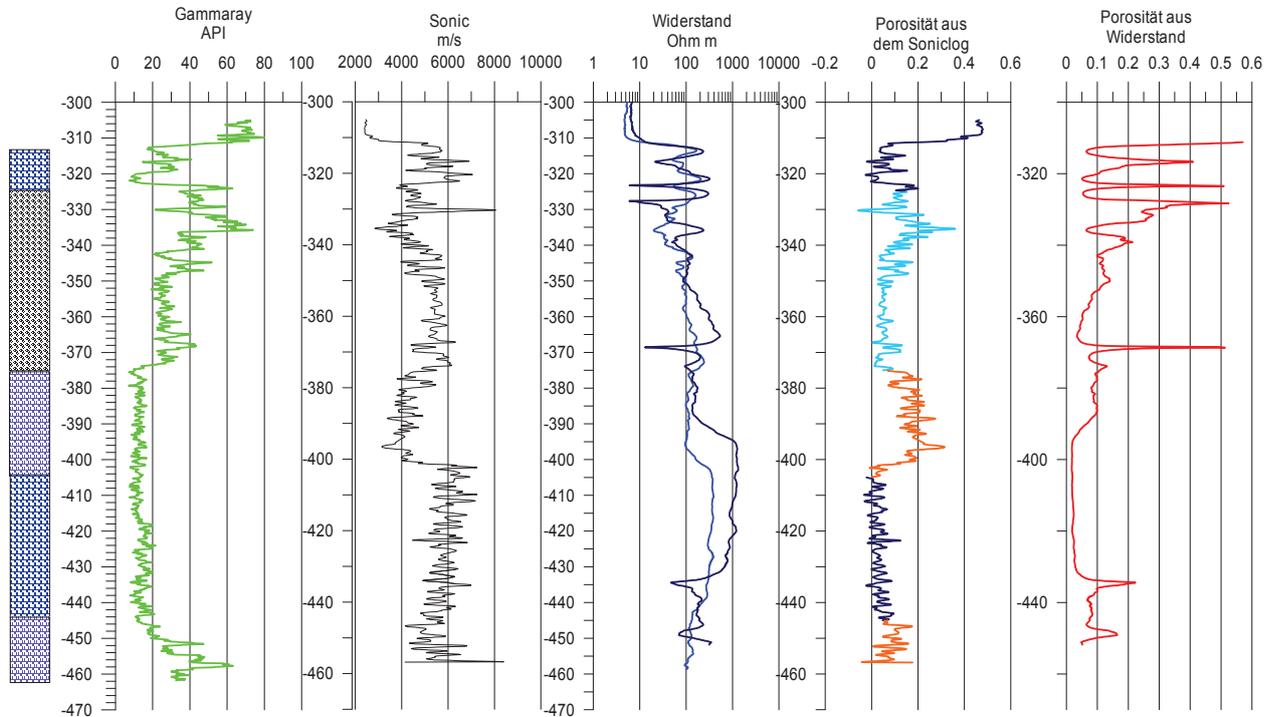


ABBILDUNG 41: LOGS DER BOHRUNG BAD VÖSLAU 6 (NEU) (GAMMARAY, SONIC, WIDERSTAND, POROSITÄT AUS SONIC BZW. WIDERSTAND) (10/11.1997)

Die lithologische Gliederung erfolgte wieder nach dem geologischen Profil. Der Kalkstein hier in dunkel blau, der Dolomit in orange und die Brekzie in türkis. Weiters dargestellt sind das Gamma wieder in grün, das Sonic-Log in schwarz, beim Widerstand, das R16 in blau und R64 in dunkelblau, sowie die Porosität aus dem Widerstand in rot.

Die Porositätsberechnung erfolgte wieder mittels der Wyllie Gleichung und denselben Parametern wie schon bei der Bohrung Bad Vöslau 7 angegeben (Abb. 41).

Porositäten aus dem Sonic – Log über 10 % liegen bei

- –315 m
- –320 m
- –322 bis –347 m
- –375 bis –400 m
- –445 bis –455 m

Alle anderen Werte liegen zwischen 0 und 0,1 bzw. unterhalb von 10 % und sind daher wenig porös.

Bei dieser Bohrung stimmen die Porositäten aus dem Sonic und dem Widerstandslog nicht gut überein. Der Bereich bis -340 m weist bei den Widerstands-Porositäten sehr hohe Werte auf, mit Spitzen bei 50 %. Dies ist jedoch unrealistisch. Die Porositäten aus dem Sonic Log sind in diesem Abschnitt niedriger.

Der Dolomitbereich zwischen -375 und -410 m hat erhöhte Porosität aus dem Sonic-Log, ist jedoch kaum porös nach dem Widerstands-Log. Dies könnte an den bei der Petrophysik erwähnten Klüften des Dolomits liegen.

Der Bereich des Kalksteins zwischen -405 und -442 m weist, außer bei -435 m bei der Widerstands-Porosität, bei beiden, geringe Werte auf. Dies ist realistisch, auch im Vergleich mit den petrophysikalischen Porositäten.

6.3.4 Baden

Das hier verfügbare Log zur Porositätsbestimmung ist das Dichte-Log.

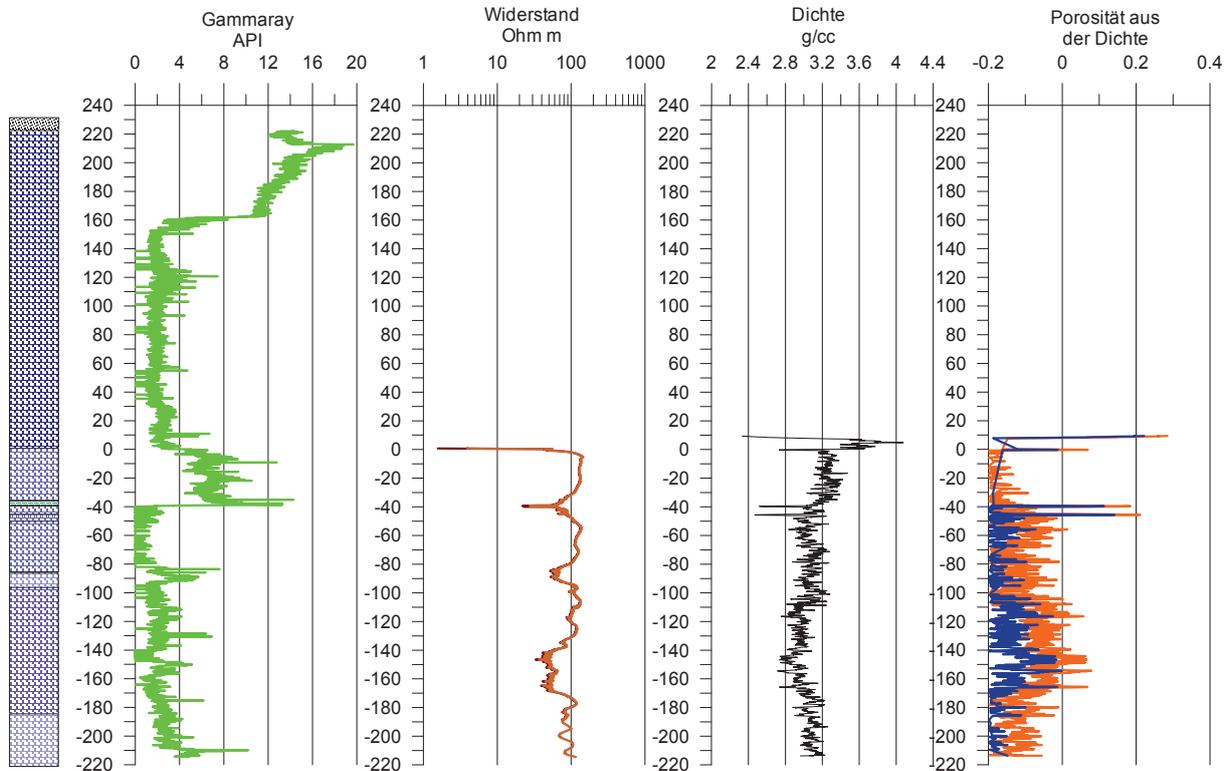


ABBILDUNG 42: LOGS DER BOHRUNG BADEN (GAMMARAY, WIDERSTAND, DICHT, POROSITÄT) (05.1994)

Abgebildet wurden das Gammalog in grün, der Widerstand in braun und das Dichte-Log in schwarz (Abb. 42).

Das Dichte-Log weist unrealistisch hohe Dichte-Werte zwischen 2,8 und 3,8 g/cm³ auf. Vermutlich ist dies auf nicht korrekte Kaliberkompensation zurückzuführen. Die Werte sind daher nur als Relativwerte anzusehen. Es wird damit nur die Veränderung der Dichte dargestellt, sie geben aber nicht die Absolutwerte wieder.

Somit sind auch die Porositäten nur als Relativwerte anzusehen und geben nur Bereiche an, die stärker porös oder schwach porös sind.

Die Berechnung erfolgte mit folgenden Parametern:

$$\rho_{\text{Matrix, Kalkstein}}: 2,71 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{Matrix, Dolomit}}: 2,86 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{Wasser}}: 1 \text{ g/cm}^3$$

Die berechnete Porosität, mit der oben genannten Dichten für den Dolomit, über den gesamten Karbonatbereich wurde in orange dargestellt und für den Kalkstein in blau. Eine Unterscheidung nach den geologischen Bereichen war nicht möglich, da es nur kleine Dolomitlage bei 346,5-347,6 m; 350-350,5 m und bei 367,2-369 m gibt. Diese wären bei der Darstellung kaum sichtbar.

Die meisten Werte liegen zwischen -0,2 und 0, wobei diese Werte unrealistisch sind. Man kann aber als Abschätzung sagen, dass diese Bereiche sehr gering porös sind. Nach der Kurve der „scheinbaren Porosität“ treten erhöhte Porositäten in folgenden Tiefenbereichen auf:

- -110 bis -140 m (mäßig porös)
- -140 bis -165 m (stark porös)

Ein Vergleich mit den Widerstandskurven bestätigt diese Tendenz. Im ersten Abschnitt ist die Abnahme minimal, im zweiten Bereich ist eine deutliche Widerstandsabnahme zu verzeichnen.

Nach dem Widerstand treten zwei weitere Bereiche auf:

- -40 m
- -80 bis -90 m

wobei die Messungen der Dichte und des Widerstandes nur im unteren Bereich der Bohrung vorhanden sind.

6.3.5 Bad Vöslau 6 (alt)

Das verfügbare Log für die Porositätsberechnung ist das Dichte-Log.

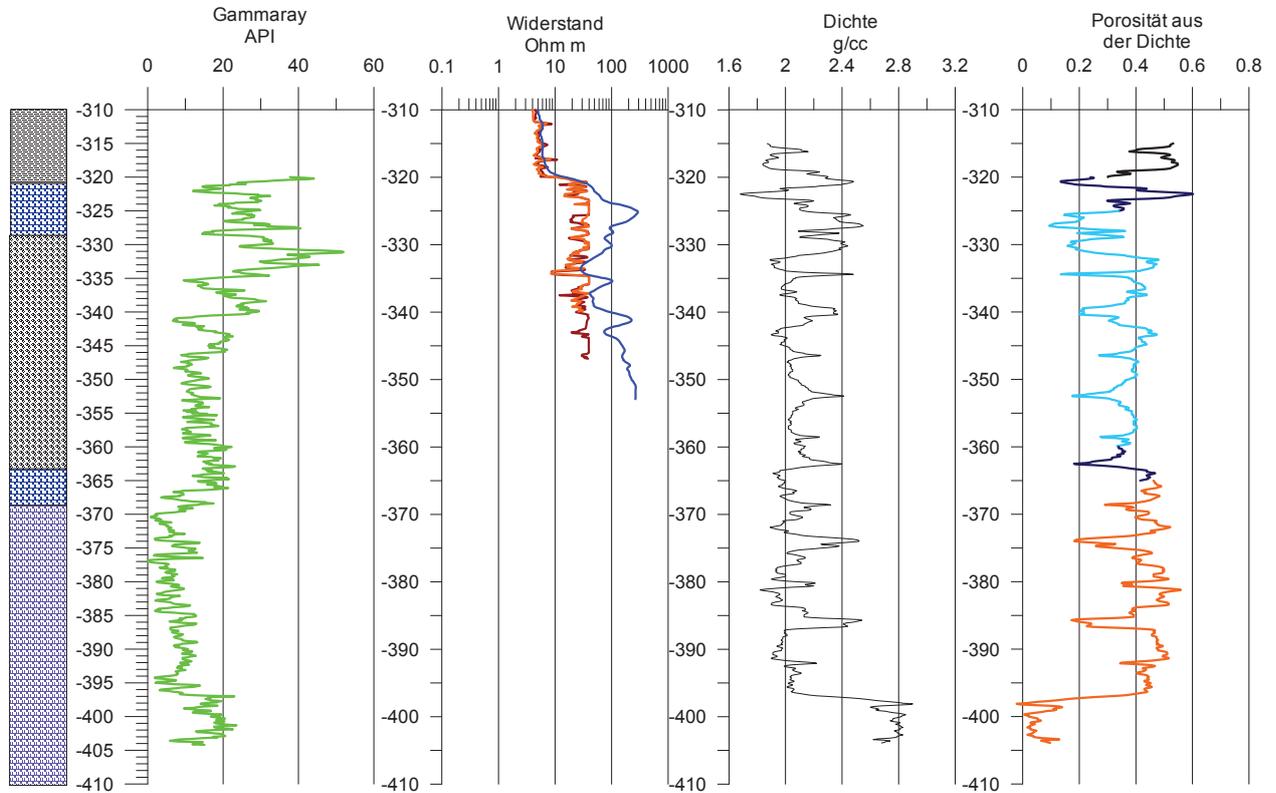


ABBILDUNG 43: LOGS DER BOHRUNG BAD VÖSLAU 6 (ALT) (GAMMARAY, WIDERSTAND, DICHT, POROSITÄT) (08.1994/01.1997)

Die Darstellung erfolgte, von links nach rechts, in grün das Gammalog, beim Widerstand in blau das R16, in orange das ML 2 und braun das ML 1, in schwarz das Dichte-Log. Bei den Porositäten steht der schwarze Bereich für Tonmergel, dunkelblau für Kalkstein, türkis für die Brekzie und orange für den Dolomit (Abb. 43).

Die Dichtewerte über -395 m sind unrealistisch gering und zeigen starke Schwankungen auf. Vermutlich ist auch hier eine fehlende bzw. nicht vollständige Kalibrierkorrektur schuld.

Die berechneten Porositäten liegen außer zwischen –395 m und –405 m alle über 10 %. Der Großteil der Werte liegt im Bereich zwischen 20 und 50%. Dies ist für einen Dolomit und einen Kalkstein viel zu hoch.

Da die Widerstandsmessungen nur bis zu einer Tiefe von –350 m vorliegen, kann für die Bohrung Bad Vöslau 6 (alt) aus den Logs keine Porositätsabschätzung vorgenommen werden.

Es kann aber die Bohrung Bad Vöslau 6 (neu), die sich in wenigen Metern Abstand befindet, zur Aussage herangezogen werden.

6.3.6 Zusammenfassende Betrachtung

Für die nachhaltige Bewirtschaftung der Tiefenwässer im Untergrund des südlichen Wiener Beckens müssen Basisdaten geschaffen werden. Die geologischen Rahmenbedingungen sind durch die periphere Explorationstätigkeit der Österreichischen Kohlenwasserstoffindustrie im Wesentlichen vorhanden. Die Geologie ist von Prof. Dr. Wessely mit einem sehr hohen Kenntnisstand aufbereitet und interpretiert. Hinsichtlich der hydrogeologischen bzw. hydrologischen Basisdaten ist allerdings der Kenntnisstand deutlich geringer und für eine schlüssige Bewertung der wasserwirtschaftlichen Situation in keiner Weise ausreichend. Dementsprechend sollte versucht werden aus dem in einem Teilgebiet vorhandenen Bohraufschlüssen zusätzliche hydrologische Erkenntnisse zu erhalten. Dafür wurden die geologisch-geophysikalischen Ergebnisse der Bohraufschlüsse in Baden und Bad Vöslau herangezogen.

Generell hat diese Arbeit gezeigt, dass im Gegensatz zur Kohlenwasserstoffexploration die Datenlage bei Wasser- bzw. Geothermiebohrungen infolge der verschiedenen Auftraggeber, Bohrausführenden Firmen und Projektanden sehr heterogen ist. Dementsprechend ist eine bohrlochgeophysikalische Korrelation meist infolge unterschiedlicher Logtypen technisch nur sehr eingeschränkt möglich und hinsichtlich Aussagekraft bzw. Informationsgewinn mit großen Unsicherheiten behaftet. Generell muss man davon ausgehen, dass hinsichtlich der Lithologielogs oft nur das Gammlaog an allen Bohrungen gemessen wurde. Wesentliche Logs wie Widerstandslog, Soniclog, Dichtelog aber auch SP-Log werden meist nur vereinzelt gemessen und können daher meist nicht zur Korrelation herangezogen werden.

Ergänzend zu diesem Arbeitsansatz hinsichtlich einer korrelativen Auswertung von geophysikalischen Bohrlochmessungen wurde daher versucht aus petrophysikalischen Daten von Gesteinen der verschiedenen Tiefengrundwasserleiter zusätzliche Informationen abzuleiten und somit zur vorgegebenen Problemlösung beizutragen.

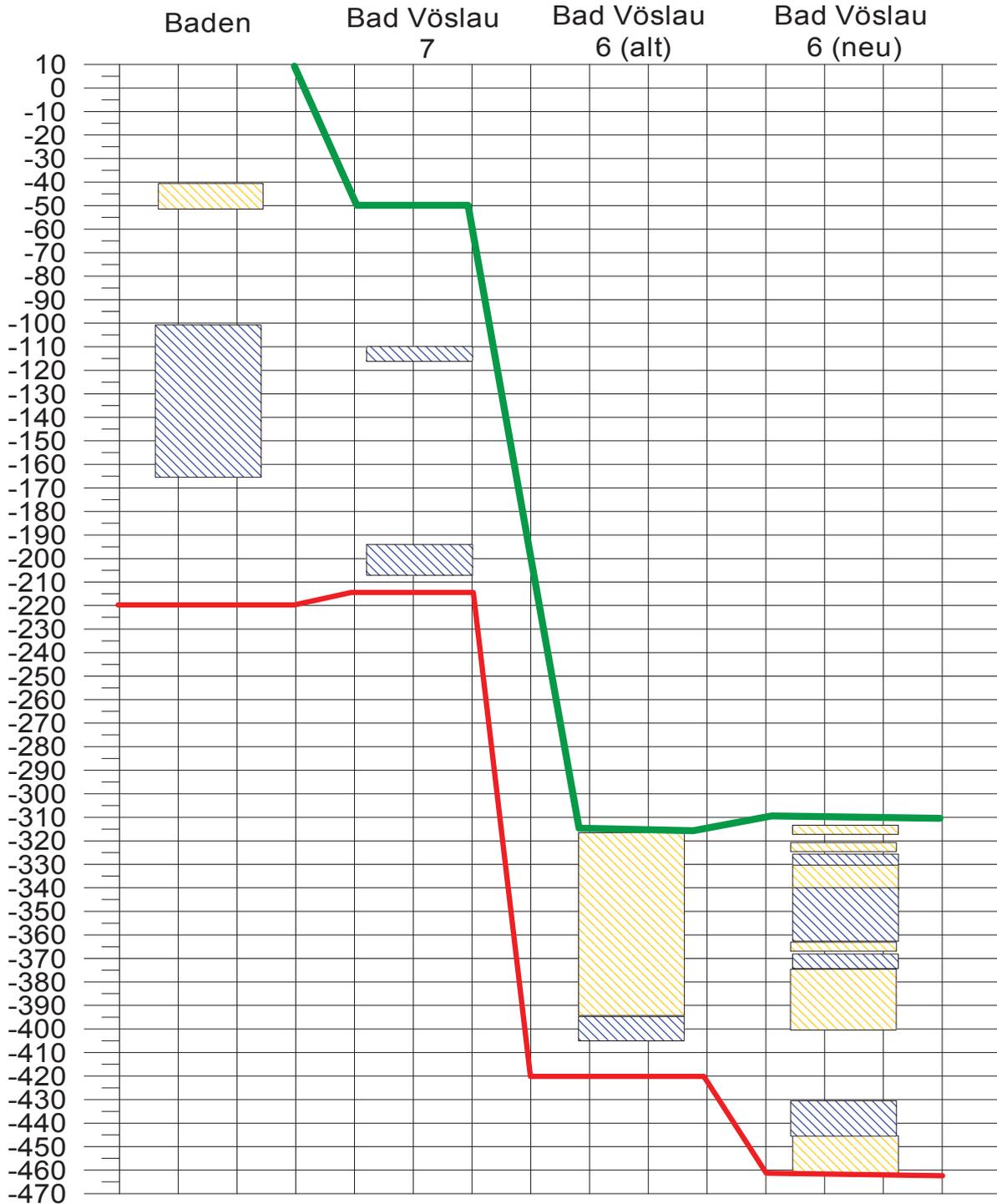


ABBILDUNG 44: DARSTELLUNG DER RELATIVWERTE DER POROSITÄT

 ... stark porös (> 10%)

 ... mäßig porös (5-10%)

Grün eingezeichnet die obere Grenze des Karbonatbereiches. Die rote Linie zeigt die Endteufe der Bohrungen an.

In der Abbildung 44 wurde noch einmal zusammenfassend die Porosität der einzelnen Bohrungen im Vergleich dargestellt. Wie schon zuvor beschrieben, sind die Werte nur Relativwerte. Die Bereiche wurden in einen stark porösen (<10 %) und einen mäßig porösen (5-10 %) Bereich unterteilt.

Bei der Bohrung Baden treten nur ein kleiner stark poröser und ein größerer mäßig poröser Teil auf. Die Bohrung Bad Vöslau 7 zeigt nur 2 kleine mäßig poröse Teile. Hingegen ist der Großteil des Karbonatbereiches der Bohrung Bad Vöslau 6 (alt) stark porös. Ebenso treten bei der Bohrung Bad Vöslau 6 (neu) größere Bereiche auf, die stark porös sind.

Durch das Fehlen einer Dichte-Neutron- oder einer Dichte-Sonic-Kombination können keine Absolutwerte bestimmt werden.

Bei Vorhandensein von Dichte und Neutron Log können über Crossplots

- Mineralzusammensetzung
- Porosität

bestimmt werden. Diese Messungen sind grundsätzlich sowohl im offenen als auch im ausgebauten Bohrloch möglich.

Der Ansatz von Prof. Dr. Wessely hinsichtlich der unterschiedlichen Genese der Tiefenwässer im Untersuchungsgebiet kann durch die vorliegenden Untersuchungen nicht erhärtet werden. So zeigen die Temperaturmessungen an der Thermalwasserbohrung in Baden eine eindeutige Abnahme der Formations- und somit Fluidtemperatur mit der Tiefe. An den übrigen Bohrungen konnte dieses Phänomen aber nicht festgestellt werden. Aus den vorliegenden bohrlochgeophysikalischen und petrophysikalischen Untersuchungen lassen sich aber auch keine Hinweise ableiten, dass diese hydrogeologischen Grundsatzüberlegungen von G. Wessely in diesem Gebiet nicht zutreffen.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

Veröffentliche Literatur:

- ASQUISH, G. & KRYGOWSKI, D. (2004): Basic Well Log Analysis (second edition); AAPG Methods in Exploration Series; No. 16; Oklahoma; 37-44
- EBNER, F. (1997): Die geologischen Einheiten Österreichs und ihre Rohstoffe; In: Archiv für Lagerstätten Forschung, Wien, Geologische Bundesanstalt, 49-229
- FRICKE, S. & SCHÖN, J. (1999): Praktische Bohrlochgeophysik, 254; Enke; Stuttgart
- LUCIA, F.J. (1999): Carbonate Reservoir Characterization, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg
- SCHÖN, J. (1983): Petrophysik, 405; Akademie-Verlag; Berlin
- WESSELY, G. (1983): Zur Geologie und Hydrodynamik im südlichen Wiener Becken und seiner Randzone; Mitteilung Österreichisch geologischer Gesellschaft; Band 76; Wien; 27- 68
- WESSELY, G. (2006): Niederösterreich, 416, Wien, Geologische Bundesanstalt
- WESSELY, G., CORIĆ, S., RÖGL, F., DRAXLER, I., ZORN, J. (2007): Geologie und Paläontologie von Bad Vöslau (Niederösterreich); In: Jahrbuch der geologischen Bundesanstalt; Band 147; Wien; 419-448
- ZÖTL, J. & GOLDBRUNNER, J.E. (1993): Die Mineral- und Heilwässer Österreichs, 324; Springer Verlag; Wien

Unveröffentlichte Literatur

WESSELY, G. (1994): Geologie und Hydrogeologie im Raum Vöslau auf Grund von Kartierungs- und Bohrergebnissen insbesondere der Bohrung Völsau 6 (alt); Wien; Dezember 1994

SCHMID, CH.; SCHÖN, J., KÖPPL, H. (2001): Bohrlochgeophysikalische Untersuchungen Bad Vöslau; Leoben; Juli 2001

WESSELY, G. (1994): Geologisch-hydrologisches Ergebnis der Vertiefung der Bohrung Josefsplatz 1 (230m-450m); Wien; September 1994

PRÖGLHOF, CH.; SCHMID, CH.; WESSELY, G.; WOLF, W. (1998): Ersatzbohrung für Brunnen 6; Leoben; April 1998

7.2 **Abbildungsverzeichnis**

ABBILDUNG 1: ÜBERBLICK DER LAGE VON BADEN UND BAD VÖSLAU (ÖK 1:200 000)	6
ABBILDUNG 2: LAGE DER BOHRUNG JOSEFSPLATZ 1 IN BADEN (ÖK 1:50 000).....	7
ABBILDUNG 3: LAGE DER BOHRUNGEN 6 UND 7 IN BAD VÖSLAU (ÖK 1: 50 000).....	7
ABBILDUNG 4: OSTABSCHNITT DER KALKALPEN (WESSELY, 2006, SEITE 108)	9
ABBILDUNG 5: GEOLOGISCHER ÜBERBLICK (WESSELY, 2006; SEITE: 190).....	10
ABBILDUNG 6: ENTSTEHUNG DES WIENER BECKENS (WESSELY, 2006, SEITE: 196)	11
ABBILDUNG 7 (LINKS): PROFIL AM BECKENRAND BEI BADEN (WESSELY, 2006, SEITE 163)	15
ABBILDUNG 8 (RECHTS): PROFIL DURCH BAD VÖSLAU (WESSELY, 2006, SEITE 162).....	15
ABBILDUNG 9: GEOLOGISCHER SCHNITT BEI BADEN (WESSELY, 2006, SEITE 163).....	16
ABBILDUNG 10: PROFIL BEI BAD VÖSLAU (WESSELY ET AL., 2007, SEITE 423).....	17
ABBILDUNG 11: STRATIGRAPHIE VON BAD VÖSLAU (WESSELY ET AL., 2007, SEITE 423).....	18
ABBILDUNG 12: STRATIGRAPHIE DES MIOZÄN IM WIENER BECKEN (WESSLEY ET AL., 2007, SEITE 423).....	18
ABBILDUNG 13: GEOLOGISCHER SCHNITT BEI BAD VÖSLAU MIT DEN BOHRUNGEN VÖSLAU 7, BG 1 UND S3 (WESSELY, 2002 VON JOANNEUM RESEARCH).....	19
ABBILDUNG 14: HYDROGEOLOGISCHES SYSTEM IM WIENER BECKEN (WESSELY, 2006, SEITE 306)	22
ABBILDUNG 15: DARSTELLUNG DER HAUPTBESTANDTEILE AUS DEN ANALYSEN VON BADEN	29
ABBILDUNG 16: DARSTELLUNG DER HAUPTBESTANDTEILE AUS DEN ANALYSEN VON BAD VÖSLAU	29
ABBILDUNG 17: ÜBERSICHTSKARTE ZUM GEOLEHRPFAD VON BAD VÖSLAU (WESSELY).....	30
ABBILDUNG 18: WETTERSTEINKALK	31
ABBILDUNG 19: WETTERSTEINDOLOMIT	31
ABBILDUNG 20: DOLOMITKLUFT (LÄNGE DER PROBE CA. 2,2 CM).....	32
ABBILDUNG 21: VÖSLAUER KONGLOMERAT	32
ABBILDUNG 22: GAINFARNER BREKZIE.....	33
ABBILDUNG 23: HERAUSBOHREN DER KERNE	34
ABBILDUNG 24: SÄGE MIT DIAMANTSÄGEBLATT	34
ABBILDUNG 25: PROBE ZWISCHEN DEN PRÜFKÖPFEN BEI DER ULTRASCHALLMESSUNG	36
ABBILDUNG 26: GRUNDLAGEN DER WYLLIE-GLEICHUNG (FRICKE & SCHÖN, 1999, SEITE: 90)	37
ABBILDUNG 27: AUFBAU DER MESSGERÄTE DER ELEKTRISCHEN MESSUNG	38
ABBILDUNG 28: POROSITÄT (MASSE) [%] – DT (GESÄTTIGT).....	42
ABBILDUNG 29: POROSITÄT (MASSE) [%] – DT (GESÄTTIGT) [KALKSTEIN UND DOLOMIT].....	42
ABBILDUNG 30: POROSITÄT (MASSE) [%] – POROSITÄT (AKUST.).....	43
ABBILDUNG 31: POROSITÄT (MASSE)[%] – POROSITÄT (AKUST.).....	43
ABBILDUNG 32: POROSITÄT (MASSE) [%] - FORMATIONSFAKTOR	46
ABBILDUNG 33: ABSCHÄTZUNG VON A UND M AUS POROSITÄT (MASSE) [%] - FORMATIONSFAKTOR	46
ABBILDUNG 34: POROSITÄT (MASSE) [%] – POROSITÄT (ELEKTRISCH) [%]	47
ABBILDUNG 35: POROSITÄT (AKUSTISCH) [%] – POROSITÄT (ELEKTRISCH) [%]	48
ABBILDUNG 36: POROSITÄT (AKUSTISCH) [%] – POROSITÄT (ELEKTRISCH) [%]	48
ABBILDUNG 37: GAMMALOGS SÄMTLICHER BOHRUNGEN IN API-EINHEITEN.....	53

ABBILDUNG 38: NW-NE PROFIL BEI BAD VÖSLAU KORRELIERT MIT GAMMALOGS VON 6 (NEU) UND 7.....	55
ABBILDUNG 39: TEMPERATURLOGS SÄMTLICHER BOHRUNGEN [C°].....	57
ABBILDUNG 40: LOGS DER BOHRUNG BAD VÖSLAU 7 (GAMMARAY, SONIC , WIDERSTAND, POROSITÄT AUS SONIC BZW. WIDERSTAND) (04/05.2001).....	59
ABBILDUNG 41: LOGS DER BOHRUNG BAD VÖSLAU 6 (NEU) (GAMMARAY, SONIC, WIDERSTAND, POROSITÄT AUS SONIC BZW. WIDERSTAND) (10/11.1997).....	61
ABBILDUNG 42: LOGS DER BOHRUNG BADEN (GAMMARAY, WIDERSTAND, DICHTER, POROSITÄT) (05.1994)	63
ABBILDUNG 43: LOGS DER BOHRUNG BAD VÖSLAU 6 (ALT) (GAMMARAY, WIDERSTAND, DICHTER, POROSITÄT) (08.1994/01.1997)	65
ABBILDUNG 44: DARSTELLUNG DER RELATIVWERTE DER POROSITÄT	68

7.3 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: LITHOLOGIE DER BOHRUNGEN BAD VÖSLAU 6 (ALT UND NEU).....	24
TABELLE 2: LITHOLOGIE DER BOHRUNG BAD VÖSLAU 7	24
TABELLE 3: LITHOLOGIE DER BOHRUNG BADEN	25
TABELLE 4: HYDROCHEMISCHE ANALYSEN IM RAUM BADEN (ZÖTL & GOLDBRUNNER, 1993).....	26
TABELLE 5: HYDROCHEMISCHE ANALYSE IM RAUM BAD VÖSLAU (ZÖTL & GOLDBRUNNER, 1993 UND VAG)...	27
TABELLE 6: VERGLEICH DER ANALYSEN VON BADEN UND BAD VÖSLAU	28
TABELLE 7: MITTLERE WERTE FÜR Δt_{MATRIX}	37
TABELLE 8: GEMESSENE MASSES UND DARAUS BERECHNETE DICHTEN UND POROSITÄTEN DER MASSE	40
TABELLE 9: BERECHNUNG DER POROSITÄT AUS DER ULTRASCHALLMESSUNG	41
TABELLE 10: VERGLEICH DER POROSITÄTEN AUS DER MASSE UND DER AKUSTISCHEN MESSUNG [%]	41
TABELLE 11: BERECHNUNG DER POROSITÄT AUS DER ELEKTRISCHEN MESSUNG.....	45
TABELLE 12: VERGLEICH DER POROSITÄTEN [%].....	45

Anhang

Anhang 1: Tabellarische Auswertung der petrophysikalischen Messungen

Anhang 2: Vorhandene Bohrgutlogs

Anhang 3: Ausgewählte Dünnschlifffotos

Anhang 4: Übersicht über die vorhandenen Logs

Anhang 5: Ausgewählte Logs der einzelnen Bohrungen

Anhang 1

Dichtemessung und akustische Messungen

	m_d	$m_{s,a}$	$m_{s,w}$	Länge	Volumen
	g	g	g	cm	cm ³
VK 2	25,26	27,27	15,77	2,4	11,781
GF 1	26,22	27,93	16,87	2,3	11,290
GF 2	27,26	29,05	17,55	2,4	11,781
GF 3	28,77	30,8	18,48	2,7	13,254
GF 4	26,37	28,06	16,95	2,37	11,634
K 2	30,39	30,48	19,21	2,33	11,437
K 3	24,44	24,55	15,44	1,9	9,327
K 4	31,26	31,31	19,73	2,4	11,781
K 5	29,35	29,51	18,52	2,2	10,799
Dol 3 (1)	29,78	29,94	19,25	2,2	10,799
Dol 4 (1)	26,34	26,54	17,03	1,94	9,523

Ø = 2,5

Porosität	Δ t (gesät.)	vp (trock.)	vp (gesät.)	vges/vtr	Δ t (trocken)
%	µs	µs	cm/µs	cm/µs	m/µs
17,478	6,40	0,34	0,41	1,21	291,67
15,461	6,80	0,27	0,37	1,35	365,22
15,565	8,00	0,24	0,32	1,32	408,33
16,477	8,00	0,29	0,36	1,27	348,15
15,212	6,80	0,23	0,38	1,65	430,38
0,799	4,60	0,53	0,58	1,10	188,84
1,207	3,60	0,45	0,63	1,40	221,05
0,432	4,40	0,60	0,63	1,05	166,67
1,456	4,20	0,55	0,61	1,11	181,82
1,497	4,60	0,48	0,55	1,15	209,09
2,103	4,20	0,44	0,54	1,22	226,80

Elektrische Messungen

	Ø	Länge	itfähigkeit ce	itfähigkeit ce	U1
	cm	cm	µs/cm	µs/cm	mV
VK 2	2,5	2,4	1864	1863	49,69
GF 1	2,5	2,3	1877	1875	37,47
GF 2	2,5	2,4	1877	1876	36,44
GF 3	2,5	2,7	1883	1885	39,47
GF 4	2,5	2,37	1889	1888	40,08
K 2	2,5	2,33	1852	1847	49,25
K 3	2,5	1,9	1871	1870	46,33
K 4	2,5	2,4	1872	1872	13,63
K 5	2,5	2,2	1885	1885	14,46
Dol 3 (1)	2,5	2,2	1883	1883	59,03
Dol 4 (1)	2,5	1,94	1877	1876	48,08

VK... Völsauer Konglomerat; GF... Gainfarner Brekzie; K... Kalkstein; Dol... Dolomit

R_w	F	a	m	Porosität
-------	---	---	---	-----------

Ωm				%
5,37	18,9866432	1	1,3	10,39
5,33	15,08	1,00	1,30	12,40
5,33	14,09	1,00	1,30	13,07
5,31	13,65	1,00	1,30	13,39
5,30	15,73	1,00	1,30	12,00
5,41	201,62	1,00	1,50	2,91
5,35	220,44	1,00	1,50	2,74
5,34	509,81	1,00	1,50	1,57
5,31	599,13	1,00	1,50	1,41
5,31	244,33	1,00	1,50	2,56
5,33	223,52	1,00	1,50	2,72

Sättigungsdichte	Trockendichte	Korndichte	Porosität
g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	
2,369	2,194	2,659	0,175
2,523	2,368	2,801	0,155
2,524	2,368	2,805	0,156
2,498	2,333	2,793	0,165
2,523	2,371	2,797	0,152
2,702	2,694	2,716	0,008
2,692	2,680	2,713	0,012
2,701	2,697	2,708	0,004
2,682	2,668	2,707	0,015
2,798	2,783	2,825	0,015
2,788	2,767	2,826	0,021

$\rho_{pw} = 0,999$

Δt (gesät.)	Δt (matrix)	Porosität (vp,t)	Porosität (vp,ges.)
m/ μ s	m/ μ s	%	%
241,67			
269,57			
308,33			
274,07			
261,60			
171,67	156,00	7,08	3,38
157,89	156,00	14,02	0,41
158,33	156,00	2,30	0,50
163,64	156,00	5,56	1,65
181,82	172,00	8,28	2,19
185,57	172,00	12,23	3,03

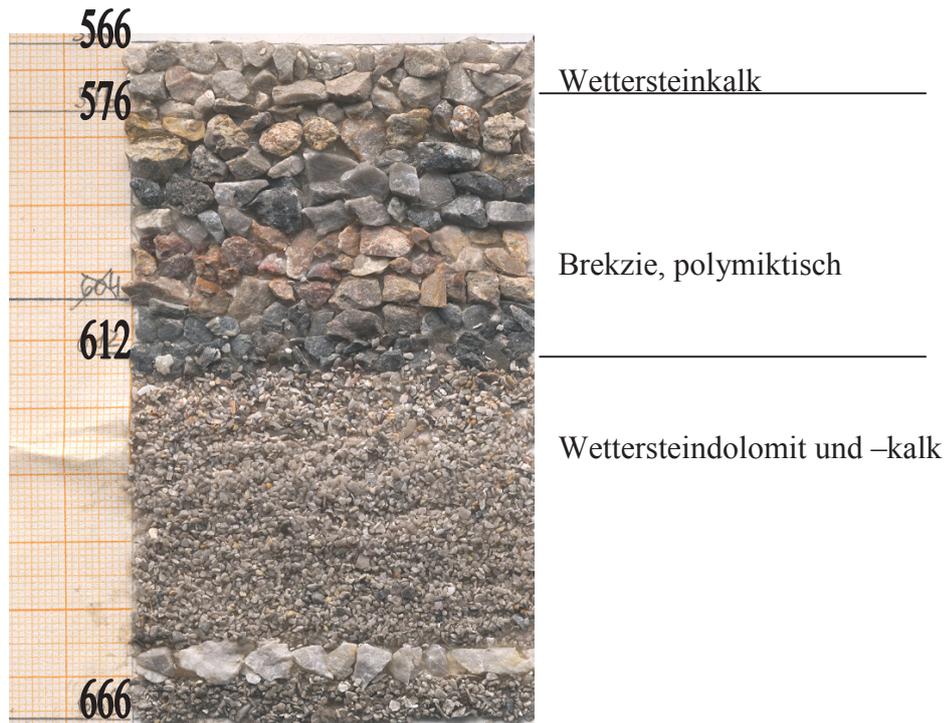
U2	U	Current I	k	R	R ₀
mV	mV	nA	m	Ω	Ω m
49,94	49,815	4	0,020	4981,50	101,89
37,86	37,665	4	0,021	3766,50	80,39
36,97	36,705	4	0,020	3670,50	75,07
40,26	39,865	4	0,018	3986,50	72,48
40,37	40,225	4	0,021	4022,50	83,31
54,24	51,745	3	0,021	51745,00	1090,14
44,9	45,615	3	0,026	45615,00	1178,48
13	13,315	2	0,020	133150,00	2723,33
14,03	14,245	2	0,022	142450,00	3178,41
57,28	58,155	3	0,022	58155,00	1297,58
46,07	47,075	3	0,025	47075,00	1191,13

t

Anhang 2

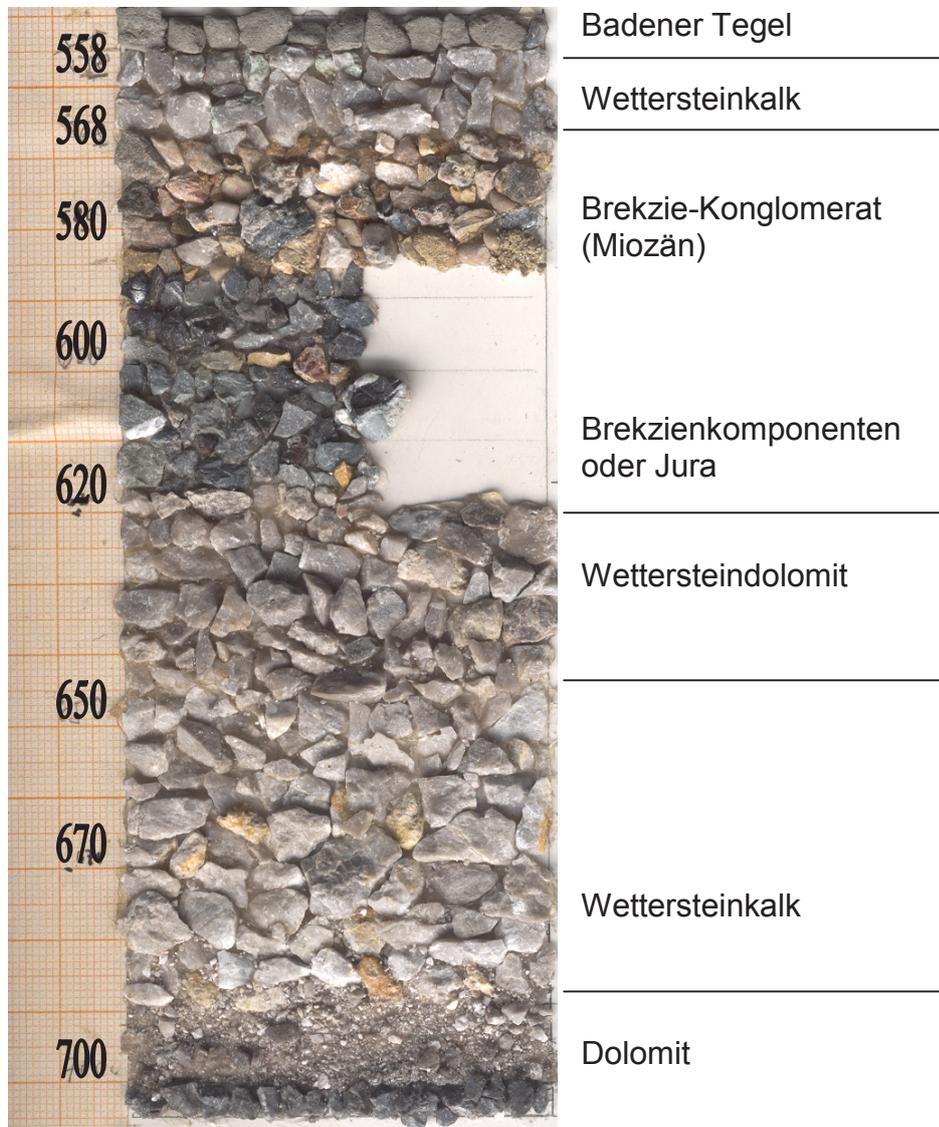
Bad Vöslau 6 (alt)

1: 1000



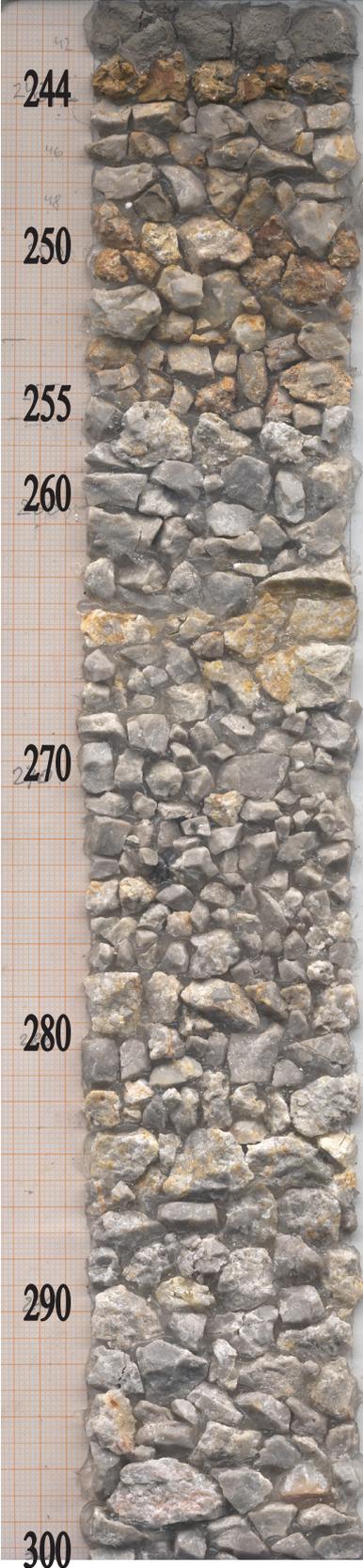
Bad Vöslau 6 (neu)

1: 1000



Bad Vöslau 7

1:200



Mergel

Gainfarner Brekzie

Dolomit



Wettersteinkalk

310

320

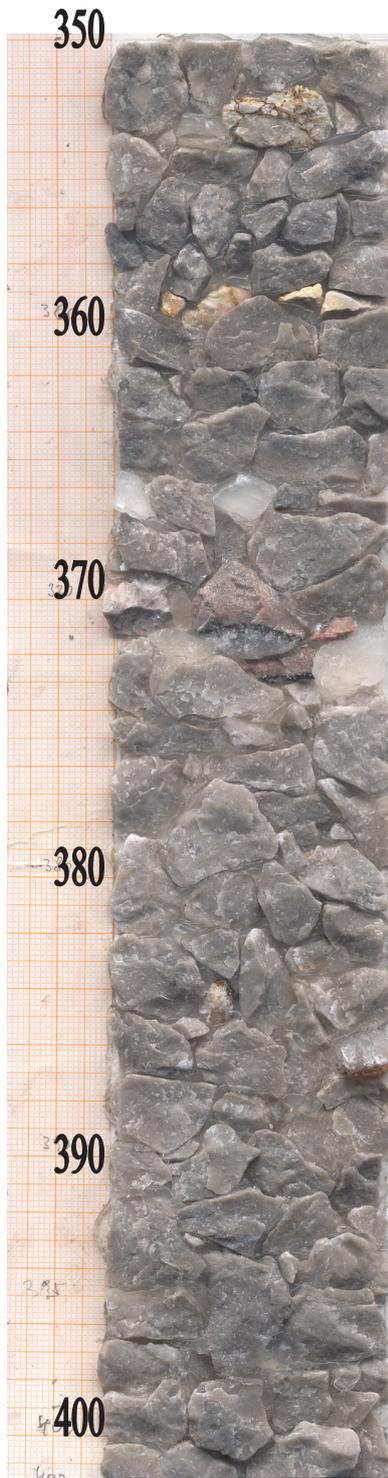
Wettersteindolomit

330

Wettersteinkalk

340

350



Wettersteindolomit

Wettersteinkalk



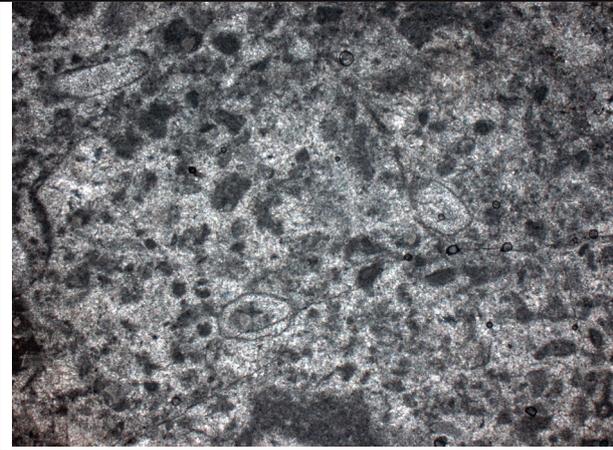
Wettersteinkalk

Dolomitlagen

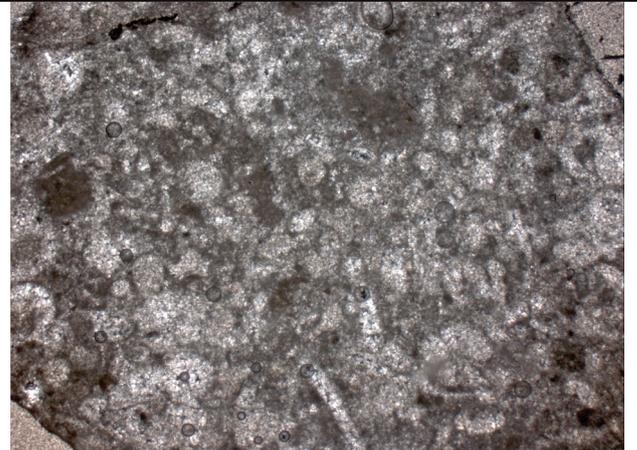


Anhang 3

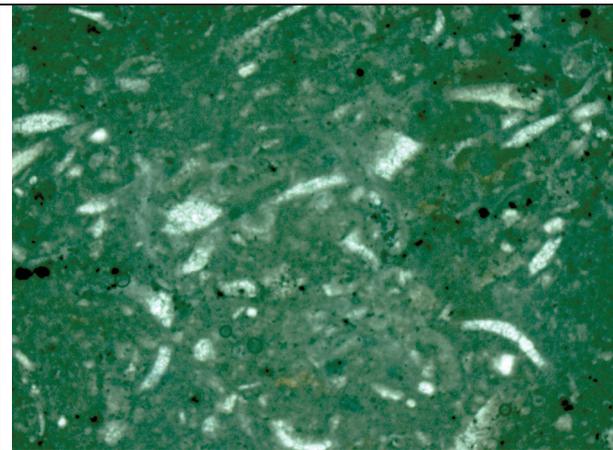
Dünnschliffe aus der Bohrung 6 alt



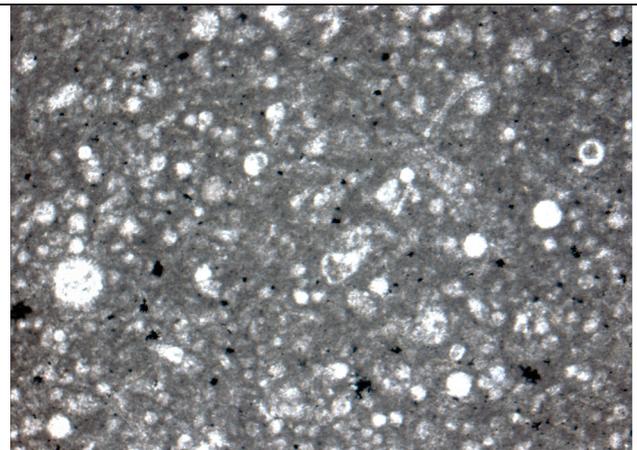
570 m: Kalk



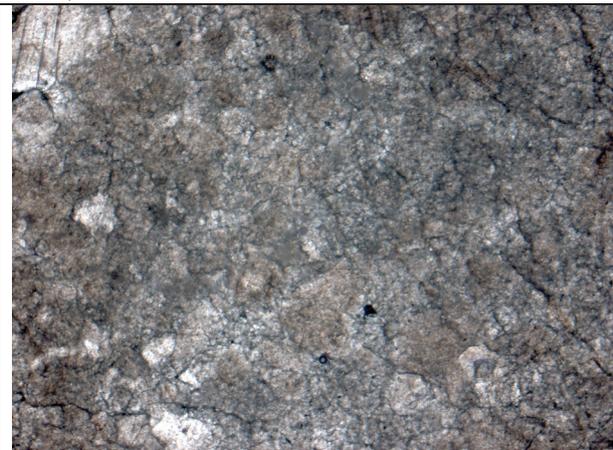
580 m: Brekzie



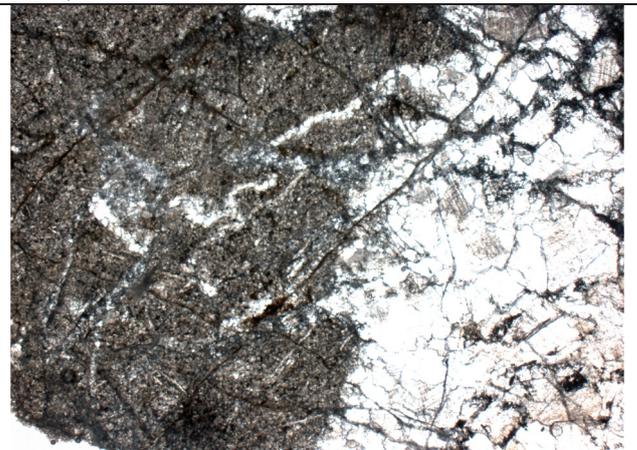
612,5 m: Brekzie



612,5 m: Brekzie

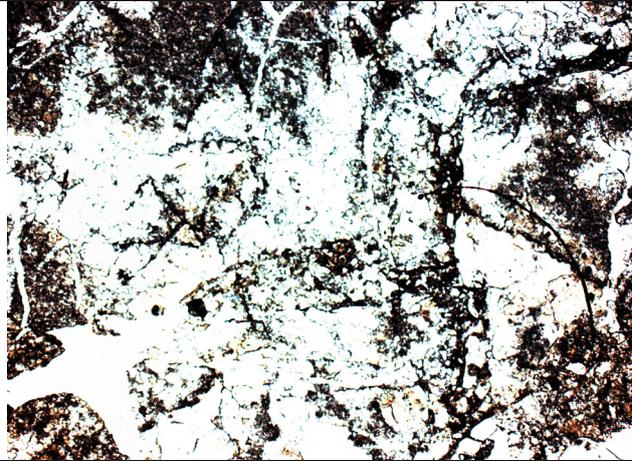


630 m: Dolomit

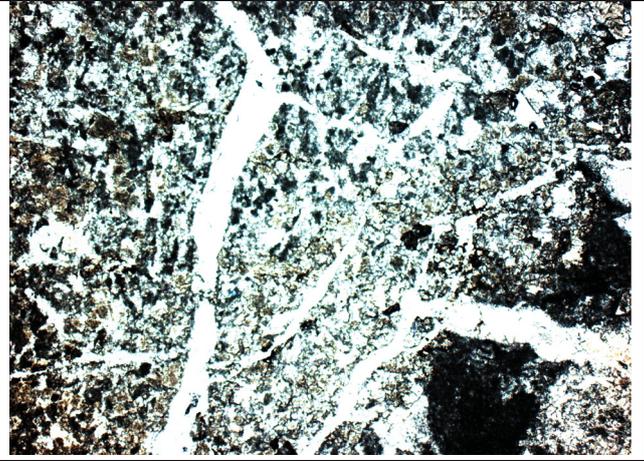


705 m: Dolomit

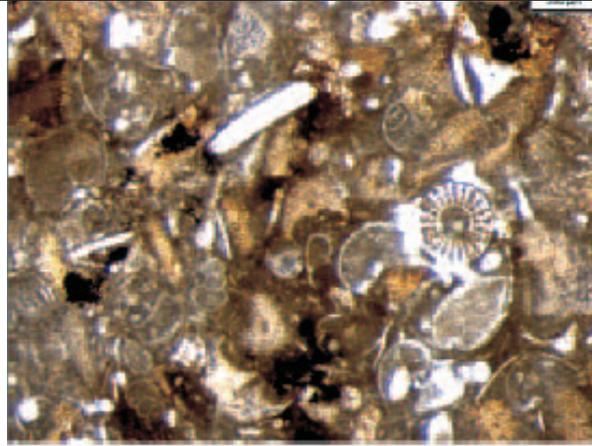
Dünnschliffe aus der Bohrung 7



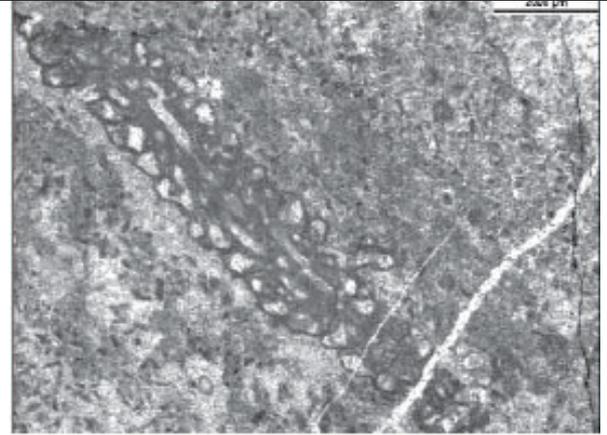
285 m: Gainfarn Breccie



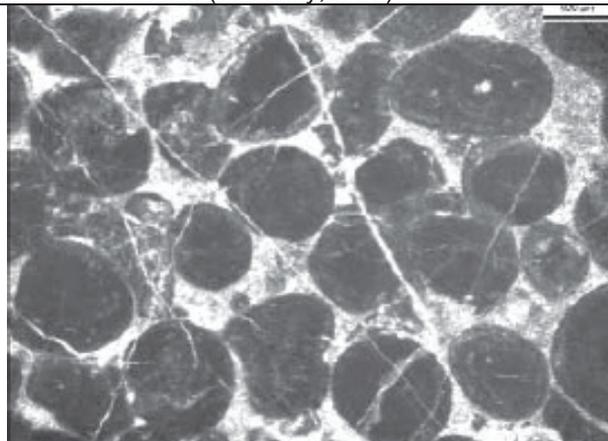
315 m: Wettersteinkalk



Kalk mit Protoglobigerinen und u.a. mit Echinodermenresten aus dem Klauskalk N der Kirche Gainfarn. (Wessely, 2007)

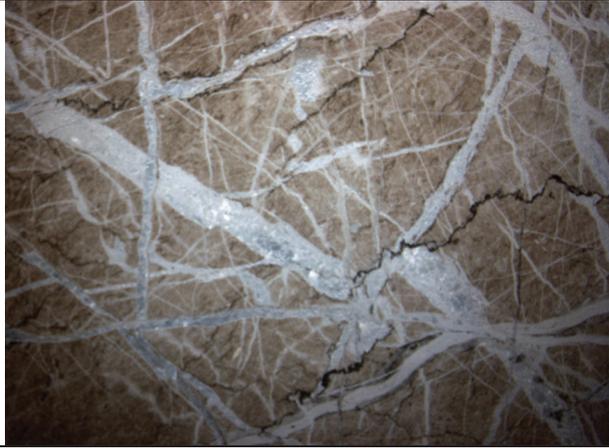
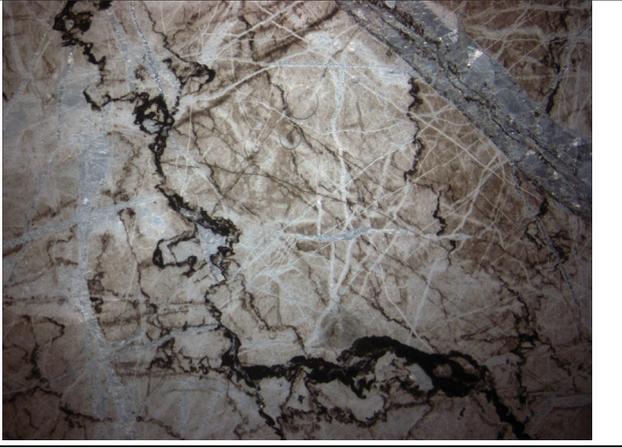


Schwammquerschnitt durch den Wettersteinkalk des Harzberges (Wessely, 2007)



Oolith aus dem Rhät des Gölle-Decke-Hauptkörpers. (Wessely, 2007)

Dünnschliffe der Bohrung Baden

	
13,2 m: Wettersteinkalk	252 m: Raminger-Kalk; packstone bis mudstone
	
333,5 m: Steinalmkalk; packstone	339 m: Steinalmkalk; packstone
	
412,5 m: Steinalmkalk; mudstone	436 m: Reiflinger Kalk; mudstone

Anhang 4

Bohrungen	Messung	Datum	Tiefe	Wer hat gemessen	Wo liegen sie auf	
Bad Vöslau 6(alt)	Gammaray	01.08.1994	590	OMV	Joanneum Research	
	Kaliber	01.08.1994	590	OMV	Joanneum Research	
	R-16	01.08.1994	595	OMV	Joanneum Research	
	ML-1	01.08.1994	590	OMV	Joanneum Research	
	ML-2	01.08.1994	585	OMV	Joanneum Research	
	Temperatur	01.08.1994	600	OMV		
	Gammaray	23.01.1997	650	Joanneum Research	Joanneum Research	
	Kaliber	23.01.1997	650	Joanneum Research	Joanneum Research	
	Dichte	23.01.1997	650	Joanneum Research	Joanneum Research	
	Temperatur	23.01.1997	650	Joanneum Research	Joanneum Research	
	Flowmeter	23.01.1997	650	Joanneum Research	Joanneum Research	
Bad Vöslau 6(neu)	Gammaray	21.10.1997	225	Joanneum Research	Joanneum Research	
	Temperatur	21.10.1997		Joanneum Research	Joanneum Research	
	R-16	21.10.1997	225	Joanneum Research	Joanneum Research	
	R-64	21.10.1997	225	Joanneum Research	Joanneum Research	
	SP	21.10.1997	225	Joanneum Research	Joanneum Research	
	Sel	21.10.1997	225	Joanneum Research	Joanneum Research	
	Sonic	21.10.1997	705	Joanneum Research	Joanneum Research	
	Kaliber	25.10.1997		Joanneum Research	Joanneum Research	
	Gammaray	09.11.1997	220-705			
	Kaliber	09.11.1997	220-705			
	R-16	09.11.1997	220-705			
	R-64	09.11.1997	220-705			
	SP	09.11.1997				
	Fel	09.11.1997	220-705			
	FWSon	09.11.1997				
	CBL	09.11.1997				
	Temperatur	09.11.1997				
	RM	09.11.1997				
	Akust.	09.11.1997				
	BL-Fernseher	09.11.1997				
	Dipmeter	09.11.1997				
	USIT-GR	25.11.1997			OMV	Prof. Dr. G. Wessely
	HFSM-GR	25.11.1997			OMV	Prof. Dr. G. Wessely
	Kali-3arm	25.11.1997			Joanneum Research	Joanneum Research
	Temperatur	25.11.1997	705		Joanneum Research	Joanneum Research
	Flow	25.11.1997			Joanneum Research	Joanneum Research
	BL-Fernseher Flow	28.11.1997				
	Kaliber	16.12.1997			Joanneum Research	Joanneum Research
	Temperatur	16.12.1997			Joanneum Research	Joanneum Research
	RM	16.12.1997			Joanneum Research	Joanneum Research
	Flow	16.12.1997			Joanneum Research	Joanneum Research
	Flow	08.01.1998			Joanneum Research	Joanneum Research

Bad Vöslau 7	KaX, KaY	01.04.2001	270	Joanneum Research	Joanneum Research
---------------------	----------	------------	-----	-------------------	-------------------

	Gammaray	01.04.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
	R-16	01.04.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
	R-64	01.04.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
	SP	01.04.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
	Sonic	01.04.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
	Temperatur	01.04.2001	270	Joanneum Research	Joanneum Research
	Kaliber	27.04.2001	460	Joanneum Research	Joanneum Research
	Temperatur	27.04.2001	465	Joanneum Research	Joanneum Research
	Sonic	27.04.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
	Gammaray	08.05.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
	KaX, KaY	08.05.2001	460	Joanneum Research	Joanneum Research
	R-16	08.05.2001	460	Joanneum Research	Joanneum Research
	R-64	08.05.2001	460	Joanneum Research	Joanneum Research
	LL3	08.05.2001	460	Joanneum Research	Joanneum Research
	ML-1	08.05.2001	460	Joanneum Research	Joanneum Research
	ML-2	08.05.2001	460	Joanneum Research	Joanneum Research
	SP	08.05.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
	Sonic	08.05.2001	460	Joanneum Research	Joanneum Research
	CBL	08.05.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
	Temperatur	08.05.2001	465	Joanneum Research	Joanneum Research
	RM	08.05.2001	460	Joanneum Research	Joanneum Research
	Flow	08.05.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
	Flow	23.07.2001		Joanneum Research	Joanneum Research
Baden	Gammaray	24.05.1994	445	Joanneum Research	Joanneum Research
	ML-1	24.05.1994	420	Joanneum Research	Joanneum Research
	ML-2	24.05.1994	445	Joanneum Research	Joanneum Research
	Dichte	24.05.1994	445	Joanneum Research	Joanneum Research
	Temperatur	24.05.1994	445	Joanneum Research	Joanneum Research
	Flow	24.05.1994	445	Joanneum Research	Joanneum Research
	Temperatur	16.06.1994	430	Joanneum Research	Joanneum Research