

AUFBAU UND GEOLOGIE DES WESTSTEIRISCHEN BECKENS

REFLEXIONSSEISMISCHE UNTERSUCHUNGEN IM KÖFLACHER
TEILBECKEN UNTER EINBEZUG BESTEHENDER SEISMIK PROFILE

PROJ. NR.: IG21-P010

Verfasser:

Geo5 GmbH

DI Florian Dax

Alexander Hainisch

DI Markus Jud

Dr.mont. DI Marcellus G. Schreilechner

Universität Graz, Institut für Erdwissenschaften

Dr.rer.nat. DI Thomas Wagner

Assoz. Prof. Priv.-Doz. Mag. Dr.rer.nat. Gerfried Winkler

Ausfertigung: Oktober 2022



Auftraggeber:

Referat Wasserwirtschaftliche Planung
Wartingergasse 43, 8010 Graz



Wissen das in die Tiefe geht

Angebot Geo5-21001

Datum 16.03.2021

Bestellung Auftraggeber

ABT14_94803/2020-15

Datum 15.04.2021

Geo5 Projektnummer: IG21-P010

Inhalt

1	Zusammenfassung.....	1
2	Einleitung.....	2
3	Untersuchungsgebiet.....	4
4	Daten.....	6
4.1	Bohrungsinformation.....	6
4.2	Aufschlussinformation.....	9
4.3	Karten des Präneogen.....	9
4.4	Seismik Daten.....	9
4.4.1	Reflexionsseismik.....	9
4.4.2	Refraktionsseismik.....	10
4.4.3	Geschwindigkeitsmodell allgemein.....	10
4.4.4	Geschwindigkeitsmodell des Weststeirischen Beckens.....	10
5	Datenakquisition und Bearbeitung.....	13
5.1	Akquisition der reflexionsseismischen Profile S02103 und S02201.....	13
5.2	Bearbeitung (Processing) der reflexionsseismischen Daten.....	18
6	Geologischer Aufbau.....	25
6.1	Neu-Modellierung des präneogenen Beckenuntergrundes.....	25
6.1.1	Ausgangssituation.....	25
6.1.2	Überarbeitung / Modifikation der Höhenschichtlinien.....	27
6.1.3	Interpolation des präneogenen Beckenuntergrundes.....	27
6.1.4	Änderungen in der Geometrie des präneogenen Beckenuntergrundes.....	29
6.2	Interner Beckenaufbau.....	31
6.2.1	Lithostratigraphie der Bohrungen.....	31
6.2.2	Interpretation der Seismikprofile.....	44
7	Hydrogeologie und wasserwirtschaftliche Aspekte.....	54
8	Empfehlungen für neue Bohrstandorte.....	58

8.1	Bohrvorschlag 1 („Attendorf 1“) – Liebocher Becken.....	58
8.2	Bohrvorschlag 2 („St. Florian 1“) – Florianer Becken.....	60
8.3	Bohrvorschlag 3 („Oberhaag 1“) – Eibiswalder Becken	61
9	Literaturverzeichnis	63

Ein Abbildungsverzeichnis und ein Tabellenverzeichnis sind am Ende des Berichts dargestellt.

Anlagenverzeichnis

Anlage 1.1 Karte des Untersuchungsgebietes 1:50.000

Anlage 2.1 SO2103 Final Stack

Anlage 2.2 SO2103 Migrated Stack

Anlage 2.3 SO2201 Final Stack

Anlage 2.4 SO2201 Migrated Stack

Anlage 3.1 Kombi-Linie SO2102 – SO2101 – HI8901

Anlage 3.2 Kombi-Linie SO2201 – SO2103

Anlage 3.3 Kombi-Linie RO9801-HI8701-HI8902

Anlage 3.4 WS1901

Anlage 3.5 EB0801/EB0802

Anlage 4.1 Untersuchungsgebiet inkl. Seismik-Linien und Bohrungen

Anlage 4.2 Neumodellierung des Präneogens inkl. Bohrungsempfehlungen

Anlage 5.1 Bohrungen im Weststeirischen Becken (nur digital)

Anlage 5.2 Bohrprofile (nur digital)

Anlage 6.1 Digitale GIS-Daten (nur digital)

1 Zusammenfassung

Im vorliegenden Endbericht zum Aufbau des Weststeirischen Beckens werden einerseits die zwei neu aufgenommenen Seismikprofile SO2103 und SO2201 aus dem Köflacher Teilbecken beschrieben und deren Interpretationen dargestellt. Andererseits werden neun Seismikprofile aus der gesamten Weststeiermark neu interpretiert und damit die Beckengeometrien der einzelnen Teilbecken (Köflacher-, Florianer- und Eibiswalder Teilbecken) sowie die sedimentären Beckenfüllungen und der präneogene Beckenuntergrund neu interpretiert. Der strukturelle Zusammenhang der drei Teilbecken kann aufgrund von fehlenden beckenübergreifenden Seismikprofilen nicht bearbeitet werden. Es werden 16 Bohrungen auf Basis von Bohrprofilen und teilweiser Begutachtung im Bohrkernlager des Universalmuseums beschrieben und miteinander korreliert. Aufgrund dieser gemeinsamen Neuinterpretation aller vorhandener Daten (Seismik und Bohrungen) können erste hydrogeologische Überlegungen für die Weststeiermark angestellt werden.

Als Ergebnisse der vorliegenden Studie liegen eine überarbeitete Strukturkarte der Weststeiermark und drei Bohrpunktempfehlungen vor. Diese Bohrpunktempfehlungen sind in den drei Teilbecken verteilt und sollen den (hydro-)geologischen Aufbau der neogenen Beckenfüllung sowie den präneogenen Beckenuntergrund geologisch beschreiben. Mit Hilfe neuer Bohrungen können in Zukunft einerseits die Seismikprofile geologisch genauer und detailschärfer beschrieben werden und andererseits die hydrogeologischen Verhältnisse für eine Tiefengrundwassererschließung abgeschätzt werden.

2 Einleitung

In den letzten zwei Jahrzehnten traten in den Gemeinden am östlichen Rand der Koralpe bzw. im Bezirk Deutschlandsberg vermehrt Engpässe für die Trinkwasserversorgung auf. Die Wasserversorgung dieser Region wird künftig jedoch noch zusätzlich durch klimatische Änderungen und den vermehrten Wasserbedarf aufgrund des Ausbaus der Koralmbahn und dem damit verbundenen Zuwachs an Bevölkerung und auch an Gewerbebetrieben gefordert. Eine (Not-)Wasserversorgung über Tiefengrundwässer ergänzend zu den bestehenden Quellen und seichtliegenden Brunnen wie bspw. im Oststeirischen Becken ist derzeit nicht umsetzbar, da die Geometrie des Weststeirischen Beckens und dessen interner geologischer Aufbau nur unzureichend erforscht ist. Es liegen somit kaum Kenntnisse über die Tiefengrundwässer und deren Aquifere vor. Daten zur quantitativen und qualitativen Erfassung dieser Ressourcen fehlen für eine nachhaltige Nutzung von Tiefenwässern im Weststeirischen Becken gänzlich. Aus wasserwirtschaftlicher Sicht ist daher eine Erkundung der potentiellen Ressourcen in dieser Region von großer Relevanz.

Ein erster Überblick bezüglich der Ausformung und Tiefe des gesamten Steirischen Beckens (West- und Oststeirisches Becken) sowie dessen präneogenen Untergrundes wurde von Kröll in entsprechenden Themenkarten 1988 dargestellt und ergänzend in den Kartenerläuterungen über den prätertiären (nun präneogenen) Untergrund des Steirischen Beckens und der Südburgenländischen Schwelle beschrieben (Kröll et al., 1988). Die Bearbeitung beruhte auf Analysen einer Aeromagnetik und Gravimetrie und umfasste das gesamte Steirische Becken; also den Bereich zwischen steirischem Randgebirge (vom Poßruck im Südwesten über Koraln, Grazer Bergland, Fischbacher Alpen bis zum Wechsel im Nordosten) und dem Pannonischen Becken im Osten. Über mehrere Jahrzehnte lag der hydrogeologische Erkundungsschwerpunkt jedoch im Oststeirischen Becken, welches deutlich tiefer und größer als das Weststeirische Becken ist, wobei die Kenntnisse zum geologischen Aufbau des Beckenuntergrundes und der Beckenfüllung primär von Kohlenwasserstoffexplorations-Kampagnen stammen.

Von 1988 bis 2008 erfolgten keine weiteren umfassenderen Untersuchungen zum geologischen Aufbau des Weststeirischen Beckens (WSB). Auch in der Großstudie „Transthermal – Geothermie der Ostalpen“ (Götzl et al., 2007) wurde das WSB zwar mitberücksichtigt/mitmodelliert, der Untersuchungsschwerpunkt lag jedoch im

Oststeirischen und Pannonischen Becken und lieferte keine neuen Erkenntnisse für das WSB. Erst ab 2008 wurden mehrere Kleinprojekte und lokale Untersuchungskampagnen für die lokalen Wasserversorgungen und eine mögliche geothermische Nutzung umgesetzt. Auf Basis der damit erfolgten geophysikalischen Untersuchungen (Seismikprofile) und Bohrungen mit Teufen bis zu 150 m unter GOK (z.B. Erdwärmesonden, etc.) wurden weitere, sehr lokale Informationen zur Beckenbasis und dem geologischen Aufbau gewonnen. Im Interreg Projekt SIT375 Ri(ver)-Charge (Ferstl & Winkler, 2021) wurde in jüngster Vergangenheit begonnen, die bestehenden Informationen zusammen zu führen.

Neben den im Zuge dieses Projektes durchgeführten geophysikalischen Untersuchungen (2 Seismikprofile) im Liebocher Teilbecken sollen mit diesem Bericht die bestehenden Informationen aller Untersuchungen zum geologischen Aufbau und der Geometrie des Weststeirischen Beckens zusammengeführt werden. Die hier zusammen getragenen, kombinierten und reinterpretierten Datensätze (Seismikprofile, Bohrungen und Aufschlüsse) stellen somit den aktuellen Wissenstand (einschließlich des neuesten Seismikprofils aus dem Jahr 2022) zum Aufbau des Weststeirischen Beckens dar und sollen aufzeigen, was noch an Unsicherheiten bzw. unbeantworteten Fragen speziell für eine wasserwirtschaftliche Nutzung vorliegen.

Des Weiteren bildet die aktualisierte Kenntnis über den geologischen Aufbau auch die Möglichkeit, konzeptionelle Vorstellungen der Neubildung von Tiefengrundwässern, die im Projekt Ri(ver)-Charge (Ferstl & Winkler, 2022) erstellt wurden, weiter zu entwickeln. Im Speziellen stellt diese Kenntnis eine wichtige Grundlage für eine Erschließung und nachhaltige Nutzung von Tiefengrundwässern dar.

3 Untersuchungsgebiet

Das Weststeirische Becken (WSB, Abbildung 1, Anlage 1.1) ist geographisch gesehen das westlichste Teilbecken des Pannonischen Beckens und wird westlich und nördlich durch das Steirische Randgebirge begrenzt, welches wiederum die östlichsten Ausläufer der Alpen darstellen. Zusammen mit dem Oststeirischen Becken bildet es das Steirische Becken. Eine Trennung dieser zwei Teilbecken erfolgt anhand der Mittelsteirischen Schwelle, welche eine Nord-Süd Verbindung des Plabutschzuges (Fürstenstand 754 m ü.A.) und des Sausals (Demmerkogel 671 m ü.A.) darstellt. Im Westen des WSB befindet sich die Koralpe (Großer Speikkogel 2140 m ü.A.), im Norden grenzt das WSB an das Grazer Bergland an. Im Süden wird das Becken durch den Poßruck (Radlpass 662 m ü.A. bzw. Remschigg 796 m ü.A.) begrenzt, welcher auch die Grenze zu Slowenien bildet. Das WSB selbst liegt in Höhenlagen um 300-400 m ü.A. (Voitsberg 395 m ü.A.; Lannach 349 m ü.A.; Deutschlandsberg 368 m ü.A.; Wies 332 m ü.A.). Von Nord nach Süd wird das Becken von mehr oder weniger West nach Ost verlaufenden Flüssen, der Kainach, der Laßnitz und der Sulm entwässert, die allesamt in die Mur östlich der Mittelsteirischen Schwelle münden.

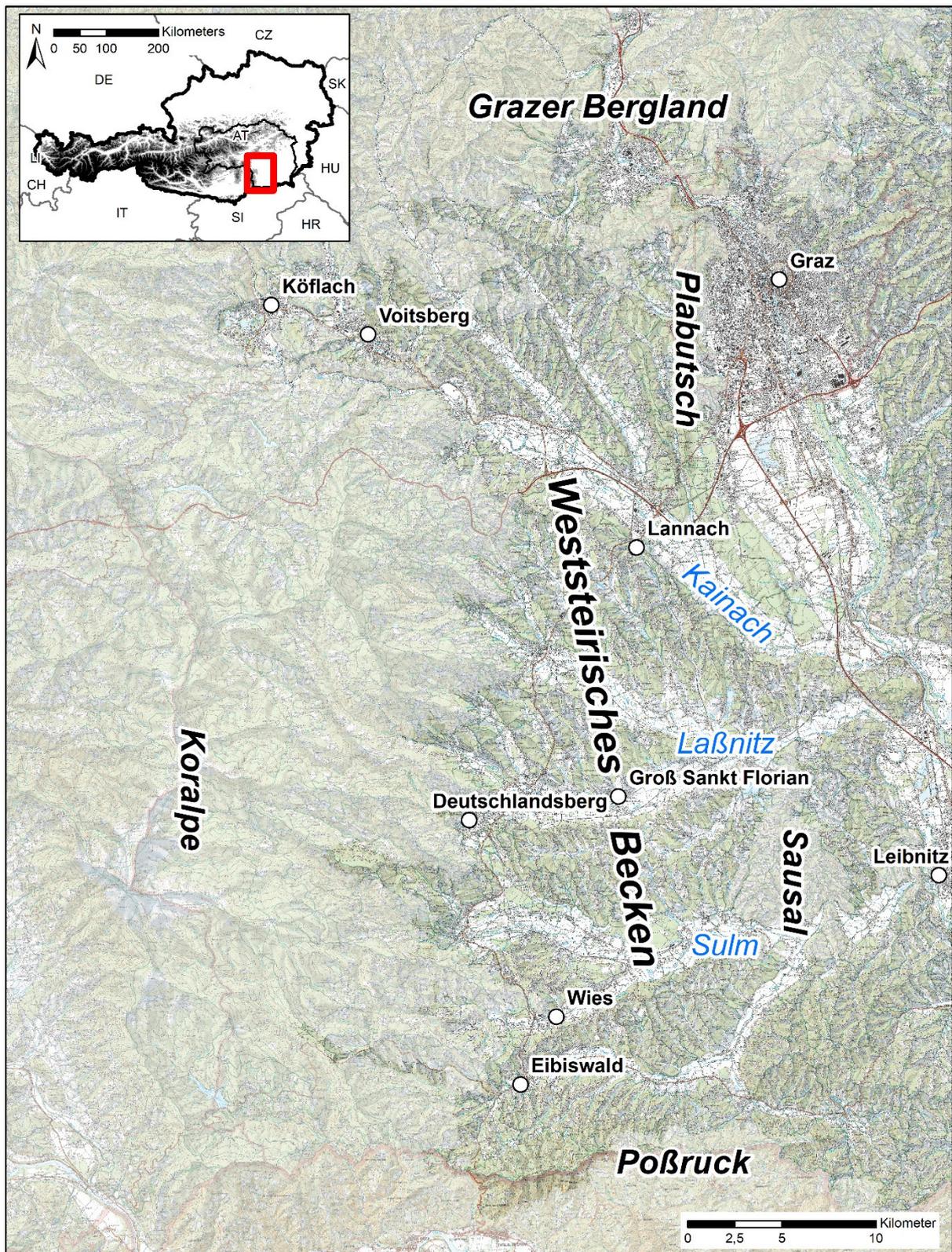


Abbildung 1: Die geographische Lage des Weststeirischen Beckens. Eine Karte im Maßstab 1:50.000 ist in Anlage 1.1 dargestellt.

4 Daten

4.1 Bohrungsinformation

Im Weststeirischen Becken wurde eine Vielzahl an Bohrungen abgeteuft. Es wurden Daten aller relevanten Bohrungen im Zuge einer umfangreichen Recherche in der wissenschaftlichen Literatur und in verschiedenen Datenbanken zusammengetragen. Die Recherche beinhaltete die Koordinaten der Bohrungen, Seehöhe, Endteufe, Oberkante (Top) des präneogenen Beckenuntergrundes (sofern erbohrt) sowie die Verfügbarkeit von Bohrprofilen bzw. generelle Informationen zum lithologischen und stratigraphischen Aufbau. Weiters wurde festgestellt, für welche Bohrungen Kernmaterial vorhanden ist. Vorhandenes Kernmaterial in Form von Bohrkernen oder Bohrklein befindet sich ausnahmslos im Kernlager des Universalmuseums Joanneum in Ebersdorf bei St. Radegund. Die Suche in anderen Datenbanken, wie z.B. der Datenbank zum Bohrkernlager der Geologischen Bundesanstalt, ergab keinen Erfolg. Teil der Recherche war ebenso einer Besichtigung des Kernlagers Ebersdorf am 10.8.2022. Dabei wurde Kernmaterial der Bohrungen untersucht, beprobt und dokumentiert. In erster Linie ging es darum, erbohrte Gesteine mit obertägig aufgeschlossenen Formationen zu verknüpfen und Bohrungen untereinander zu korrelieren. Weiters wurden Literaturangaben überprüft und Widersprüche aus der Literatur aufgelöst.

Die Recherche umfasste alle Bohrungen, die zu einem erhöhten Verständnis der Geologie des Weststeirischen Beckens beitragen. Dies inkludiert insbesondere Bohrungen, welche tiefer als 200 m sind und/oder Bohrungen, die den Beckenuntergrund erreichten. Bohrungsinformationen wurden zur Beschreibung der Beckenfüllung sowie zur Neu-Modellierung der Tiefe des präneogenen Beckenuntergrundes verwendet. Abbildung 2 sowie Anlage 4.1 zeigen die Lage der Bohrungen. Die Nummerierung der Bohrungen verweist auf Tabelle 1 sowie Anlage 5.1, welche auch zeigen, welche Bohrungen für die Neu-Modellierung der Tiefe des Beckenuntergrundes verwendet wurden. Die meisten der gelisteten Bohrungen wurden im Zuge der Kohleexploration abgeteuft (z.B. die GKB-Bohrungen, die Crälius-Bohrungen, Bohrloch 804, 805, 820 usw.). Die Mooskirchen Bohrungen wurden 1926 und 1927 als Erdölexplorationsbohrungen abgeteuft. Bohrprofil Steinberg und Brunnen Steinberg wurden zur Wasserversorgung abgeteuft. EWS-1 ist eine Erdwärmesonde.

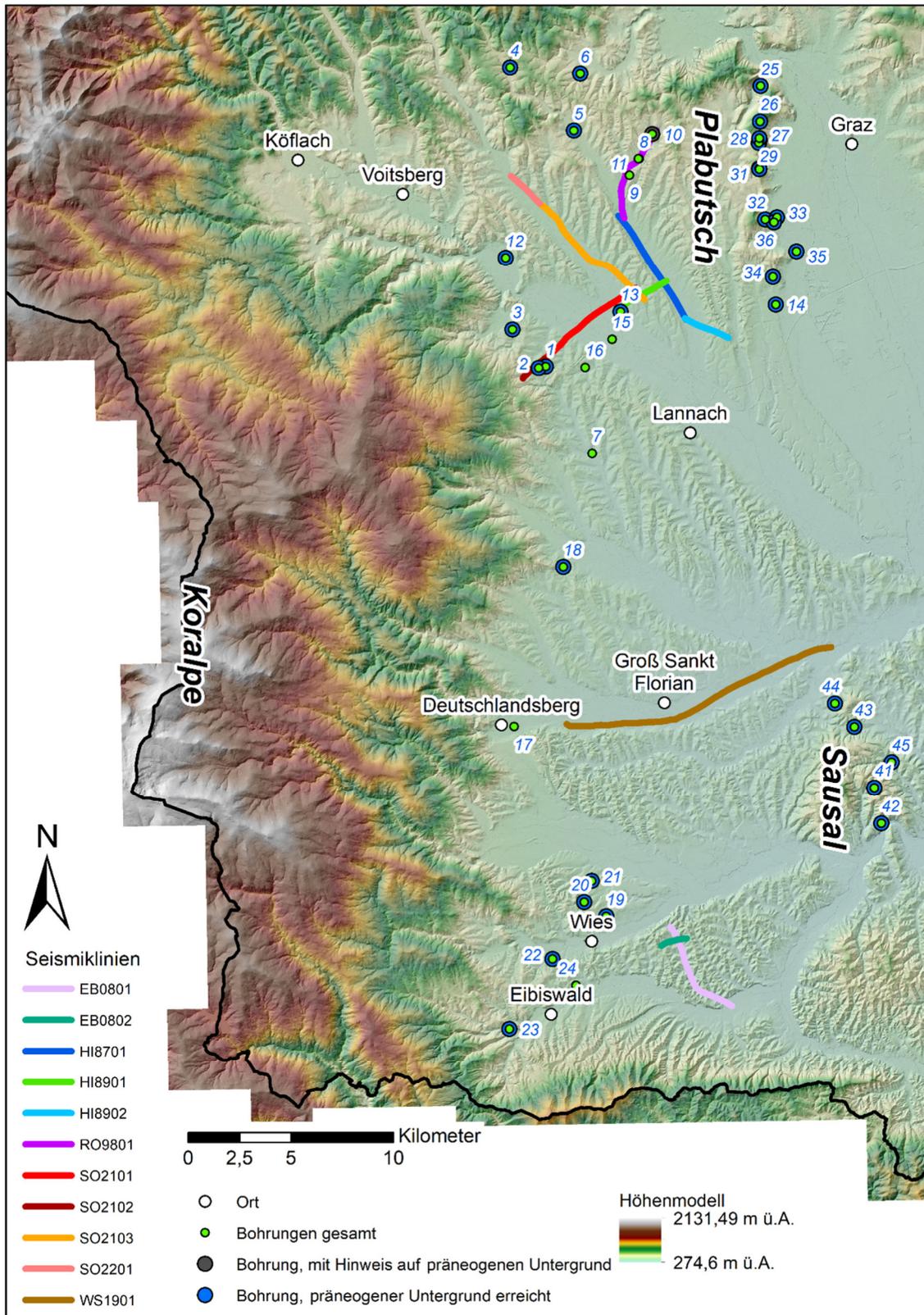


Abbildung 2: Lage der Bohrungen und Seismikprofile im Untersuchungsgebiet. Die Nummerierung der Bohrungen ist aus Tabelle 1 ersichtlich. Bohrung Nummer 10 ist der Ersatzbrunnen 2 (Steinberg), welcher den präneogenen Beckenuntergrund nicht erbohrte, jedoch Hinweise auf die Tiefe des Präneogens lieferte (siehe Abschnitt 6.2.1.10). Eine Karte mit den Bezeichnungen der Seismikprofile im Maßstab 1:50.000 ist in Anlage 4.1 dargestellt.

Nr	Name	Alias	Inventar- Nummer	X_UTM33N	Y_UTM33N	Seehöhe [m ü.A.]	Endteufe [m MD]	Endteufe [m ü.A.]	TopPrän. [m MD]	TopPrän. [m ü.A.]	Bohr- Profil	Kern- Material	Lage- Plan
1	Bohrloch 804	Rauchegg	156499	518363.03	5202146.11	396	147.9	248.1	143.7	252.3	Ja	Ja	Ja
2	Bohrloch 805	Steinberg	169661	518018.49	5202074.98	422	78.7	343.3	71	351	Ja	Ja	Ja
3	Bohrloch 806	Grabenwarth	169662	516734.60	5203968.60	380	118	262.0	111	269	Ja	Ja	Ja
4	Bohrloch 820	Stiwoll	158059	516617.4	5216859.7	540	135	405.0	108	432	Ja	Ja	Nein
5	Bohrloch 821	Jaritzberg	158060	519729.3	5213754.1	422	109.8	312.2	97.5	324.5	Ja	Ja	Nein
6	Bohrloch 822	Eisbach	158061	520041.4	5216558.3	460	226.7	233.3	190.7	269.3	Ja	Ja	Nein
7	Bohrloch 830	Zirknitz	169667	520619.75	5197894.6	332	409.95	-78.0	-	-	Ja	Ja	Nein
8	Bohrloch 832	Rohrbach	169669	522908.50	5212373.30	413	188.6	224.4	-	-	Ja	Ja	Ja
9	Bohrloch 833	Steinberg	169670	522445.88	5211566.10	418	66.6	351.4	-	-	Ja	Nein	Nein
10	Ersatzbrunnen 2	Bohrprofil Steinberg	167884	523550.00	5213587.90	434	212	222.0	-	(172)*	Ja	Nein	Nein
11	Brunnen Steinberg 1		165510	522878.94	5212377.4	414.3	131.5	282.8	-	-	Ja	Nein	Nein
12	GKB 1	Krottendorf 1	150410	516400.48	5207493.3	362.85	254	108.9	223.8	139.05	Ja	Ja	Ja
13	GKB 2	Söding 1	167389	522007.98	5204831.88	342.17	736.5	-394.3	724.7	-382.53	Ja	Ja	Ja
14	GKB 3	Pirka 1	150427	529567.39	5205190.7	355.93	277.7	78.2	255.7	100.23	Ja	Ja	Ja
15	Mooskirchen 1		156502	521596.17	5203487.4	339.5	451.2	-111.7	-	-	Ja	Nein	Nein
16	Mooskirchen 2		152530	520282.16	5202100.4	387	370	17.0	-	-	Ja	Nein	Nein
17	Bohrung 1+2		164191	516812.0	5184457.0	363	90	273.0	-	-	Ja	Nein	Nein
18	EWS 1-3		168852	519218.4	5192293.8	368	80	288.0	39	329	?	?	Nein
19	Crälius Bohrung 45	BL Nr. 45	169654	521303.80	5175109.74	355.2	135.21	220.0	129	226.2	Ja	Nein	Ja
20	Crälius Bohrung 46	BL Nr. 46	-	520238.00	5175814.00	300.76	124.36	176.4	108.06	192.7	Ja	Nein	Ja
21	Crälius Bohrung 47	BL Nr. 47	-	520600.00	5176850.00	186.4	248.20	-61.8	240.1	-53.7	Ja	Nein	Nein
22	Crälius Bohrung 48	BL Nr. 48	169655	518687.66	5173023.30	368.98	204.4	164.6	172	196.98	Ja	Nein	Ja
23	EWS-1		168992	516592.08	5169588.80	401	75	326.0	36	365	Ja	Nein	Nein
24	Hörmsdorf 3		156483	519834.37	5171736.6	382.9	260.4	122.5	?	?	Nein	Ja	Nein
25	II/1.1B		155388	528826.24	5215951.9	475.9	105	370.9	25	450.9	Ja	?	Nein
26	II/2B		155389	528812.23	5214208.7	685.1	300	385.1	3.8	681.3	Ja	?	Nein
27	II/3B		155390	528781.65	5213305.2	653.1	218	435.1	4.4	648.7	Ja	?	Nein
28	II/3.1B		155391	528754.15	5213149.5	623.8	221	402.8	1.5	622.3	Ja	?	Nein
29	II/3.2B		155392	528769.08	5213385	656.8	265	391.8	5.1	651.7	Ja	?	Nein
30	II/4B		155393	528764.46	5211892.5	440.4	66.2	374.2	22	418.4	Ja	?	Nein
31	II/5B		155394	528772.23	5211866.6	444.6	70	374.6	14	430.6	Ja	?	Nein
32	II/6.1B		155396	529057.94	5209389.6	451.3	100	351.3	5.8	445.5	Ja	?	Nein
33	III/1B		155397	529631.81	5209500.5	356.4	300	56.4	64	292.4	Ja	?	Nein
34	B1		164284	529431	5206544	418	95	323.0	1	417	Nein	?	Nein
35	Sonde 2		164799	530583.2	5207820.2	349	80	269.0	18	331	Ja	?	Nein
36	B1		169736	529469.97	5209260.7	420.6	100	320.6	4	416.6	Nein	?	Nein
37	B2		169737	529479.02	5209239.1	419.5	100	319.5	4	415.5	Nein	?	Nein
38	B3		169738	529477.51	5209246	419.7	100	319.7	4	415.7	Nein	?	Nein
39	B4		169739	529478.15	5209253.3	419.7	100	319.7	4	415.7	Nein	?	Nein
40	B5		169740	529477.44	5209258.9	419.2	100	319.2	4	415.2	Nein	?	Nein
41	EWS 1-2		164266	534369	5181435	551	100	451.0	4	547	Ja	?	Nein
42	EWS1		164273	534719	5179677	358	130	228.0	32	326	Ja	?	Nein
43	EWS1-3		164286	533406	5184429	341	90	251.0	6	335	Ja	?	Nein
44	Bohrprofil B1	Gut Waldschach	165746	532457.59	5185585.8	356	126.5	229.5	55	301	Ja	?	Nein
45	EWS 1&2		168987	535219.36	5182694.8	425	100	325.0	30	395	Ja	?	Nein

Tabelle 1: Übersicht über berücksichtigte Bohrungen im Weststeirischen Becken. Informationen der grün markierten Bohrungen flossen in die Modellierung des präneogenen Beckenuntergrundes („TopPrän.“) ein. *Die Bohrung Ersatzbrunnen 2 erreichte nicht das Präneogen, lieferte aber Hinweise auf dessen ungefähre Tiefe (siehe Abschnitt 6.2.1.10). Crälius Bohrung 46 und 47 wurden unter Tage abgeteuft. Die Koordinaten der Crälius Bohrung 46 sind trotz verfügbaren Lageplans evtl. ungenau.

Die Koordinaten in Tabelle 1 konnten nur bei jenen Bohrungen verifiziert werden, wo ein Lageplan verfügbar war. Bei allen anderen Bohrungen beruhen die Koordinaten auf Angaben in den Bohrprofilen, sofern vorhanden, oder auf Einträgen im GIS Steiermark. Während der Recherche sind jedoch Unstimmigkeiten bei verschiedenen Angaben sowohl im GIS Steiermark als auch in manchen Bohrprofilen aufgefallen. Nicht verifizierte Koordinaten sind daher mit Vorsicht zu betrachten.

4.2 Aufschlussinformation

Um die erbohrten Schichten einer Gesteinsformation zuzuordnen und das Verständnis über das Weststeirische Becken im Allgemeinen zu erhöhen, wurde eine Geländebegehung durchgeführt. Bei dieser wurden Aufschlüsse ausgewählter Formationen des Weststeirischen Beckens besichtigt. Die durch die Geländebegehung gewonnenen Informationen wurden bei den Beschreibungen der Bohrungen und bei der Interpretation der Seismikprofile berücksichtigt.

4.3 Karten des Präneogen

Die aktuellste Zusammenschau des präneogenen Untergrundes stammt von Kröll (1988), Flügel (1988) und Kröll et al. (1988). Die Themenkarten umfassen die Beckengeometrie des Steirischen Beckens (Kröll, 1988) und einen Versuch, die Geologie des präneogenen Beckenuntergrundes zu beschreiben (Flügel, 1988). Die Vorstellung zur Geologie des Präneogens beruht v.a. auf der Extrapolation des randlichen Grundgebirges sowie Modellvorstellungen. Die Karte zur Tiefe des Präneogens wurde mit Hilfe von magnetischen und gravimetrischen Messungen in Kombination mit Bohrungsdaten erstellt. Die Überarbeitung dieser Themenkarte ist ein Hauptziel dieser Zusammenschau und wird in Abschnitt 6.1 diskutiert.

4.4 Seismik Daten

4.4.1 Reflexionsseismik

Im Weststeirischen Becken wurden zwischen 2008 und 2022 sieben reflexionsseismische Profile aufgenommen. Vier ältere Seismik-Profilen, aufgenommen in 1987, 1989 sowie 1998, wurden innerhalb der letzten Jahre neu bearbeitet. Abbildung 2 zeigt die Lage dieser 11 Profile. Acht der Profile befinden sich im Liebocher Becken; eines im Florianer Becken und zwei im Eibiswalder Becken.

Reflexionsseismik-Profilen zeigen Strukturen im Untergrund wie z.B. Grenzflächen verschiedener Gesteinspakete sowie Trennflächen (Störungen) im Gestein. Ob Strukturen sichtbar sind, hängt neben Akquisitionsparametern besonders von der Tiefe ab. Damit Gesteinspakete seismisch auflösbar sind, müssen diese zumindest mehrere 10er Meter mächtig sein. Sichtbare Strukturen werden als Reflektoren bezeichnet. Nach dem Processing liegt ein Reflexionsseismik-Profil in der Zeit-Domäne vor. Die vertikale Achse eines Profils zeigt dann die Zweiweglaufzeit [s] und nicht die Tiefe an. Die Zweiweglaufzeit gibt an, wie lange ein Signal von der Oberfläche bis zu einem

Reflektor und wieder zurück braucht. Ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals im Untergrund bekannt, kann mittels Geschwindigkeitsmodell zwischen Zweiweglaufzeit und Tiefe umgerechnet werden. Dadurch können ebenso Bohrungsinformationen, welche in Tiefe sind, in die Seismik, welche in Zweiweglaufzeit ist, integriert werden.

4.4.2 Refraktionsseismik

Für zwei der reflexionsseismischen Profile liegen auch refraktionsseismische Daten vor (WS1901, SO2201). Refraktionsseismische Daten aus der Köflach-Voitsberg Bucht wurden zudem von Weber (2003) veröffentlicht.

Refraktionsseismische Messungen liefern Informationen über die Tiefe von Schichtgrenzen sowie die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Wellen in den unterschiedlichen Gesteinsschichten. Eine Refraktionsseismik erfasst Gesteinsschichten in einer Tiefe von etwa 20-30% der Auslagenlänge der Messung.

4.4.3 Geschwindigkeitsmodell allgemein

Um zwischen Zweiweglaufzeit und Tiefe umzurechnen, ist es notwendig, zu wissen, mit welcher Geschwindigkeit sich die seismischen Wellen im Untergrund ausbreiten. Daher wird ein seismisches Geschwindigkeitsmodell erstellt. Die unterschiedlichen Geschwindigkeiten von seismischen Wellen sind Gesteinseigenschaften. Es gibt mehrere Möglichkeiten ein Geschwindigkeitsmodell für den Untergrund zu erstellen. Besonders genaue Geschwindigkeiten können von Bohrungen durch geophysikalische Bohrlochmessungen erhalten werden (Vertical Seismic Profiling, Checkshots). Daneben liefern refraktionsseismische Messungen ein solides Geschwindigkeitsmodell des Untergrundes. Alternativ kann ein Geschwindigkeitsmodell auch aus dem seismischen Processing annäherungsweise abgeleitet werden. Hier sind Genauigkeiten mit einer möglichen Abweichung von 10 bis 20% gegenüber den realen Geschwindigkeitswerten zu erreichen. Darüber hinaus sind Messungen an Bohrkernen oder ergänzend an Aufschlussäquivalenten möglich, um Geschwindigkeiten verschiedener Gesteine abzuleiten.

4.4.4 Geschwindigkeitsmodell des Weststeirischen Beckens

Basierend auf Werten aus refraktionsseismischen Messungen und Literaturangaben wurde für jedes der drei Teilbecken des Weststeirischen Beckens ein Modell der Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Wellen erstellt.

Tabelle 2 zeigt die angenommenen Ausbreitungsgeschwindigkeiten (Intervallgeschwindigkeiten) der einzelnen Teilbecken.

Teilbecken	Intervall	Geschwindigkeit [km/s]
Liebocher B.	Glimmersande und Tone (inkl. Quartär)	2,10
	Sandstein-Konglomerat Zwischenschicht	2,65
	Basiskonglomerate	3,75
Florianer B.	Florianer Schichten (inkl. Quartär)	2,30
	Mittlere Eibiswalder Schichten	2,65
	Basiskonglomerate	3,75
Eibiswalder B.	Neogen	3,5

Tabelle 2: Angenommene Ausbreitungsgeschwindigkeiten für die einzelnen lithologischen bzw. stratigraphischen Intervalle der Weststeirischen Teilbecken.

Das Geschwindigkeitsmodell für das Liebocher Beckens basiert auf refraktionsseismischen Daten aus der Köflach-Voitsberg Bucht (Weber 2003), dem Norden des Liebocher Beckens sowie dem Florianer Becken (Binder et al. 2021). Weiters lieferte das Einhängen des interpretierten präneogenen Beckenuntergrundes der Bohrung Söding 1 in das reflexionsseismische Profil SO2101 Hinweise auf Geschwindigkeiten. Die durchschnittliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen im Bereich der Bohrung Söding 1 beträgt demnach ca. 2,6 km/s. Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Wellen in Tonen und Sanden der Stallhofen-Formation liegt in der Köflach-Voitsberg Bucht zwischen 1,8 und 2,2 km/s (Weber 2003) sowie im Norden des Liebocher Beckens entlang der Linie RO9801 bei 2,2 km/s (Binder et al. 2021). Aufgrund der großen Mächtigkeit der Sande und Tone von über 200 m (vergleiche Bohrung Söding 1 in Abschnitt 6.2.1.2) wurde mit 2,1 km/s ein Wert im oberen Bereich gewählt. Mit zunehmender Mächtigkeit erfolgen eine stärkere Zementation und Kompaktion der Sedimente, was wiederum zu höheren Geschwindigkeiten der seismischen Wellen führt. Schotterführende Tone und Sande der Stallhofen Formation weisen in der Köflach-Voitsberg Bucht Geschwindigkeiten der seismischen Wellen bis zu 2,7 km/s auf (Weber 2003). Dies war ausschlaggebend, der Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht eine Ausbreitungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen von 2,65 km/s zuzuweisen. Dem Basiskonglomerat im Liebocher Becken wurde basierend auf der Refraktionsseismik WS1901 eine Geschwindigkeit von 3,75 km/s zugewiesen. Diese Refraktionsseismik zeigt an der Ostflanke des Florianer Beckens eine Schicht mit einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von 3,8 km/s (Binder et al.

2021). Dabei handelt es sich höchstwahrscheinlich um basale Konglomerate. Die minimale Abweichung von 0,05 km/s ergab sich durch die Kalibration der Ausbreitungsgeschwindigkeiten anhand der Bohrung Söding 1 und des Seismik Profils SO2101. Für eine ideale Übereinstimmung zwischen Zweiweglaufzeit und Tiefe mussten die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht sowie jener der Basiskonglomerate um jeweils 0,05 km/s reduziert werden. Die Genauigkeit des Geschwindigkeitsmodells im Liebocher Becken liegt bei 10%. Im Bereich der Bohrung Söding 1 ist ein Fehler von maximal 5% zu erwarten.

Für das Geschwindigkeitsmodell des Florianer Becken wurden die Daten der Refraktionsseismik WS1901 verwendet. Anhand dieser wurden die Werte für die Florianer Schichten (inkl. Quartär bei 2,30 km/s), die Mittleren Eibiswalder Schichten (2,65 km/s) sowie die Basiskonglomerate (3,75 km/s) festgelegt. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen innerhalb der Basiskonglomerate wurden von 3,8 km/s auf 3,75 km/s reduziert um eine einheitliche Geschwindigkeit innerhalb der basalen Schichten im Liebocher und Florianer Becken zu verwenden. Für das Geschwindigkeitsmodell des Florianer Beckens ist mit einer Genauigkeit von 10% zu rechnen.

Im Eibiswalder Becken fehlen Daten zu Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Wellen. Für die Beckenfüllung wurden dort als Durchschnitt 3,5 km/s angenommen. Dieser hohe Wert wurde gewählt, da im Eibiswalder Becken mächtige Konglomerate der Radl-Formation und Unteren Eibiswalder Schichten vorkommen. Konglomerate haben typischerweise durch ihre Zementation hohe Ausbreitungsgeschwindigkeiten seismischer Wellen (Weber 2003). Ein Durchschnittswert der gesamten Beckenfüllung ist jedoch immer nur als Näherung zu verstehen. Besonders im Norden des Eibiswalder Beckens sind niedrigere Geschwindigkeiten denkbar, da dort vermehrt mit weniger mächtigen Konglomeraten zu rechnen ist. Es ist aufgrund mangelnder Daten nicht möglich, den maximalen Fehler der angenommenen Geschwindigkeit zu beziffern.

5 Datenakquisition und Bearbeitung

5.1 Akquisition der reflexionsseismischen Profile S02103 und S02201

Im nördlichen Teil der Weststeiermark wurden im Rahmen dieses Projektes die beiden reflexionsseismische Profile SO2103 und SO2201 aufgenommen. Die Daten des etwa 8 km langen Profils SO2103 wurde im August 2021 aufgenommen. In einer zweiten Messkampagne im Frühjahr 2022 wurden die Daten des Profils SO2201 akquiriert.

Abbildung 2 zeigt einen Lageplan über das Projektgebiet mit sämtlichen vorhandenen seismischen Profilen. Die nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 3 bis Abbildung 6) zeigen einen Überblick über wesentliche Schritte der Akquisition.

Permit

Der Verlauf der Messlinien wurde so gewählt, dass eine möglichst geringe Anzahl von Grundstückseigentümern betroffen ist und dennoch eine entsprechend günstige Aufnahmegeometrie für die Fragestellungen gegeben ist. Ein kleiner Teil der Grundstücke ist im Eigentum der betroffenen Gemeinden oder des Landes Steiermark. Der Großteil ist in Privatbesitz.

Sämtliche Gemeinden, Grundstückseigentümer und Anrainer wurden vorab über die geplanten Arbeiten informiert. Das Einholen der jeweiligen Betretungserlaubnisse der Grundeigentümer für die reflexionsseismischen Messungen („Permitting“) für das gegenständliche Projekt wurde von der Fa. Geo5 GmbH im Juli 2021 und im Februar 2022 durchgeführt. Wenn ein Grundstückseigentümer kein Einverständnis gegeben hat, wurde der Linienverlauf entsprechend angepasst, so dass das jeweilige Grundstück nicht betreten werden musste.



Abbildung 3: Seismische Messkomponenten [Summit XOne (DMT)]



Abbildung 4: Ausschnitt von der Messlinie. Geophonabstand 5 m



Abbildung 5: Sprengtrupp beim Vorbereiten der Ladung



Abbildung 6: Registriereinheit

Akquisition

Im Rahmen dieses Projektes wurden zwei 2D reflexionsseismische Profile mit der sogenannten „Roll-Along“ Methode entlang zweier Linien im Gebiet um Söding und Stallhofen aufgenommen. Bei der „Roll-Along“ Methode wird ein Teil des Messprofils aufgebaut (nicht alle Stationen des Gesamtprofils sind gleichzeitig aktiv). Nach der Akquisition einzelner Aufnahmen werden die Geophone des Messprofilanfangs abgebaut und an das Messprofilende hinzugefügt. Dieser Vorgang wird wiederholt bis damit das gesamte Messprofil mit Aufnahmen abgedeckt ist. Die Akquisitionsarbeiten für die Linie (SO2103) wurden in der zweiten Augushälfte 2021 durchgeführt. Die Aufnahme der zweiten Linie (SO2201) erfolgte im Frühjahr 2022.

Ziel ist es, den strukturellen Verlauf (Beckengeometrie) des Grundgebirges abbilden zu können und zusätzlich eine Übersicht über den sedimentären Aufbau in diesem Weststeirischen Teilbecken zu erhalten. Aufgrund der relativ geringen sedimentären Überdeckung des Grundgebirges im Bereich dieser zweiten Linie wurden ausgewählte Akquisitionsparameter entsprechend angepasst. Einerseits wurde die Aufnahmezeit von drei Sekunden auf zwei Sekunden reduziert und andererseits wurden aufgrund der relativ geringen Stationsabstände und Auslagelängen Einzelgeophone anstatt gebündelter Geophongruppen verwendet.

Als Messapparatur wurde das seismische Akquisitionssystem SUMMIT II+ (SO2103) und SUMMIT XOne (DMT GmbH, Essen) (SO2201) mit 160 bis 234 aktiven Kanälen nach der „Roll Along“ Methode verwendet. Der Durchlassbereich des Aufnahmefilters der Messapparatur betrug 1 – 400 Hz. Als Aufnehmer wurden Einzelgeophone mit einer Eigenfrequenz von 10Hz verwendet, welche bei den Aufnehmerpositionen („Receiver-Station“) im Boden platziert wurden. Der mittlere Abstand zwischen den Aufnehmerpositionen betrug zehn Meter bei Profil SO203 und fünf Meter bei Profil SO2201. Als Energiequelle diente Austrogel P25/200 (Sprengstoff – 30 g bis 125 g). In von der Fa. Hypersond Erdwärme GmbH zuvor angefertigten Bohrlöchern von ca. 1,5 m Tiefe wurde dieser mit elektrischen Momentzündern zur Detonation gebracht. Der nominelle Abstand zwischen den Schusspositionen betrug bei Profil SO2103 20 m und bei Profil SO2201 10 m. Entlang des Profils wurden, inklusive zusätzlicher refraktionsseismischer Daten, insgesamt 391 Einzelaufnahmen (SO2103) und 188 Einzelaufnahmen (SO2201) registriert.

In Tabelle 3 sind sämtliche Akquisitionsparameter zusammengefasst.

Akquisition		
Profil	SO2103	SO2201
Feldmessungen	2021	2022
Aufnahmeapparatur	Summit II+	Summit Xone
Aufzeichnungslänge [ms]	3076	2000
Abtastintervall [ms]	2	2
Feldfilter	1 - 400 Hz	1 - 400 Hz
aktive Kanalanzahl - "Fixed Spread"	217 - 234	230
aktive Kanalanzahl - "Roll Along"	160 - 185	230
Aufnahmegeometrie	"Shooting in and out" & " Split Spread"	"Shooting in and out" & " Split Spread"
Max. Offset [m]	2330	1150
Max. Offset im Split [m]	940	400
Geophone	Sensor PE2 4SB-10-71-486	10 Hz
Geophone/Geophongruppe	8	1
Geophonanordnung	Bundle	-
nomineller GP-Abstand [m]	10	5
Anzahl der Positionen	818	410
nominelle Profillänge [m]	8170	2045
Quelle	Austrogel P25/200 125g	Austrogel P25/200 125g
Lademenge [g] exkl. RF	30 - 125	30 - 125
Inline Offset [m]	5.0	2.5
nomineller SHT-Abstand [m]	20	10
Records inkl. RF	391	188
Minimum Nom. Überdeckungsgrad im "Split"	40	57.5
GP-Bereich	101 - 918	101 - 510
SP-Bereich	100.5 - 918.5	100.5 - 477.5
CDP-Bereich	202 - 1836	202 - 987

Tabelle 3: Akquisitionsparameter

Die refraktionsseismischen Daten wurden im Zuge der Akquisition über einmal drei (SO3203) und einmal zwei ausgewählte aktive Aufstellungslängen (SO2201) mit 15 beziehungsweise 13 zusätzlichen Refraktionsaufnahmen registriert. Diese wurden zusätzlich gesondert ausgewertet.

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 7 bis Abbildung 9) sind zur Veranschaulichung ausgewählte Feldaufnahmen dargestellt. Im Zeitbereich zwischen

0 und ca. 800 Millisekunden sind bereits in den Feldaufnahmen eindeutige Reflexionen erkennbar.

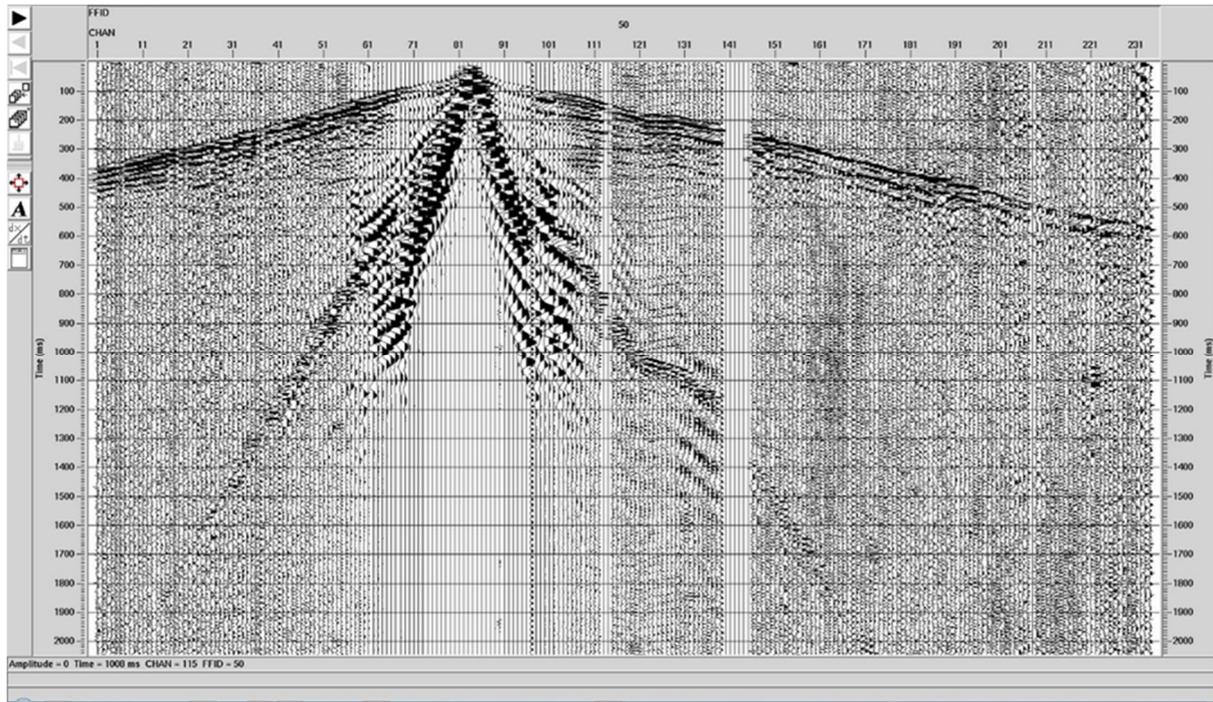


Abbildung 7: FFID (field file identification number) 50 des Profils SO2203 mit 234 aktiven Spuren.

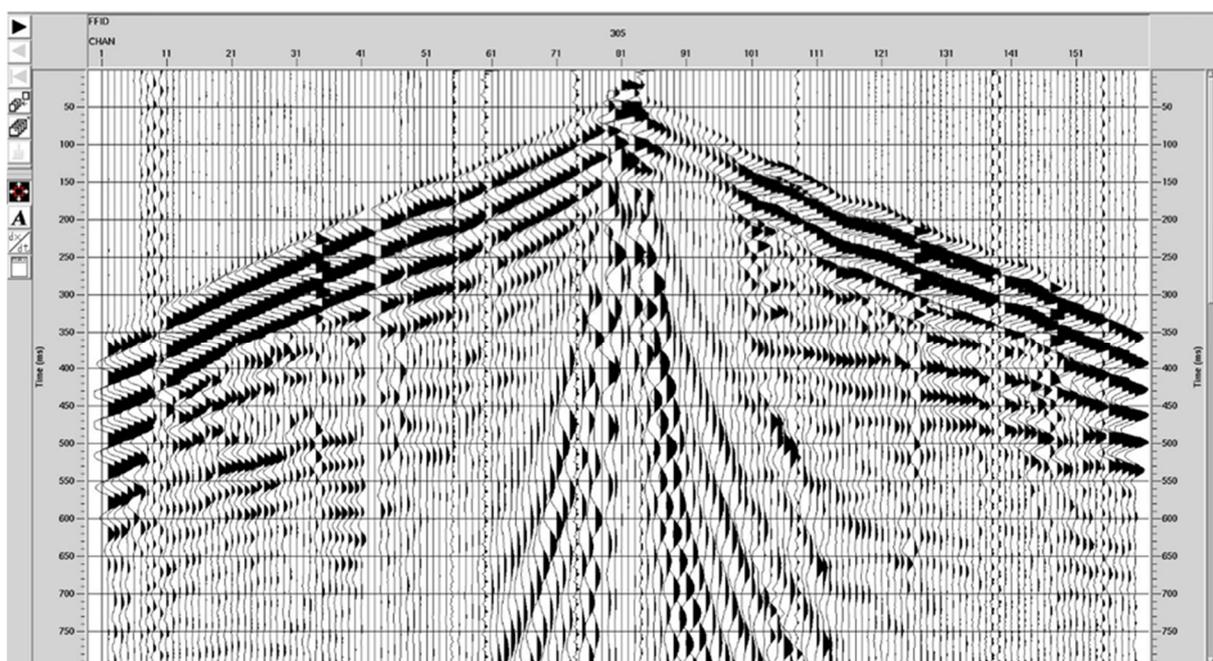


Abbildung 8: FFID 305 des Profils SO2103 mit Ausschnitt über 800 Millisekunde mit 160 aktiven Spuren.

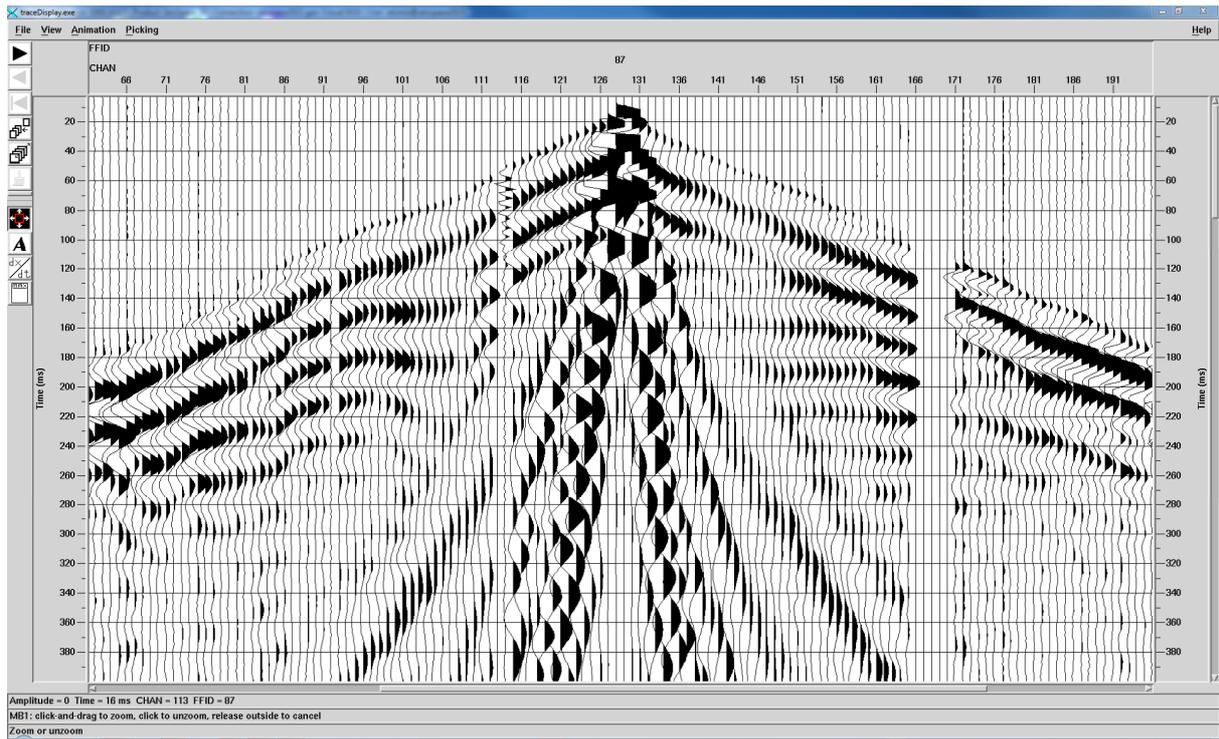


Abbildung 9: FFID 87 des Profils SO2201 mit 230 aktiven Spuren. (Ausschnitt)

5.2 Bearbeitung (Processing) der reflexionsseismischen Daten

Die reflexionsseismische Datenbearbeitung wurde mit dem in der Erdölindustrie weit verbreiteten Softwarepaket SeisSpace/ProMAX R5000 (Landmark) durchgeführt. Die Bearbeitungsabfolge lässt sich grundlegend in folgende Schritte zusammenfassen:

- Einlesen und Editieren der Rohdaten
- Definition der Geometrie
- Amplitudenkorrektur
- Statische Korrektur auf das „Processing Datum“
- Signalbearbeitung
- Geschwindigkeitsanalyse
- Dynamische Korrektur und „Muting“
- Reststatische Korrektur
- Stapelung und Korrektur auf das seismische Bezugsniveau
- Frequenzfilterung

- Kohärenzfilterung
- Migration

In der nachfolgenden Tabelle 4 sind sämtliche verwendete Parameter der Bearbeitungsabfolge beider Profile (SO2103 und SO2201) zusammengefasst.

Profil	Bearbeitung	
	SO2103	SO2201
Einlesen der Daten	SG-2	SG-2
Geometrie	Straight Line	Straight Line
"Muting"	-	Top Mute
"Trace-Edit"	Reverse polarity / Kill bad traces	Kill bad traces
Amplitudenkorrektur	Sphärische Divergenz	Sphärische Divergenz
Statische Korrektur (Seismisches Datum)	datum statics (300 m)	refraction statics (370 m)
"Groundroll" Filter	Div. Velocity Filter [8-65 Hz]	Div. Velocity Filter [8-65 Hz]
Mehrkanal-Dekonvolution	65 ms	65 ms
	Operatorlänge	Operatorlänge
"Spiking"-Dekonvolution	15	25
Luftschall Unterdrückung	Attenuation	Attenuation
Geschwindigkeitsanalyse	jeder 50'te CMP	jeder 50'te CMP
NMO	gepicktes-geglättetes Geschwindigkeits-Feld	gepicktes-geglättetes Geschwindigkeits-Feld
"Stretch mute" [%]	25	65
Reststatische Korrektur	4 Iterationen	4 Iterationen
	8 ms max.shift	8 ms max.shift
AGC [ms]	500	300
CMP-Stapelung ("Final Datum")	Mean	Mean
TV - Bandpassfilterung [Hz]	035 - 040 - 120 - 125	045/18 - 140/72
	025 - 030 - 100 - 105	035/18 - 120/72
	014 - 018 - 060 - 065	
F-X Dekonvolution	L2-Norm Adaptive [28-120 Hz]	L2-Norm Adaptive [35-120 Hz]
Migration	Steep Dip Time Migration	Steep Dip Time Migration
	V_{MIG} aus V_{NMO} abgeleitet	V_{MIG} aus V_{NMO} abgeleitet

Tabelle 4: Bearbeitungsparameter

Im ersten Schritt der Bearbeitung wurden die seismischen Daten (SEG-2 Format) in die Bearbeitungssoftware eingelesen, die Koordinaten- und Höhenwerte für das Einlesen

in die Bearbeitungssoftware aufbereitet und zusammen mit den seismischen Daten auf Vollständigkeit und Plausibilität überprüft.

Anschließend erfolgte programmintern die Definition der Aufnahme- und Liniengeometrie. Dabei wurden Zuordnungen zwischen seismischen Spuren, Aufnehmer- und Anregungspositionen, Koordinaten und Höhenwerte getroffen. Aufgrund des gekrümmten Verlaufs der Aufnehmerlinie wurden der Verlauf einer begradierten CMP-Bezugslinie definiert (CMP = „Common Mid-Point“ = Koordinatenmittelpunkt zwischen Aufnehmer- und Anregungsposition einer jeweiligen Spur) und die seismischen Spuren zu äquidistanten Positionen entlang dieser CMP-Bezugslinie zugeordnet. Abbildung 10 zeigt die Anordnung der Aufnehmer mit entsprechender Streuung der Mittelpunkte und der CMP-Bezugslinie am Beispiel der Linie SO2103.

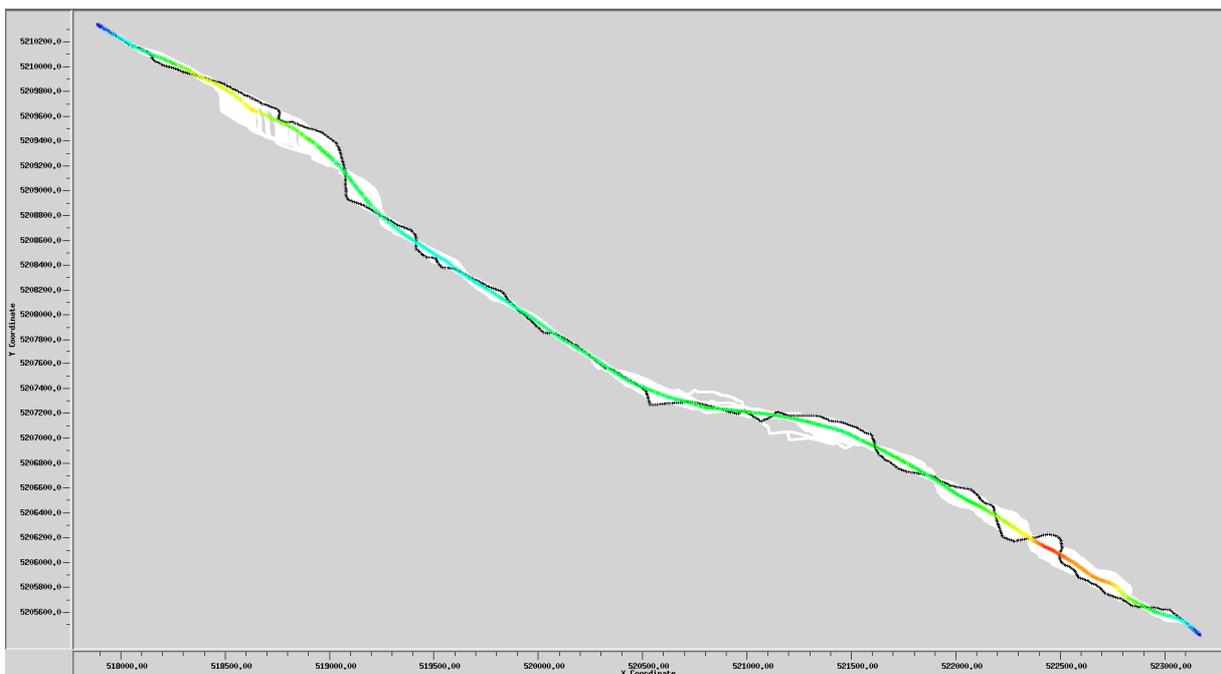


Abbildung 10: Programminterne Basemap: Aufnehmerlinie (schwarz); berechnete Mittelpunkte (weiß) basierend auf entsprechenden Quellen – und Empfängerabständen; CDP-Bezugslinie (farbig)

Nach vollständiger Installation der Geometrieinformationen auf der programminternen „Database“ wurden sämtliche „Trace Header“ mit diesen Geometrieinformationen befüllt. Nach einer ausführlichen Überprüfung jeder einzelnen Aufnahme (FFIDs) bezüglich Plausibilität wurden für spezielle weitere

Bearbeitungsschritte (statische Korrekturen) zunächst die Ersteinsätze („First Breaks“) bestimmt.

Diese Ersteinsatzzeiten bilden nicht zuletzt die Grundlage für die Berechnung statischer Korrekturwerte, sondern es lassen sich daraus auch Geschwindigkeitsinformationen ableiten, welche unter anderem als Grundlage für weitere Geschwindigkeitsanalysen dienen können.

Sämtliche Spuren beider Profile wurden für die nachfolgende Signalbearbeitung statisch auf das jeweilige entsprechende seismische Referenzdatum (NMO Datum oder „Processing“ Datum) verschoben.

Die Korrektur der sphärischen Divergenz dient zur Wiederherstellung der durch die räumliche Wellenausbreitung mit der Entfernung bzw. der Laufzeit abnehmenden Signalamplitude. Dabei erhält man im Hinblick auf die seismischen Amplituden über den gesamten Zeitbereich (=Tiefenbereich) und Entfernungsbereich ein ausgeglichenes Seismogramm.

Die Dekonvolution ist ein Signalbearbeitungsschritt, bei dem die Signalschärfe und somit das seismische Auflösungsvermögen wesentlich vergrößert und zugleich der Einfluss von Störwellen (Oberflächenwellen, geführte Störwellen, ...) verringert werden kann. In einer Reihe ausführlicher Vergleiche wurden verschiedene Dekonvolutionsalgorithmen getestet und die optimalen Dekonvolutionsparameter (z.B.: Operatorlänge) ermittelt. Durch die verwendete „Multichannel spiking deconvolution“ gefolgt von einer „Singlechannel spiking deconvolution“ konnte neben einer Vergrößerung des Auflösungsvermögens auch eine Unterdrückung übriggebliebener Störwellen und somit eine Vergrößerung des Signal/Rausch-Verhältnisses erzielt werden.

Eine weitere, rein statistische Verbesserung des Signal/Rausch-Verhältnisses wird mittels der sogenannten Stapelung erzielt. Dabei werden die seismischen Spuren (=Aufzeichnung einer seismischen Anregung bei einem Aufnehmer), die ein und demselben CMP zugeordnet werden, aufsummiert. In Abhängigkeit von der jeweiligen Untergrundüberdeckung werden die entsprechenden seismischen Spuren zu ein und demselben CMP zusammengefasst und aufsummiert.

Vor der Stapelung müssen jedoch die einzelnen seismischen Spuren aufgrund der unterschiedlichen Abstände zwischen den Anregungs- und Aufnehmerpositionen und den daraus resultierenden unterschiedlichen Laufzeiten des seismischen Signals zueinander zeitlich korrigiert werden. Für diesen Vorgang, der NMO („normal move-out“) oder dynamische Korrektur bezeichnet wird, wird jedoch ein Geschwindigkeitsmodell des Untergrundes benötigt, welches interaktiv bei der Analyse von sogenannten vordefinierten CMP – „Supergather“ ermittelt wird.

Nach der Geschwindigkeitsanalyse erfolgte die NMO. Da es bei dieser dynamischen Korrektur, speziell im oberflächennahen Bereich, zu einer unerwünscht großen Dehnung des seismischen Signals kommen kann, wird diese Dehnung durch den so genannten „stretch-mute“ Prozentsatz quantitativ begrenzt. Basierend auf ausführlichen Tests wurde ein „stretch-mute“ Prozentsatz von 15% (SO2103) und 25% (SO2201) verwendet. D.h. Signalbereiche, die durch die dynamische Korrektur um mehr als diesen Prozentbetrag gedehnt werden, wurden nicht in den Stapelungsprozess einbezogen.

Nach der dynamischen Korrektur und dem „muting“ müssen vor der Stapelung die einzelnen seismischen Spuren noch auf ein einheitliches Bezugsniveau verschoben (=statische Korrektur zum jeweiligen Datum) werden. Verbleibende kleine Verschiebungsfehler werden durch Berechnung und Anwendung von reststatischen Korrekturen ausgeglichen.

Anschließend wurden die Amplituden der seismischen Spuren gleitend über ein Fenster von 500 ms (SO2103) und 300 ms (SO2201) aneinander angepasst und gestapelt. Danach wurde das Nutzsignal gegenüber dem Störsignal durch Raum – und Zeitvariante Bandpassfilterung, deren Ziel die Auflösung der obersten Schichten ist, erhöht. Anschließend wurde die Kohärenz mittels Anwendung einer F-X Dekonvolution weiter erhöht.

Abbildung 11 zeigt das finale Stapelergebnis der Linie SO2103 und Abbildung 12 das finale Stapelergebnis der Linie SO2201. Die Stapelergebnisse beider Linien sind auch in PDF-Format als Anlage 2.1 und 2.3 beigelegt.

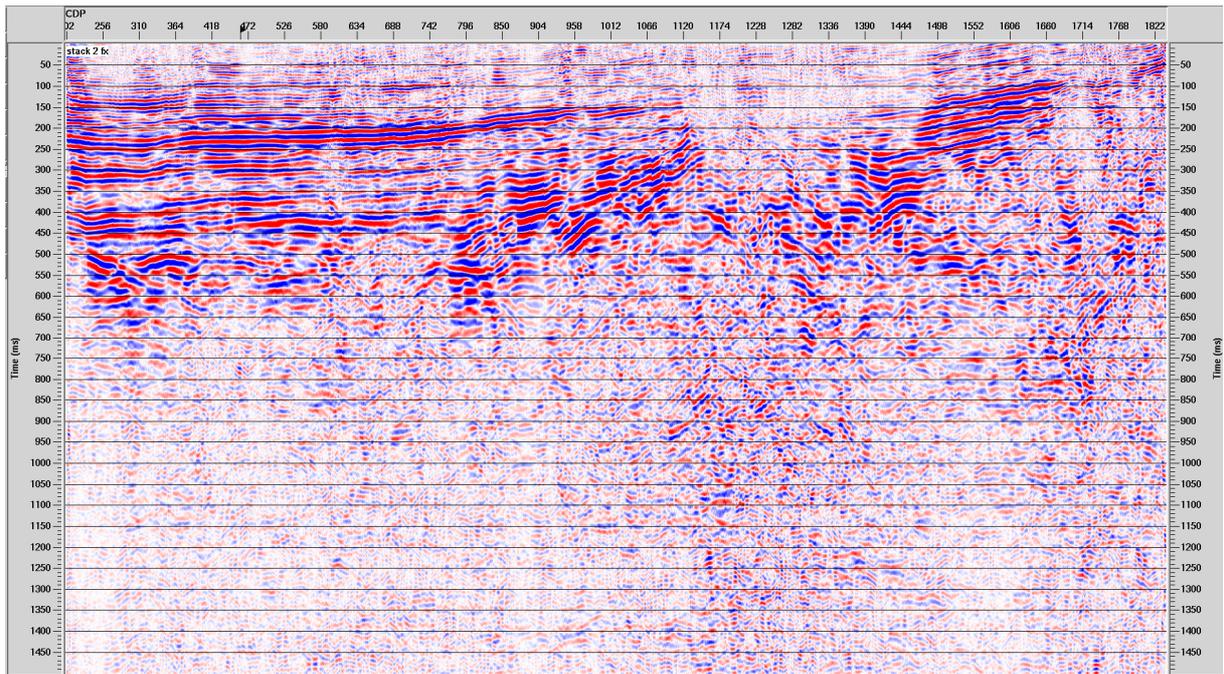


Abbildung 11: Finale Stapelsektion des Profils SO2103

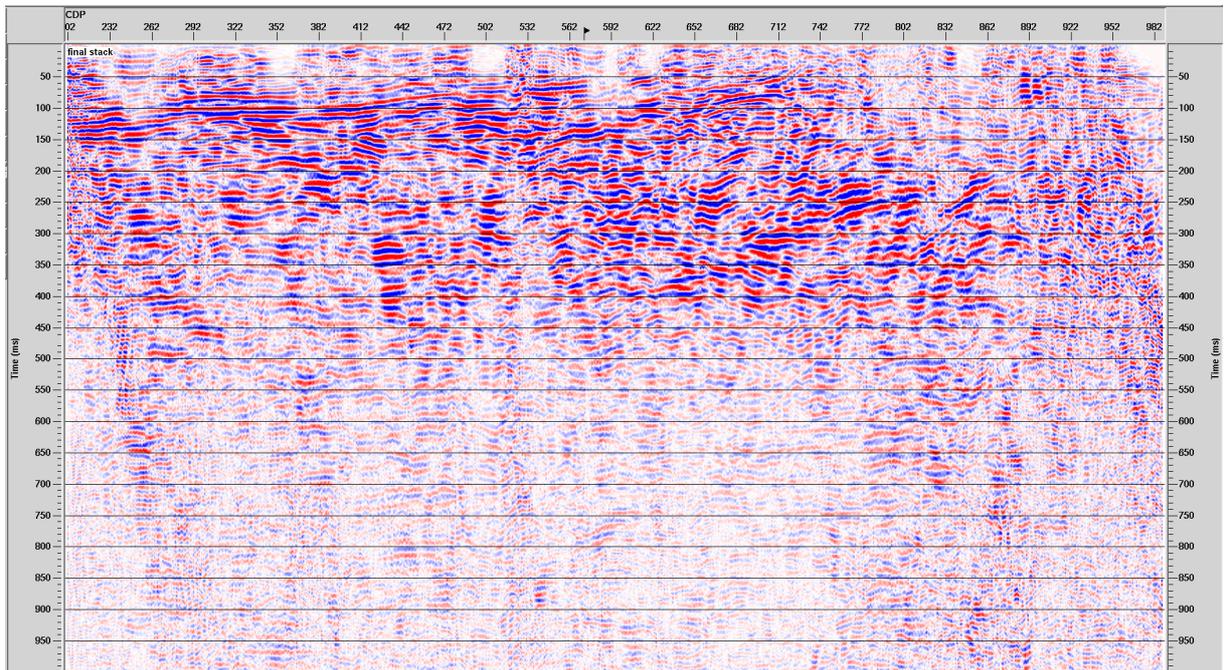


Abbildung 12: Finale Stapelsektion des Profils SO2201

Durch die Gesetze der Wellenausbreitung und durch die Aufnahmegeometrie einer Reflexionsseismik bedingt, ergibt sich bei einer nicht horizontalen Lagerung von

geologischen Schichtpaketen weder der wahre Einfallswinkel noch die richtige räumliche Lage eines Reflexionshorizontes. Des Weiteren können durch Bruchstrukturen und kleinräumige Strukturen Artefakte (Diffraktionen) in der Stapelsektion entstehen, die nicht den geologischen Gegebenheiten entsprechen und somit zu Fehlinterpretationen führen. Mit der sogenannten seismischen Migration können die oben beschriebenen Abbildungsfehler weitgehend eliminiert werden. In einer Reihe von Durchläufen wurden verschiedene Migrationsalgorithmen getestet und angewandt. Die Ergebnisse aus den Migrationen wurden abschließend im SEG-Y Format exportiert und liegen dem Bericht in den Anlagen 2.2. und 2.4. sowie im PDF-Format bei.

6 Geologischer Aufbau

6.1 Neu-Modellierung des präneogenen Beckenuntergrundes

Der digitale Datensatz sowie das Ergebnis der Neu-Modellierung des präneogenen Beckenuntergrundes ist als Anlage 6.1 beigefügt.

6.1.1 Ausgangssituation

Um die Oberfläche des präneogenen Beckenuntergrundes des Weststeirischen Beckens neu zu modellieren, wurden folgende Ausgangsdaten berücksichtigt:

- a) Höhengichtlinien der Präneogen-Karte von Kröll (1988)
Eine Digitalisierung der Höhengichtlinien (200 m Intervall; Meter über Adria) der georeferenzierten Präneogen-Karte (Kröll 1988) erfolgte, da die Daten selbst nicht digital vorlagen.
- b) Beckenrand aus dem Transthermal Projekt
Eine verbesserte Umrahmung des Weststeirischen Beckens bzw. dessen Beckenrandgrenze im Vergleich zu der in den Präneogen-Karten wurde anhand der neueren geologischen Karten, die im Rahmen des Projektes „Transthermal – Geothermie der Ostalpen“ (Götzl et al., 2007; Transthermal-Geologie-Datensatzes) zur Verfügung standen, erzielt und hier verwendet. Dieser Datensatz wurde von JR-Aquaconsol (Joanneum Research) zur Verfügung gestellt.
- c) Bohrungen
Es wurden in Summe 37 Bohrungen, die den Beckenuntergrund im Weststeirischen Becken erreicht haben bzw. in Nahlage des Weststeirischen Beckens gelegen sind, als Stützpunkte herangezogen (Tabelle 1).

Abbildung 13 gibt einen Überblick über die Ausgangssituation mit den ursprünglichen Höhengichtlinien der Präneogen-Karte von Kröll (1988), der Beckenumrahmung sowie den als Stützpunkte verwendete Bohrungen.

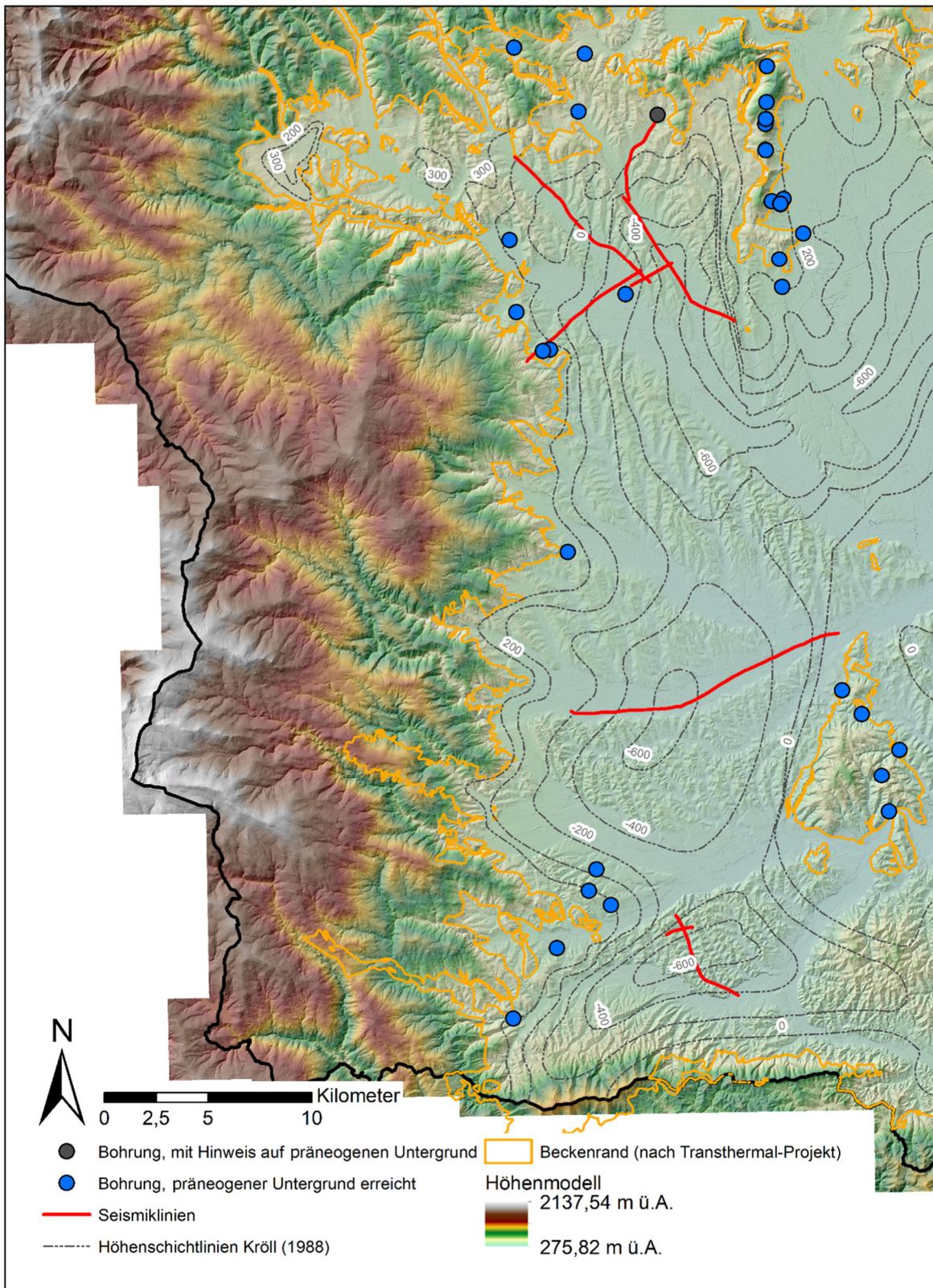


Abbildung 13: Ausgangsdatenlage der Neu-Modellierung des Präneogens: Höhengichtlinien aus Kröll (1988) (strich-punktierte schwarze Linien; Zahlen in m ü.A.), Bohrungen mit Informationen über die Tiefe der Beckenuntergrundoberkante (blaue und graue Punkte); Beckenrand (orange Linie) aus dem Transthermal-Projekt (2007).

6.1.2 Überarbeitung / Modifikation der Höhenschichtlinien

Anhand der (geglätteten) Tiefen-Interpretation des präneogenen Beckenuntergrundes entlang der insgesamt 11 Seismik-Linien wurden die Höhenschichtlinien (200 m Intervalle) der Kröll-Karte (1988) modifiziert, sprich in deren Nahlage verschoben und angepasst. Eine weitere Modifizierung erfolgte, wenn Bohrungen in der Nähe von Höhenschichtlinien dies nötig machten bzw. dort wo die ursprünglichen Höhenschichtlinien der Kröll-Karte (1988) den aktuellen Beckenrand schnitten.

6.1.3 Interpolation des präneogenen Beckenuntergrundes

Die Oberfläche des präneogenen Beckenuntergrundes wurde anhand (i) der modifizierten Höhenschichtlinien (200 m Intervalle; alle 100 m in Punktinformation konvertiert), (ii) den Bohrungsinformationen (Punktdaten mit Tiefen der Oberkante des Beckenuntergrundes) und (iii) dem Beckenrand (ein 2 km Puffer um die Beckenrandgrenze für den alle 100 m x 100 m eine Oberflächenhöheninformation aus dem 1 m x 1 m Höhenmodell entnommen wurde) interpoliert. Die Stützpunkte um den Beckenrand erlauben es, ein „Eintauchen“ in den Beckenuntergrund zu erzeugen. Die reine Höheninformation am Beckenrand wäre hier zu ungenau. Dieser Schritt wurde gewählt, da das Randgebirge und vorgegebene Taleinschnitte vermutlich auch bei der Beckengenese schon eine Rolle spielten.

Die verwendete Interpolationsmethode „Topo to Raster“ (ArcGIS 10.7.1) ist eine, die versucht, eine hydrologisch plausible Oberfläche abzuleiten (Details zu dem Algorithmus siehe ArcGIS). Dieselbe Interpolationsmethode wurde auch verwendet, um die ursprüngliche Oberfläche anhand der Kröll-Karte (1988) zu erzeugen und somit eine Differenz der ursprünglichen (Kröll, 1988) und der modifizierten Oberfläche berechnen zu können (Abbildung 14). Die dabei entstandene Oberfläche wurde mit der Beckenrandgrenze zugeschnitten. Es muss hier erwähnt werden, dass einerseits der östliche Rand der Interpolationsfläche östlich der Mittelsteirischen Schwelle nicht weiter verifiziert wurde und die Oberfläche des präneogenen Untergrundes nur bis zur Mittelsteirischen Schwelle Aussagekraft besitzt. Des Weiteren ist der Übergang nach Slowenien über den Radlpass als sehr unsicher einzustufen, da hier keine neuen Informationen vorliegen und die in der Kröll-Karte (1988) ausgewiesenen Tiefen nicht verifiziert werden konnten.

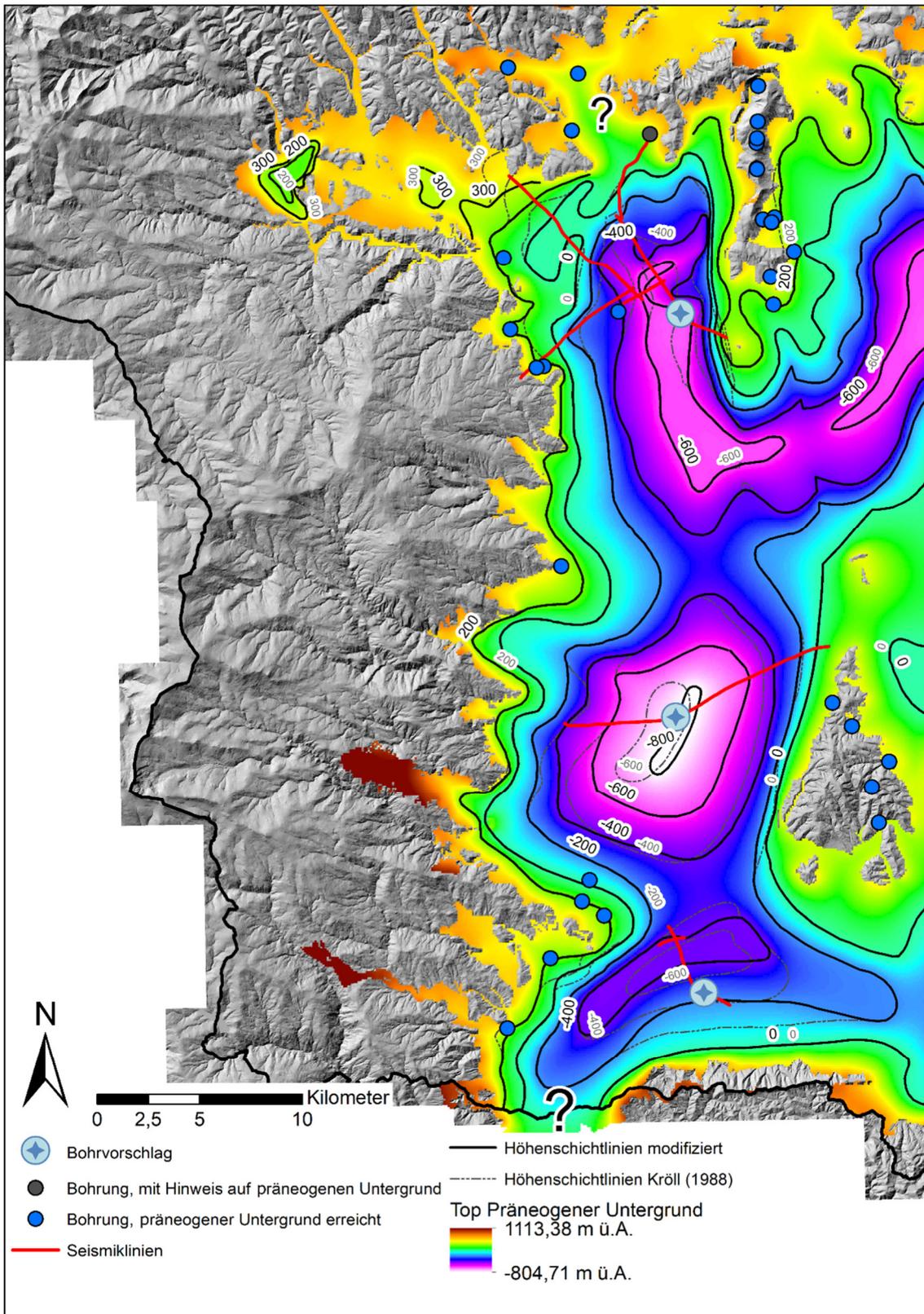


Abbildung 14: Oberfläche des präneogenen Untergrundes interpoliert anhand der Tiefeninformationen aller 11 Seismikprofile und Bohrungsinformationen, die eine Modifikation der Höenschichtlinien der Kröll-Karte (1988) für nötig erscheinen ließen. Die Bohrvorschläge sind in Abschnitt 8 beschrieben. Eine Karte im Maßstab 1:50.000 ist in Anlage 4.2 dargestellt.

6.1.4 Änderungen in der Geometrie des präneogenen Beckenuntergrundes

Basierend auf den oben beschriebenen (modifizierten) Stützpunkten und der dadurch errechneten neuen Oberfläche des präneogenen Untergrundes ergibt sich für die drei Teilbecken folgendes Bild:

- a) Liebocher Becken: Die generelle Beckentiefe konnte hier bestätigt werden, was zu erwarten war, da die Bohrung Söding 1 auch damals schon als Informationsquelle verfügbar war. Die detaillierte Geometrie ist jedoch aufgrund der großen Anzahl an Seismikprofilen detailreicher erfasst.
- b) Florianer Becken: Hier kann von einem tieferen Becken als ursprünglich angenommen ausgegangen werden und Tiefen von bis zu 1200 m sind wahrscheinlich. Die generelle Asymmetrie dieses Beckens, mit flach einfallendem Beckenuntergrund im Westen und steilerem Abfallen auf der Ostseite zur Sausalschwelle hin, ist eine wichtige Neuinformation, welche sich im Einklang befindet mit Arbeiten über die Extensionstektonik und junge Hebungsgeschichte des (West-) Steirischen Beckens und dem Modell der Kippblöcke, die nach Osten hin flachere Neigungen aufweisen und gegen Westen hin steiler sind (Neubauer & Genser, 1990; Legrain et al. 2014).
- c) Eibiswalder Becken: Im Eibiswalder Becken muss von einer geringeren Beckentiefe ausgegangen werden als ursprünglich von Kröll (1988) angenommen. Jedoch scheint der Beckenuntergrund vom Süden her durch Remschnigg Paläozoikum dem Kristallin der Koralm überlagert zu sein. Der Beckenübergang nach Slowenien über den Radlpass bleibt ein großes Fragezeichen.

Die Veränderungen der Beckengeometrie werden hier durch die Berechnung der Differenz an Beckentiefeninformation der ursprünglichen Kröll-Karte (berechnet aus den digitalisierten Höhenschichten der Kröll-Karte (1988) mit derselben Interpolationsmethode „Topo to Raster“) und der neu berechneten Oberfläche des präneogenen Untergrundes (Abbildung 15) dargestellt. Die in Abbildung 15 mit einem Fragezeichen versehenen Bereiche des Übergangs des Weststeirischen Beckens nach Slowenien (Radlpass) und auch der nördliche Bereich nach Stiwoll (Bohrungen 820 und 822) sollen darauf hinweisen, dass dort die Beckenstruktur merklich anders aussehen könnte; es aber in diesen Bereichen zu wenig Daten gibt um eine Aussage zu treffen.

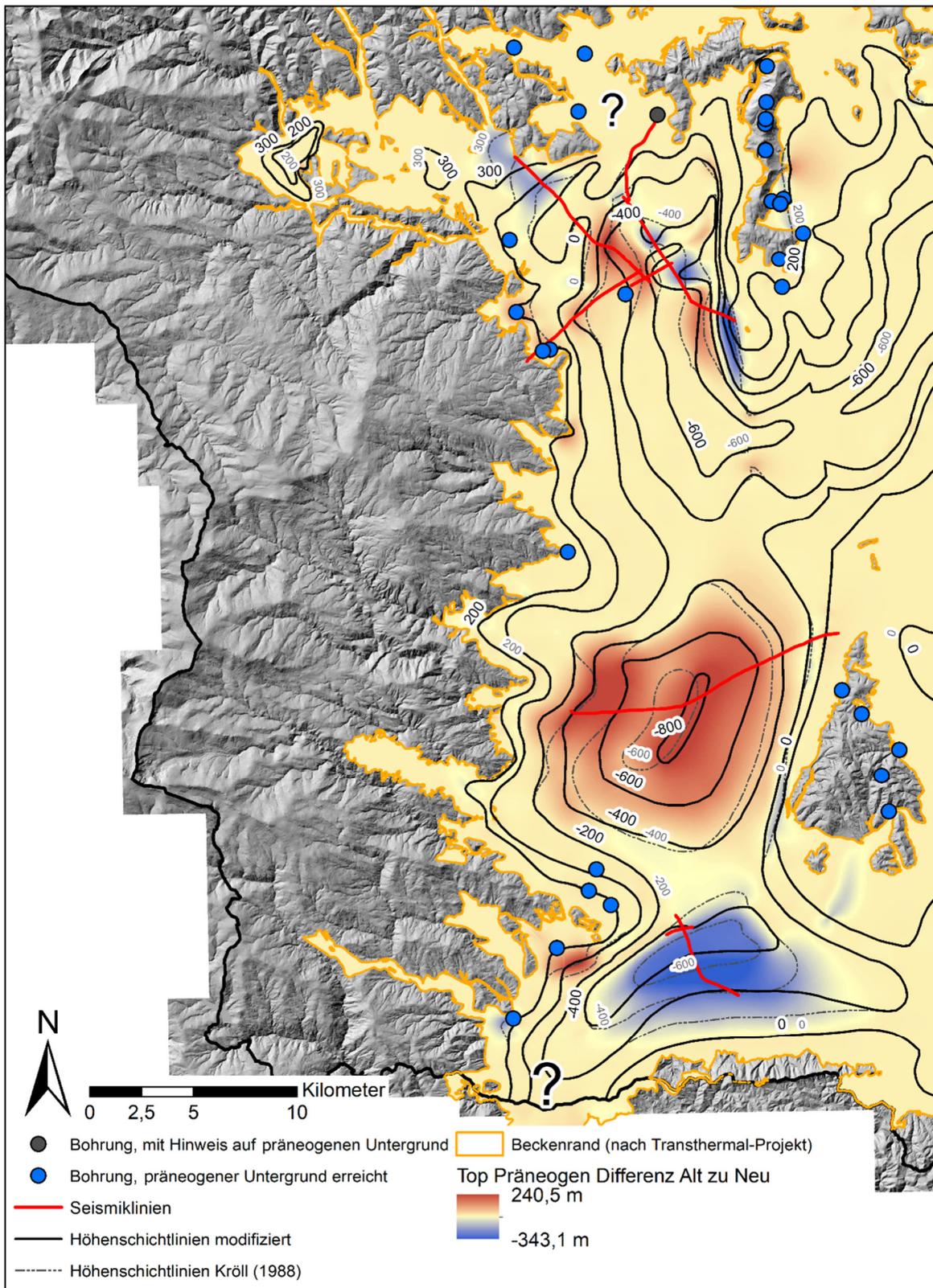


Abbildung 15: Differenz der ursprünglichen (Kröll 1988) und der neu-berechneten Oberfläche des präneogenen Untergrundes (alte Oberfläche minus neuer Oberfläche). Negative Werte (blaue Farbgebung) deuten Bereiche an, die anhand der Neumodellierung seichter geworden sind; positive Werte (rote Farbgebung) zeigen Bereiche, die tiefer geworden sind. Bereiche, die sich nicht bzw. kaum verändert haben, weisen Werte um 0 auf und sind in gelblich-beiger Farbe gehalten.

6.2 Interner Beckenaufbau

Basierend auf Bohrungsdaten und 11 Seismik-Profilen wurde der Aufbau des Weststeirischen Beckens charakterisiert. Abbildung 2 und Anlage 4.1 zeigen die Lage aller Seismik-Profile. Anlage 3.1 bis 3.5 zeigen alle 11 Seismik-Profile mit und ohne Interpretation im Maßstab 1:25.000. Die Bohrprofile sind als Anlage 5.2 beigefügt.

6.2.1 Lithostratigraphie der Bohrungen

6.2.1.1 Einführung

Basierend auf der Besichtigung des Bohrkernlagers Ebersdorf (Universalmuseum-steirisches Bohrkernarchiv, Grazerstraße 69, 8061 Ebersdorf) sowie der Geländebegehung wurden die erbohrten neogenen Sedimente miteinander korreliert und nach Möglichkeit lithostratigraphisch einer obertägig aufgeschlossenen Formation zugeordnet. Dabei handelt es sich um einen ersten Versuch einer lithostratigraphischen Beschreibung der Beckenfüllung. Diese Beschreibung basiert ausschließlich auf den Lithologien und ist daher oft nur als grobe Gliederung zu verstehen. Lithostratigraphische Zuordnungen waren v.a. für die seichteren Schichten möglich. Die tieferen Schichten in den Bohrungen sind meist obertägig nicht aufgeschlossen. Schichten ohne potentielle Aufschlussäquivalente wurden daher keine Formationsnamen, sondern rein lithologische Namen zugeordnet.

Die Beckenfüllung des Weststeirischen Beckens lässt sich in Sedimente der „Synrift“-Phase und Sedimente der „Postrift“-Phase trennen. Die Synrift-Phase ist gekennzeichnet durch eine rasche Absenkung des Beckenuntergrundes. Die Synrift-Phase fand während des Ottangiums und Karpatiums statt (Ebner & Sachsenhofer 1991; siehe Abbildung 16 für einen stratigraphischen Überblick). Mögliche ottangische sowie karpatische Schichten werden als Präbadenum zusammengefasst. Die „Postrift“-Phase fand während des Badeniums und möglicherweise auch Sarmatiums statt. Die Absenkung des Beckenuntergrundes während der „Postrift“-Phase war langsamer, erfasste jedoch größere Bereiche (Ebner & Sachsenhofer 1991).

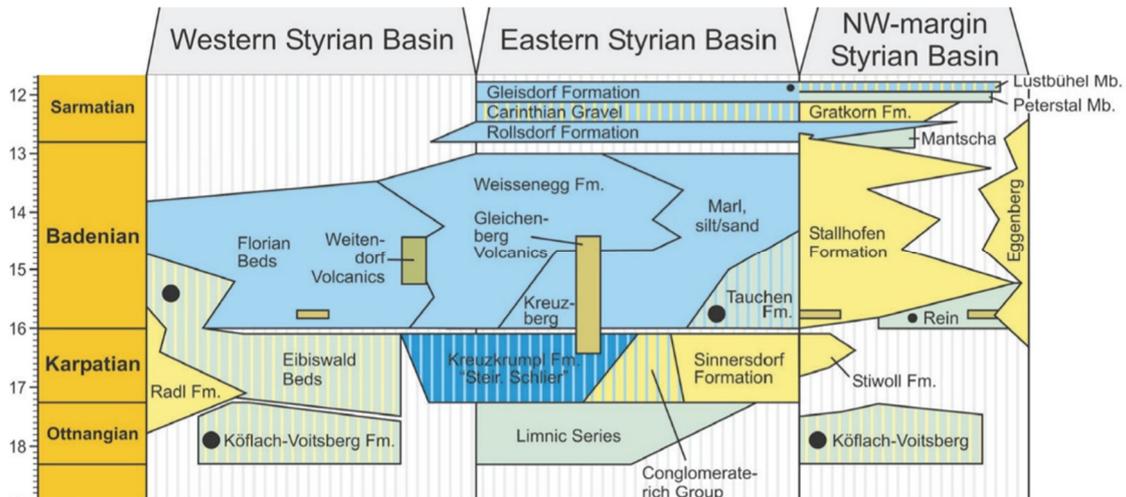


Abbildung 16: Ausschnitt aus der Stratigraphie des Steirischen Beckens. Modifiziert nach Groß (2015).

6.2.1.2 GKB 2 (Bohrung Söding 1)

- Koraln-Kristallin** (Endteufe in 736,50 m – 724,30 m MD (=Measured Depth))
 Söding 1 erbohrte das Präneogen in Form eines Schiefer-Gneises mit eingesprengten Granaten.
- Basiskonglomerate** (724,30 m – ca. 520 m MD)
 Die Bohrung Söding 1 erbohrte an der Basis des Neogens etwa 200 m mächtige Konglomerate (Abbildung 17). Das Vorkommen dieser Basiskonglomerate beschränkt sich auf die tiefen Bereiche des Liebocher Beckens. Es gibt daher keine obertägigen Vergleiche oder Äquivalente. Zeitlich sind die Basiskonglomerate ins Präbadenum einzuordnen (Karpatium und evtl. Ottnangium). Damit sind sie zeitlich äquivalent zur Köflach-Voitsberg Formation und der Stiwooll Formation. Lithologisch lassen sich die Basiskonglomerate aber mit keiner dieser Formationen vergleichen. Die Basiskonglomerate bestehen aus gut gerundeten Quarz- und Kristallin-Komponenten. Flügel (1975) beschreibt auch Gosau Sandsteine, Lydite und Pegmatite. In den Konglomeraten treten auch tonige und sandige Zwischenschichten auf.
 Die Basiskonglomerate der Bohrung Söding 1 werden mit jenen 80 m mächtigen Konglomeraten in der Bohrung Krottendorf (GKB 1) verglichen, die dort über einem basalen, 25 m mächtigen, Schotter-untermengten Roterde Horizont liegen. Vergleichbare Basiskonglomerate treten vermutlich auch im Florianer

Becken über dem Präneogen auf. Tiefbohrungen im Florianer Becken, die das bestätigen könnten, fehlen jedoch.

- **Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht (Ca. 520 m – ca. 240 m MD)**

Der mittlere Tiefenbereich der Bohrung von etwa 240 m bis 520 m MD besteht aus Wechsellagerungen von Konglomeraten und Sandsteinen. Stellenweise sind Tonsteine eingeschaltet. Zeitlich sind diese Gesteine ins Karpatium und Badenium einzuordnen. Für die karpatischen Anteile der Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht sind keine äquivalenten Formationen bekannt. Die badenen Anteile könnten möglicherweise den basalen Teilen der Stallhofen-Formation („coarse and fine Basis Member“ in Ebner & Stingl 1988) entsprechen. Vergleichbare Gesteinsabfolgen wurden z.B. auch in folgenden Bohrungen angetroffen:

- Mooskirchen 1
- Mooskirchen 2
- GKB 1 (Krottendorf 1)
- Bohrloch 830 (Zirknitz)



Abbildung 17: Konglomerat aus der Bohrung Söding 1 aus einer Tiefe von ca. 610 m.

- **Stallhofen Formation (ca. 240 m MD – GOK bzw. Quartär)**

Die Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht geht im Hangenden graduell in Glimmersande- und Tone über, die eine Mächtigkeit von etwa 240 m ausmachen und bis zum Quartär reichen. Darin eingeschaltet sind einzelne Schotter bzw. Konglomeratlagen (Abbildung 18) mit Mächtigkeiten bis knapp 3 m und geringmächtige Kalkknoten. Die Glimmersande und Tone (Abbildung 19) sowie deren Einschaltungen können der badenen Stallhofen Formation zugeordnet werden, welche großräumig an der Geländeoberkante aufgeschlossen ist. Diese Sedimente bilden in weiten Teilen des Liebocher Beckens die oberste Einheit und wurden daher auch in zahlreichen anderen Bohrungen angetroffen, wie z.B.:

- Mooskirchen 1 & 2
- Krottendorf 1
- Zirknitz 1
- Bohrloch 804 und 805



Abbildung 18: Schotter aus der Bohrung Söding 1 aus einer Tiefe von ca. 150 m.

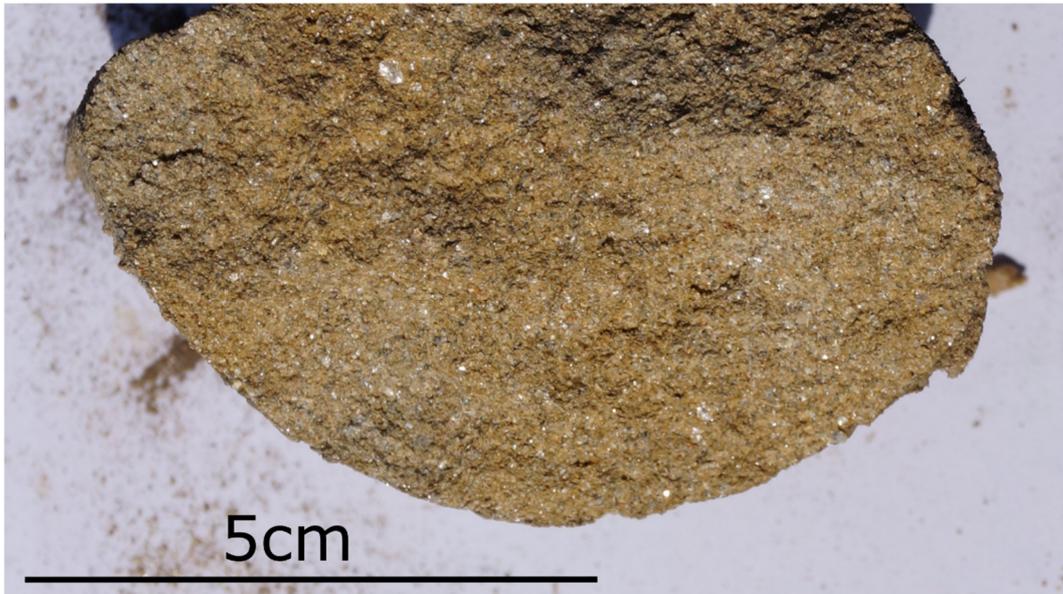


Abbildung 19: Glimmersande der Stallhofen Formation aus der Bohrung Söding 1 aus einer Tiefe von ca. 100 m.

6.2.1.3 Bohrung Mooskirchen 1

Die Bohrung Mooskirchen 1 befindet sich ca. 1,4 km SSW von der Bohrung Söding 1 entfernt und erbohrte vergleichbare Sedimente.

- **Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht** (Endteufe in 451,20 m – ca. 270 m MD)
Die tieferen Bereiche der Bohrung Mooskirchen 1 werden von Sanden/Sandsteinen und Schottern/Konglomeraten gebildet. Da die lithostratigraphische Zuordnung dieser Gesteine unklar ist, wird diese Abfolge in Analogie zur Bohrung Söding 1 als „Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht“ bezeichnet. Basierend auf der Situation im Bereich der Bohrung Söding 1, wo Seismik Daten Hinweise auf die Karpatium-Badenium Grenze geben, müsste der überwiegende Anteil der Konglomerat-Sandstein-Zwischenschicht in der Bohrung Mooskirchen 1 dem Badenium zugeordnet werden.
- **Stallhofen Formation** (ca. 270 m MD – GOK bzw. Quartär)
Die obersten etwa 270 m bilden, wie in der Bohrung Söding 1, Tone und Sande, welche der Stallhofen Formation zugeordnet werden können.

6.2.1.4 Bohrung Mooskirchen 2

Die Bohrung Mooskirchen 2 befindet sich ca. 1,8 km SW von der Bohrung Mooskirchen 1 sowie 3,2 km SW von der Bohrung Söding 1 entfernt und erbohrte vergleichbare Gesteine wie die beiden Bohrungen.

- **Konglomerat-Sandstein-Zwischenschicht** (370,00 m - 273,50 m MD)
In Analogie zur Bohrung Söding 1 werden Sandsteine und Konglomerate, welche nicht lithostratigraphisch zugeordnet werden können, als Konglomerat-Sandstein-Zwischenschicht bezeichnet.
- **Stallhofen Formation** (273,50 m MD – GOK bzw. Quartär)
Sandiger Lehm, Tone und Sande können der Stallhofen Formation zugeteilt werden (Vergleiche Bohrungen Mooskirchen 1 und Söding 1).

6.2.1.5 Bohrloch 830 (Zirknitz)

Bohrloch 830 ist die südlichste Bohrung im Liebocher Becken und befindet sich 4,2 km südlich von der Bohrung Mooskirchen 2. Die Bohrung ist aufgrund der großen Entfernung zu den anderen Bohrungen sowie zu den Seismik Profilen schwer zu korrelieren. Eine lithostratigraphische Zuordnung ist ebenso weitgehend schwierig.

- **Kristallinschutt** (Endteufe in 409,95 m – 366,50 m MD)
Im Bohrlochtiefsten erreichte die Bohrung Kristallinschutt mit wenig gerundeten Komponenten in sandig-toniger Matrix. Der Kristallinschutt kann aufgrund seiner Grobkörnigkeit und geringen strukturellen Reife der „Synrift“-Phase, und damit dem Prä-Badenium, zugeordnet werden. Es sind keine potentiellen Aufschluss-Äquivalente des Kristallinschutts bekannt.
- **Sand** (366,50 m – 228,00 m MD)
Der Kristallinschutt wird von einer Sand-dominierten Abfolge dominiert. In die Sande sind Tone, Tonmergel und Gerölllagen eingeschaltet. Die lithostratigraphische Zuordnung ist unklar.
- **Stallhofen Formation** (228,00 m – GOK bzw. Quartär)
Wechsellagerungen von Sanden und Tonmergeln bilden die höchste Einheit. Diese Sedimente entsprechen wahrscheinlich der Stallhofen Formation, welche auch die Oberflächengeologie im Bereich der Bohrung Zirknitz 1 ausmacht.

6.2.1.6 Bohrloch 804

- **Koraln-Kristallin** (Endteufe in 147,00 m – 140,00 m MD)
An der Basis von Bohrloch 804 wurde stark verwittertes Koraln-Kristallin erbohrt.
- **Stallhofen Formation** (140,00 m MD – GOK bzw. Quartär)
Über dem Kristallin lagern v.a. Tone, gefolgt von Sanden und Kiesen, welche der Stallhofen Formation zugeordnet werden.

6.2.1.7 Bohrloch 805

- **Koraln-Kristallin** (Endteufe in 78,70 m – 71,00 m MD)
Bohrloch 805 erreichte den präneogenen Beckenuntergrund in Form des Koraln-Kristallins in einer Tiefe von 71,00 m.
- **Stallhofen Formation** (71,00 m MD – GOK bzw. Quartär)
Das Neogen aus Sanden, Schottern sowie Tonen wird der Stallhofen Formation zugeordnet.

6.2.1.8 Bohrloch 806

- **Koraln-Kristallin** (Endteufe in 118,00 m – 111,00 m MD)
Bohrloch 806 erbohrt den präneogenen Beckenuntergrund in Form des Koraln-Kristallins in 111,00 m Tiefe.
- **Stallhofen Formation** (111,00 m MD – GOK bzw. Quartär)
Das Neogen in Bohrloch 806 besteht aus Tonen und Sanden mit eingeschalteten Schotterlagen und wird der Stallhofen Formation zugeordnet.

6.2.1.9 Bohrung GKB 1 (Krottendorf 1)

- **Koraln-Kristallin** (Endteufe in 254,00 m – 223,80 m MD)
- **Schotter-untermengter Roterdehorizont** (223,80 m – 198,00 m MD)
Über dem präneogenem Beckenuntergrund in der Bohrung Krottendorf 1 liegen 25 m mächtige, Schotter-untermengte Roterdehorizonte (Flügel 1975). Diese werden der Synrift-Phase zugeordnet, da es sich vermutlich um eine lokale Grabenfüllung handelt.
- **Basiskonglomerate** (198,00 m – ca. 120,00 m MD)

Über den Roterdehorizonten folgen 80 m mächtige Konglomerate. Bei den Komponenten handelt es sich v.a. um Quarz und kristalline Gesteine. Daneben treten auch Gosau Sandsteine und Lydite auf (Flügel 1975). Diese Konglomerate werden mit den Basiskonglomeraten der Bohrung Söding 1 korreliert und daher ins Karpatium gestellt.

- **Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht** (Ca. 120,00 m – ca. 60,00 m MD)

Eine 60 m mächtige Wechsellagerung aus Sandsteinen, Konglomeraten, Schiefertönen, Süßwassermergel und Süßwasserkalken (Flügel 1975) ist mit der Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht der Bohrung Söding 1 vergleichbar. Das Alter der Abfolge ist nicht eindeutig bestimmbar. Es ist aber von einem überwiegend badenen Alter auszugehen.

- **Stallhofen Formation** (Ca. 60 m MD – GOK bzw. Quartär)

Die obersten Sande und Schotter können der Stallhofen Formation zugeordnet werden, welche im Bereich von Krottendorf 1 die Oberflächengeologie ausmacht.

Das in Anlage 5.2 beigefügte Bohrprofil von Krottendorf 1 ist unvollständig. Zusätzliche Informationen über die Bohrung finden sich in Ebner & Sachsenhofer (1991), Flügel (1975) und Kollmann (1965).

6.2.1.10 (Steinberg) Ersatzbrunnen 2

- **Eggenberg Formation** (Endteufe in 212,00 m bis 200,00 m MD)

An der Basis der Bohrung wurde eine rötliche, stark kalkhaltige Brekzie erbohrt, die bereits im Bohrprofil als „Eggenberger Brekzie“ identifiziert wurde. Aufgrund der charakteristischen Lithologie ist eine Zuordnung zur Eggenberg Formation eindeutig.

- **Rein Formation** (200,00 m bis 122,00 m MD)

Überlagert wird die Eggenberger Brekzie von einer Abfolge aus Kiesen, Sanden, Schluffen, Tonen und Mergel. Die Kiese und Sande treten besonders in den tieferen Teilen auf. Nach oben hin nimmt die Korngröße ab und es dominieren Tone, Schluffe und Mergel. Aufgrund der Dominanz von feinkörnigen Sedimenten und dem Auftreten zahlreicher Mergel, besonders in einer Tiefe von 144 m – 122 m, wird diese Abfolge der Rein Formation zugeordnet. Das Fehlen von Kohle deutet auf die Obere Rein Formation.

- **Eckwirt Subformation (Stallhofen Formation)** (122,00 m MD bis GOK)

Bei 122 m MD tritt eine scharfe Korngrößenzunahme auf. Von da an dominieren mächtige Schotter- und Sandlagen. Mächtige badene Schotter im Liebocher Becken sind typisch für die Eckwirt Subformation der Stallhofen Formation (siehe Abbildung 20), welche auch im Bereich der Bohrung die Geologie an der Oberfläche ausmacht.



Abbildung 20: Schotter der Eckwirt Subformation aufgeschlossen am Lobmingberg (Ca. N47°04'36", E15°09'59')

Hinweise auf den präneogenen Beckenuntergrund

Steinberg Ersatzbrunnen 2 erreichte nicht das Präneogen; lieferte jedoch Hinweise auf dessen ungefähre Tiefenlage. Die Bohrung erreichte die Eggenberg Formation, welche sich am Beckenrand in unmittelbarer Nähe zum anstehenden paläozoischen Grundgebirge bildet. Daher wird angenommen, dass unterhalb der Eggenberg Formation das Präneogen in Form des Paläozoikums folgt. Es wurde eine Mächtigkeit der Eggenberg Formation von 50 m angenommen.

„Steinberg Ersatzbrunnen 2 (Nord)“ vs. „Steinberg Ersatzbrunnen 2 (Süd)“

Im Bericht Binder et al. (2021) werden zwei Steinberg Ersatzbrunnen genannt („Nord“ und „Süd“). Dies war ein Irrtum, der auf der Existenz von zwei Einträgen im GIS Steiermark mit unterschiedlichen Koordinaten und zwei Bohrprofilen basierte. Eines der Bohrprofile endet in 204 m Tiefe (GIS-Inventarnummer 165511); während das andere die Endteufe bei 212 m Tiefe beschreibt (167884). Bei Überprüfung der Bohrprofile zeigte sich, dass die Lithologien ident sind und es sich um dieselbe Bohrung handeln muss. Die korrekte Lage der Bohrung sowie das vollständige Bohrprofil sind mit der Inventarnummer 167884 versehen (ehemals als „Steinberg Ersatzbrunnen II Nord“ bezeichnet).

Korrelationen mit anderen Bohrungen

Die erbohrten Sedimente der Bohrung Steinberg Ersatzbrunnen 2 können mit den erbohrten Gesteinen der südwestlich liegenden Bohrungen Brunnen Steinberg 1, Bohrloch 832 und Bohrloch 833 bis zu einer gewissen Tiefe korreliert werden.

6.2.1.11 Brunnen Steinberg 1

Brunnen Steinberg 1 liegt 1,4 km südwestlich von Steinberg Ersatzbrunnen 2 und wurde bis zu einer Tiefe von 131,50 m abgeteuft.

- **Rein Formation** (Endteufe in 131,50 m bis 123,30 m MD)
Die erbohrten Tone werden in Analogie zur Bohrung Steinberg Ersatzbrunnen 2 der Rein Formation zugeordnet.
- **Eckwirt Subformation (Stallhofen Formation)** (123,30 m MD – GOK)
Über den Tonen liegen in Analogie zum Steinberg Ersatzbrunnen 2 mächtige Schotterlagen, die der Eckwirt Subformation der Stallhofen Formation zugeordnet werden können. Die Eckwirt Subformation ist auch die in jenem Gebiet obertägig anstehende Formation.

6.2.1.12 Bohrloch 832

Bohrloch 832 liegt 30 m von Brunnen Steinberg 1 entfernt. Laut dem vorhandenen Bohrprofil wurde die Bohrung bei 188,60 m aufgrund technischer Probleme eingestellt.

Im Kernlager Ebersdorf ist Kernmaterial aus einer Tiefe von bis zu 252,55 m vorhanden, welches dem Bohrloch 832 zugeschrieben wird. Es wurde beschlossen, für die Seismikinterpretation und die Modellierung des präneogenen Beckenuntergrundes jedoch nur die durch das Bohrprofil abgesicherte Tiefe zu berücksichtigen.

- **Rein Formation?** (Endteufe (?)/Ende des Bohrprofils in 188,60 m bis 124,40 m MD)
Bohrloch 832 erbohrte an der Basis Sande und Schotter, die von Tonmergeln mit einer eingeschalteten Bentonitlage überlagert werden. In Analogie zu den nahegelegenen Bohrungen Steinberg Brunnen 1 und Steinberg Ersatzbrunnen 2 können die Tonmergel der Rein Formation zugeordnet werden. Die Zuordnung der basalen Schotter und Sande ist unklar.
- **Eckwirt Subformation (Stallhofen Formation)** (124,40 m MD – GOK)
Schotter und Sande über den Tonmergeln können aufgrund derer Position und Lithologie der Eckwirt Subformation der Stallhofen Formation zugeordnet werden. Dies ist wiederum analog zu benachbarten Bohrungen.

6.2.1.13 Bohrloch 833

- **Eckwirt Subformation (Stallhofen Formation)** (Endteufe in 66,60 m MD – GOK)
Mächtige Sand- und Schotterlagen von der Endteufe bis zur GOK sind Teil der Eckwirt Subformation der Stallhofen Formation. Dies ist in Analogie zu den nordöstlich liegenden Bohrungen Brunnen Steinberg 1, Bohrloch 832 und Steinberg Ersatzbrunnen 2.

6.2.1.14 Bohrloch 820 (Stiwoll)

Bohrloch 820 liegt am nördlichen Rand des Weststeirischen Beckens ca. 3,5 km westlich von Bohrloch 822 und ca. 4,4 km nordwestlich von Bohrloch 821.

- **Grazer Paläozoikum** (Endteufe in 135,00 m bis 108 m MD)
Bohrloch 820 erreichte an der Basis den präneogenen Beckenuntergrund in Form von Kalksteinen des Grazer Paläozoikums.
Weiters wurde in ca. 94 m Tiefe ein Kalksteinblock erbohrt, der lithologisch mit den dunkelgrau-blauen Kalksteinen des präneogenen Beckenuntergrundes vergleichbar ist. Eine Probe dieses Kalksteins wurde an Dr. Bernhard Hubmann

(Universität Graz) übergeben, welcher den Kalkstein der Kollerkogel Formation der Rannach Fazies zuordnet.

- **Stiwoll Formation** (108,00 m – 36,50 m MD)

Oberhalb des Präneogens liegt ein karbonatisch zementiertes Konglomerat bestehend aus Karbonatkomponenten, von denen einzelne herausgelöst wurden (Abbildung 21). Dabei handelt es sich um die Stiwoll Formation. Zum Teil sind in die Konglomerate siltige Mergel eingeschaltet.

- **Rein Formation** (36,50 m MD – GOK)

Über den Konglomeraten liegt eine siltig, tonig, mergelige Abfolge. Aufgrund der feinkörnigen Sedimente und der zahlreichen Mergellagen wird die gesamte Abfolge der Rein Formation zugeordnet (Vergleiche z.B. Steinberg Ersatzbrunnen 2). Die Rein Formation bildet ebenso die Geologie an der GOK im Bereich der Bohrung.



Abbildung 21: Konglomerat der Stiwoll Formation aus Bohrloch 820.

6.2.1.15 Bohrloch 821 (Jaritzberg)

- **Grazer Paläozoikum** (Endteufe in 109,50 m bis 97,50 m MD)

Die Bohrung erreichte den präneogenen Beckenuntergrund in Form von gelbbraunen Flaserkalken des Grazer Paläozoikums, die im Bohrprofil, erstellt von F. Ebner, J. Flack und I. Fritz, der Kehr Formation der Rannach Fazies zugeordnet werden.

- **Rein Formation** (97,50 m MD – GOK)

Das Neogen der Bohrung wird charakterisiert von feinkörnigen, öfters mergeligen Sedimenten, in denen auch vereinzelte Lagen von Süßwasserkalken vorkommen. Dies spricht für eine Zuordnung zur Rein Formation. Auffallend ist jedoch auch, dass stellenweise Geröll-Lagen auftreten. Die nächste aufgeschlossene Formation im Bereich der Bohrung ist die Rein Formation.

Anmerkung zu den Bohrprofilen

Für das Bohrloch 821 existieren zwei Bohrprofile (siehe Anlage 5.2): ein schriftliches, äußerst detailliertes Bohrprofil, aufgenommen von F. Ebner, J. Flack und I. Fritz (1.10.1985), sowie ein sehr vereinfachtes Lithologie-Log. Die Bohrprofile widersprechen sich in der Beschreibung des Beckenuntergrundes. Das vereinfachte Lithologie-Log beschreibt an der Basis der Bohrung Konglomerat. Das schriftliche Bohrprofil beschreibt hingegen Flaserkalk des Grazer Paläozoikums. Der Bohrkernlager-Besuch bestätigte letzteres.

Im Allgemeinen erwiesen sich die schriftlichen Bohrprofile beim Bohrkernlagerbesuch, dort wo das Kernmaterial mit den Bohrprofile verglichen wurde, als verlässlich.

6.2.1.16 Bohrloch 822 (Eisbach)

- **Grazer Paläozoikum** (Endteufe in 226,70 m – 190,7 m MD)

Die Bohrung endete in Kalksteinen des Grazer Paläozoikums, wie auch der Bohrkernlagerbesuch bestätigte.

- **Rein Formation oder Eckwirt Subformation (Stallhofen Formation)?** (190,7 m bis 20,70 m MD)

Die genaue Zuordnung weiter Teile der Bohrung 822 ist unklar. Es wechseln Tone, die zum Teil mergelig sind, mit Schotter-dominierten Bereichen ab. Dabei könnte es sich um eine Verzahnung aus Eckwirt Subformation (Stallhofen Formation) und Rein Formation handeln.

- **Eckwirt Subformation** (20,70 m – GOK)

Die obersten etwa 20 m der Bohrung können eindeutig der Eckwirt Subformation zugeordnet werden.

6.2.2 Interpretation der Seismikprofile

In den folgenden Abschnitten werden die Teilbecken anhand der Seismikprofile charakterisiert. Teil der Beschreibung sind die Beckengeometrie, der präneogene Beckenuntergrund, die Tektonik sowie die Beckenfüllung. Sämtliche seismische Profile sind in den Anhängen 3.1-3.5 maßstabsgetreu dargestellt. Im nachfolgenden Text dienen die Abbildungen nur zum Verständnis der ausgeführten Beschreibungen.

6.2.2.1 Liebocher Becken

Beckengeometrie & Präneogen

Das Liebocher Becken zeigt eine starke Asymmetrie mit einer flachen Westflanke (SO2101 und SO2102, siehe Abbildung 22) und einer steilen Ostflanke (HI8902, siehe Abbildung 23), an der die Beckentiefe rasch in Richtung Mittelsteirische Schwelle abnimmt. Das Becken ist bis zu ca. 1000 m tief. Das Beckentiefste entlang der Seismikprofile befindet sich im Schnittpunkt der Linien HI8701 und HI8902 (Abbildung 23).

Der präneogene Beckenuntergrund zeigt oft ein ausgeprägtes Relief. Im Südwesten des Seismikprofils SO2101 (Abbildung 22) sind mehrere Grundgebirgsblöcke zu sehen, welche von Störungen begrenzt werden. Durch diese Störungsblöcke entstanden lokalen Halbgräben. Auch im Beckenzentrum, entlang der Linie HI8710 (Abbildung 23), sind Hochzonen des Beckenuntergrundes sichtbar. Im Profil SO2103 (Abbildung 24) trennt ein Hoch den randlichen Beckenbereich vom restlichen Liebocher Becken.

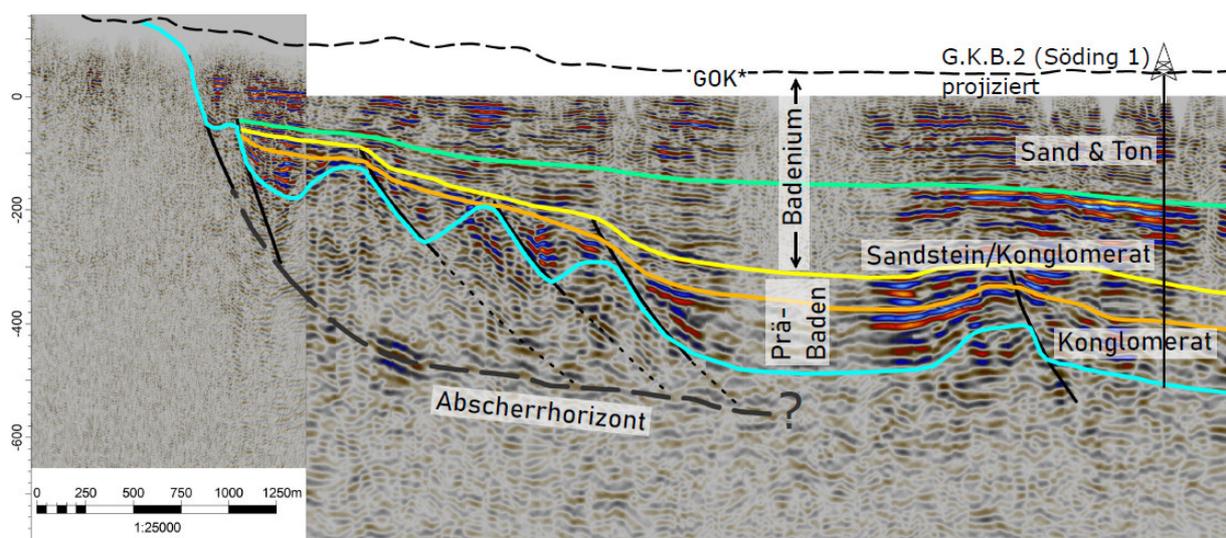


Abbildung 22: Seismik-Profile SO2102 (links) und SO2101 (rechts). Links: Südwesten; rechts: Nordosten. Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms]. Der türkise Horizont stellt die Oberkante des Präneogens dar. Siehe auch Anlage 3.1.

Die Vorstellung über den präneogenen Beckenuntergrund wurde durch die von Flügel (1988) veröffentlichte Karte geprägt. In jener Karte ist der Beckenuntergrund geprägt von Gesteinen des Koralm-Kristallins. Im Bereich der Bohrungen Söding 1 und Krottendorf 1 wurden diese Gesteine auch nachgewiesen. Für weite Bereiche des Liebocher Beckens stimmen die Annahmen von Flügel (1988) nach derzeitigem Wissensstand. Es gibt jedoch in den seismischen Daten Hinweise, dass sich im Norden und im Nordosten das Grazer Paläozoikum weiter im präneogenen Beckenuntergrund fortsetzt als von Flügel (1988) angenommen (siehe Abbildung 23 und Abbildung 24).

Im Norden des Liebocher Beckens unterlagern die Sedimentgesteine der Kainacher Gosau das Neogen (siehe SO2201 in Abbildung 24). Die Gesteine der Kainacher Gosau werden vom Grazer Paläozoikum unterlagert. Im Seismikprofil äußert sich die Grenze zwischen Kainacher Gosau und Grazer Paläozoikum als Winkeldiskordanz. Die Sedimentgesteine der Kainacher Gosau zeigen hoch-frequente (dünne) Reflektoren mit scheinbarem Einfallen nach Südosten. Das vermutete Grazer Paläozoikum zeigt niedrig-frequente (breite) Reflektoren, die unterhalb der Gosau horizontal liegen bzw. scheinbar nach Nordwesten einfallen (Abbildung 24).

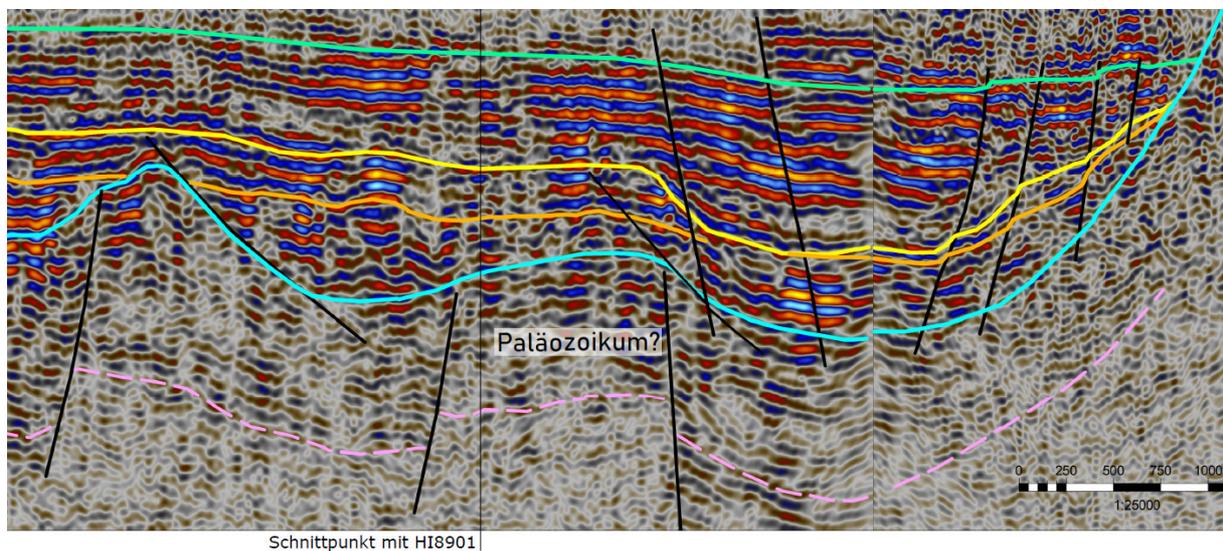


Abbildung 23: Ausschnitt aus den Seismik Profilen HI8701 und HI8902. Links: Nordwesten; rechts: Südosten. Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms] und reicht von etwa 100 ms am oberen Bildrand bis zu 1060 ms an der unteren Kante des Profils. Der türkise Horizont stellt die Oberkante des präneogenen Beckenuntergrundes dar. Zwischen türkischem und rosa Horizont wird das Grazer Paläozoikum vermutet. Siehe auch Anlage 3.3.

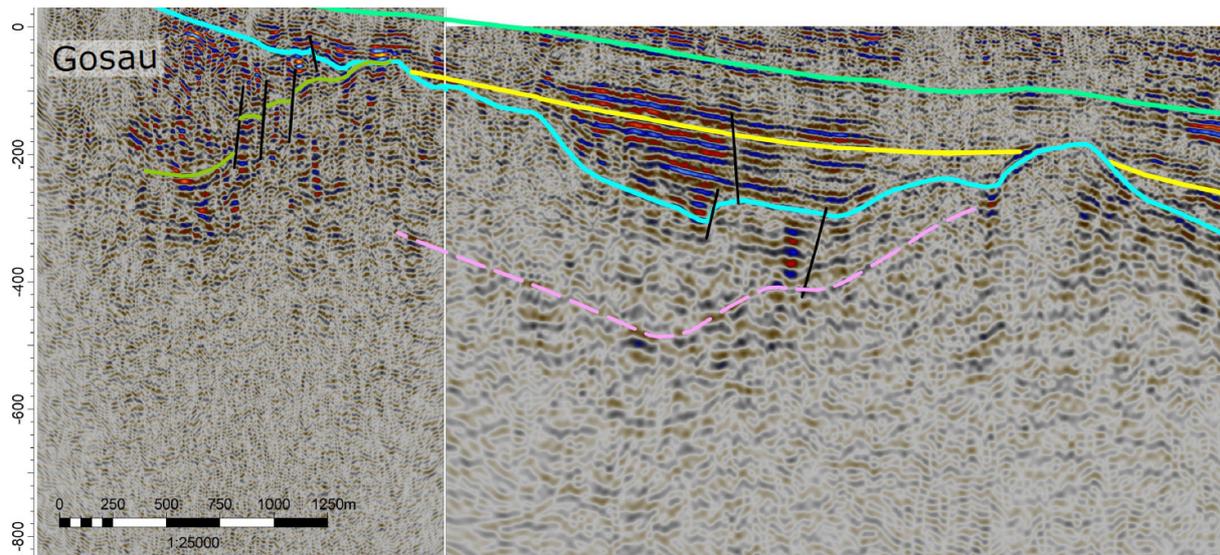


Abbildung 24: Ausschnitt aus den Seismik Profile SO2201 (links) und SO2103 (rechts). Links: Nordwesten; rechts: Südosten. Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms]. Der türkise Horizont stellt die Oberkante des Präneogens dar. Der olivgrüne Horizont die Basis der Kainacher Gosau. Darunter liegt das Grazer Paläozoikum. Die Unterkante des Grazer Paläozoikums (= Oberkante des Kristallins) wird durch den strichlierten rosa Horizont dargestellt wird. Siehe auch Anlage 3.2.

Am Westrand des Beckens stehen die neogenen Schichten normal an den Gesteinen des präneogenen Beckenuntergrundes an (Abbildung 22). Im Osten hingegen wurden die Sedimente der Synrift-Phase mit der Hebung der Mittelsteirischen Schwelle mitverschleppt (Abbildung 23). Dies indiziert eine Hebung der Mittelsteirischen Schwelle an der Karpatium-Badenium Grenze bzw. bis ins frühe Badenium.

Tektonik

Es sind in den Seismik-Daten vier Generationen an Störungen sichtbar. Störungen die sich auf den präneogenen Beckenuntergrund beschränken, das heißt, Störungen die auch ein präneogenes Alter aufweisen, bilden die erste Generation (siehe z.B. HI8701 und HI8902 in Abbildung 23).

Die zweite Generation der Störungen bildete sich synsedimentär während der Synrift-Phase. Diese Abschiebungen waren das Ergebnis der Extension in der Erdkruste, welche die Beckenbildung bewirkte. Durch die fortlaufende Extension wurden die Synrift-Störungen rotiert, sodass diese ein relativ flaches Einfallen aufweisen. Die Störungen begrenzen Blöcke des Grundgebirges und enden vermutlich in einem Abscherhorizont innerhalb des Beckenuntergrundes. Dieses tektonische Modell wird

am besten in den Profilen SO2101 und S02102 (Abbildung 22) verdeutlicht. Die Aktivität der Synrift-Störungen stoppte mit dem Ende der krustalen Extension und zeigt das Ende der Synrift-Phase an. Die Karpatium-Badenium Grenze wurde in der Seismik daher anhand der Synrift-Störungen sowie der Position einer erosiven Struktur („Incised Valley“, siehe weiter unten bei „Beckenfüllung“) bestimmt.

Die dritte Generation an Störungen beschränkt sich auf die Mittelsteirische Schwelle. Die Hebung der Schwelle an der Karpatium-Badenium Grenze resultierte in Abschiebungen entlang der Schwelle. Am Westrand der Mittelsteirischen Schwelle fallen diese Störungen nach Osten ein (siehe HI8902 in Abbildung 23). Die Situation am Ostrand der Mittelsteirischen Schwelle ist aufgrund fehlender Daten unklar. Die Abschiebungen durchschlagen auch die badenen Horizonte, was eine spätere Reaktivierung der Abschiebungen indiziert.

Die vierte Generation an Störungen sind Abschiebungen der Postrift-Phase (siehe HI8701 in Abbildung 23). Diese Störungen durchschlagen das gesamte Neogen und sind vergleichsweise selten.

Beckenfüllung

Die basale Beckenfüllung besteht in weiten Bereichen des Beckens aus grobkörnigen Basisschichten, wie Bohrungs- und Seismikdaten sowie geologische Überlegungen nahelegen. Dabei handelt es sich v.a. um mächtige Konglomerate wie jene der Bohrungen Söding 1 und Krottendorf 1 (siehe Abschnitt 6.2.1.2 und 6.2.1.9). In lokalen Gräben, wie z.B. im Südwesten der Linie SO2101 (Abbildung 22), können neben Konglomeraten auch Brekzien und Kristallinschutt auftreten. Zirknitz 1 erbohrte in größerer Tiefe vermutlich solch eine lokale Grabenfüllung in Form eines mindestens 40 m mächtigen Kristallinschutts. Der Kristallinschutt besteht aus überwiegend wenig gerundeten Komponenten in einer sandig-tonigen Matrix. Weiters könnten die Schotter-untermengten Roterdehorizonte, die in der Bohrung Krottendorf 1 über dem Kristallin angetroffen worden sind, eine lokale Grabenfüllung darstellen. Die grobkörnigen basalen Sedimentgesteine sind dem Präbadenum zuzuordnen (Karpatium und möglicherweise Ottnangium). Randlich können präbadene Sedimente fehlen und der präneogene Beckenuntergrund direkt von badenen Sedimenten überlagert werden. In den seismischen Messungen verursachen die

Basiskonglomerate kräftige, niedrig frequente (breite) Reflektoren (siehe z.B. SO2101 in Abbildung 22).

Die Sedimentgesteine der Synrift-Phase werden nach oben hin feinkörniger. Die Basiskonglomerate gehen in eine Wechsellagerung von Konglomeraten und Sandsteinen sowie vereinzelte Tonsteinlagen über (siehe z.B. Bohrungen Söding 1, Mooskirchen 1 und 2 sowie Krottendorf 1 in Abschnitt 6.2.1). Diese Abfolge wird als „Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht“ bezeichnet. Die Konglomerate und Sandsteine äußern sich in den Seismik Profilen ähnlich der Basiskonglomerate in Form von kräftigen Reflektoren (siehe z.B. SO2101 in Abbildung 22).

Da die Synrift-Störungen entlang eines Horizontes innerhalb der Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht enden, wird innerhalb dieser Abfolge die Karpatium-Badenium Grenze vermutet (siehe SO2101 Abbildung 22). Ein weiterer Hinweis für die Position der Karpatium-Badenium Grenze ist ein Incised Valley entlang der Profile HI8701 und HI8902 (Der gelbe Horizont in Abbildung 23 zeigt die Karpatium-Badenium Grenze an; die „Vertiefung“ des Horizontes das Incised Valley). Ein Incised Valley ist ein breites, erosives Tal, das sich bei einem Meeresspiegel-Niedrigstand bildet. Bei Wiederansteigen des Meeresspiegels wird das Incised Valley mit Sedimenten gefüllt. Die Karpatium-Badenium Grenze ist durch solch einen Meeresspiegel Niedrigstand charakterisiert (Ebner & Sachsenhofer 1991). Das Incised Valley zeigt daher die Position der Karpatium-Badenium Grenze an. Die Position der Karpatium-Badenium Grenze – interpretiert auf Basis der Interpretation des Incised Valleys korreliert mit der aus der Störungsinterpretation abgeleiteten stratigraphischen Grenze.

Die obersten Schichten des Badeniums werden von der Stallhofen Formation gebildet und bestehen aus glimmerreichen Sanden und Tonen. Darin eingeschaltet sind mächtige Schotterlagen der Eckwirt Subformation. Die großräumige Verbreitung der Stallhofen Formation ist durch zahlreiche Bohrungen bestätigt. In randlichen Bereichen im Norden lagerten sich zeitgleich feinkörnige, limnische Sedimente - v.a. Tone - der Rein Formation ab (siehe Bohrloch 820 in Abschnitt 6.2.1.14 und Ersatzbrunnen 2 in Abschnitt 6.2.1.106.2.1.10). Die Sande und Tone des Badeniums ergeben in seismischen Messungen hochfrequente (dünne), vergleichsweise schwache Reflektoren und heben sich so von den Basiskonglomeraten und der Konglomerat-Sandstein Zwischenschicht deutlich ab (Abbildung 22).

6.2.2.2 Florianer Becken

Beckengeometrie & Präneogen

Das Florianer Becken zeigt wie das Liebocher Becken eine Asymmetrie in der Beckengeometrie mit einer flachen Westflanke (Abbildung 25) und einer steilen Ostflanke (Abbildung 26). Das Becken ist bis zu 1200 m tief. Der präneogene Beckenuntergrund ist durch ein störungsbedingtes Relief geprägt.

Die Lithologie des präneogenen Beckenuntergrundes ist unbekannt, da tiefe Bohrungen fehlen. Am wahrscheinlichsten ist, dass sich das Koralm-Kristallin im Beckenuntergrund fortsetzt. Am Ostrand des Beckens könnten Gesteine des Sausal-Paläozoikums im Beckenuntergrund vorkommen.

Tektonik

Im Florianer Becken sind, analog zum Liebocher Becken, im Seismik Profil WS1901 geologische Störungen der Synrift-Phase zu sehen. Diese synsedimentären Abschiebungen trennen den Beckenuntergrund in einzelne Störungsblöcke (Abbildung 25 und Abbildung 26). Die Störungen enden mehrheitlich auf demselben Horizont. Dieser Horizont wird daher als Top Karpatium interpretiert.

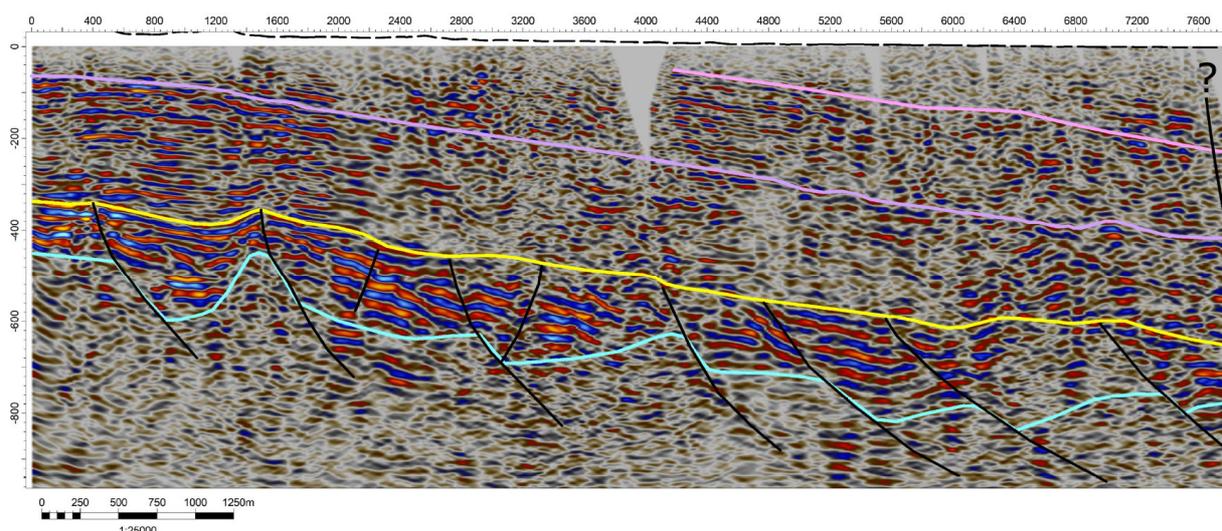


Abbildung 25: Westlicher Teil des Seismikprofils WS1901. Links: Westen; rechts: Osten. Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms]. Der türkise Horizont stellt die Oberkante des präneogenen Beckenuntergrundes dar. Der gelbe Horizont die mögliche Oberkante des Karpatiums. Siehe auch Anlage 3.4.

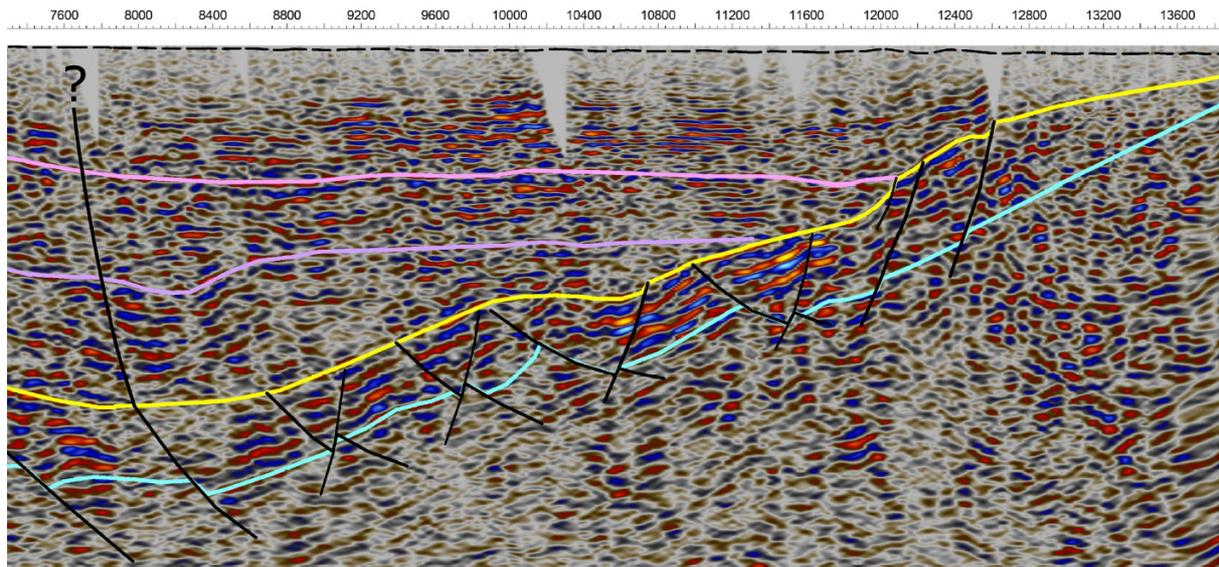


Abbildung 26: Östlicher Teil als Fortsetzung des Seismikprofils WS1901. Links: Westen; rechts: Osten. Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms] und muss von Abbildung 25 übertragen werden. Der türkise Horizont stellt die Oberkante des präneogenen Beckenuntergrundes dar. Der gelbe Horizont die mögliche Oberkante des Karpatiums. Siehe auch Anlage 3.4.

Im Osten der Linie steigt der Beckenuntergrund rasch an, was ein Ergebnis der spät-karpatischen bis früh-badenen Hebung der Sausal Schwelle ist (Abbildung 26). Bedingt durch die Hebung bildeten sich nach Westen einfallende Abschiebungen, die die Störungen der Rift-Phase durchschlagen.

Beckenfüllung

Über die neogene Beckenfüllung im Florianer Becken ist wenig bekannt, da im Becken bisher keine tiefe Bohrung abgeteuft wurde. Da es sich beim Florianer Becken um ein Rift-Becken handelt, sind typischerweise grobe Basisschüttungen wie Konglomerate und Brekzien zu erwarten. Auch die seismische Fazies, bestehend aus kräftigen und breiten Reflektoren, deutet auf grobe Basisschüttungen hin.

Die überlagernden Sedimente werden wahrscheinlich feinkörniger. Dabei handelt es sich zumindest teilweise um die Mittleren Eibiswalder Schichten welche von den Oberen Eibiswalder Schichten und Florianer Schichten überlagert werden. Für viele Schichten im Florianer Becken existieren vermutlich keine obertägigen Aufschlüsse. Welche der im Seismik-Profil WS1901 (Abbildung 25 und Abbildung 26) sichtbaren Schichten im Westen am Beckenrand ausbeißt, ist unklar, da das Seismikprofil nicht bis an den Beckenrand reicht.

6.2.2.3 Eibiswalder Becken

Beckengeometrie & Präneogen

Im Eibiswalder Becken existieren zwei Interpretationen des präneogenen Beckenuntergrundes. Die erste Möglichkeit ist in Abbildung 27 als türkis strichlierter Horizont dargestellt. Die zweite Möglichkeit ist als durchgehender türkiser Horizont dargestellt. Letztere Interpretationsmöglichkeit wird in diesem Bericht als realistischer erachtet. Bei dieser Interpretation stimmt der Trend der Beckengeometrie mit der Modellierung von Kröll (1988) überein. Das Eibiswalder Becken ist der Interpretation zufolge jedoch vermutlich seichter mit einer maximalen Tiefe von etwa 700 m. Kröll (1988) modellierte eine maximale Tiefe von etwa 900 m.

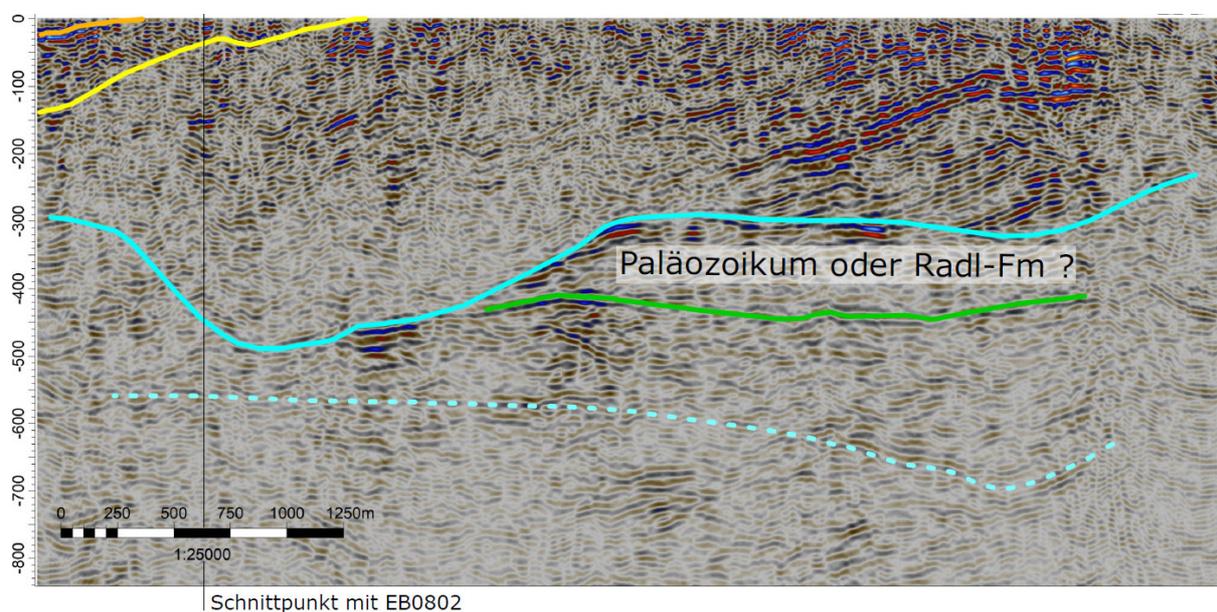


Abbildung 27: Seismik Profils EB0801. Links: Nordwesten; rechts: Südosten Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms]. Die strichlierte türkise Linie stellt die erste Interpretationsmöglichkeit des präneogenen Beckenuntergrundes dar; der durchgehende türkise Horizont die zweite Möglichkeit. Die gelbe Linie entspricht der Karpatium-Badenium Grenze. Der schwarze vertikale Strich zeigt den Schnittpunkt mit der Linie EB0802 (siehe Abbildung 28). Siehe auch Anlage 3.5.

Es gibt Hinweise im Seismik Profil EB0801, dass sich das Paläozoikum des Remschniggs im Beckenuntergrund fortsetzt (Abbildung 27). Möglicherweise besteht eine Verbindung zum Sausal Paläozoikum. Die Erdwärme-Bohrung EWS-1 erbohrte am westlichen Beckenrand zudem Grünschiefer, der Teil des Paläozoikums sein muss. Das Paläozoikum hat daher ein größeres Verbreitungsgebiet im Eibiswalder Becken als von Flügel (1988) angenommen.

Tektonik & Beckenfüllung

Die Seismikprofile zeigen unterhalb des Top Karpatium-Reflektors (gelber Horizont in Abbildung 27 und Abbildung 28) die steil einfallenden Unteren Eibiswalder Schichten. Das steile Einfallen entstand durch die Hebung des Remschniggs im Süden. Entlang der Seismik Profile fallen die Unteren Eibiswalder Schichten nach Nordwesten ein. Die Unteren Eibiswalder Schichten bestehen im Süden v.a. aus Konglomeraten. Richtung Norden nimmt die Korngröße ab und Sandsteine und Tonsteine werden häufiger.

Nebert (1983) beschreibt im Eibiswalder Becken zwischen Sulm und Saggau innerhalb der Unteren, Mittleren und zum Teil Oberen Eibiswalder Schichten vier Sedimentationszyklen. Jeder Zyklus wird zum Hangenden hin feinkörniger und beginnt mit einer „fluviatilen Phase“ bestehend aus grobklastischen Ablagerungen wie Blockschutt, Schotter und Grobsand. Diese Grobklastika gehen in Tone der „limnisch-fluviatilen Phase“ über. Dabei kann es auch zur Kohlebildung kommen, was als „telematische Phase“ bezeichnet wird. Mergel, welche in Kalke übergehen, werden als „limnische Phase“ bezeichnet und unterbrechen die Kohlebildung. Die Interpretation der Ablagerungsmilieus (fluviatil, limisch-fluviatil und limnisch) wurden mittlerweile teilweise von Stingl (1994) revidiert.

Stingl (1994) beschreibt die Radl Formation und die Unteren Eibiswalder Schichten als Ablagerungen eines Schuttfächers und Fächerdeltas. Die Grobklastika der Radl Formation entsprechen dabei dem terrestrisch abgelagerten Schuttfächer sowie den proximalen Fächerdelta-Sedimenten. Die Unteren Eibiswalder Schichten stellen die distalen Sedimente des Fächerdeltas dar. Schüttungsrichtung der Sedimente war in Richtung NNE.

Der Top Karpatium Reflektor ergibt sich aus einer ausgeprägten Winkeldiskordanz (gelber Horizont in Abbildung 28). Die Winkeldiskordanz steht vermutlich im Zusammenhang mit der Steirischen Tektonischen Phase (siehe Friebe 1991). Oberhalb der Diskordanz befinden sich die badenen Mittleren Eibiswalder Schichten, welche mit dem Wieser Flöz enden (oranger Horizont in Abbildung 27). Über dem Wieser Flöz liegen die Oberen Eibiswalder Schichten. Diese werden von den Seismik Profilen praktisch nicht mehr abgebildet.

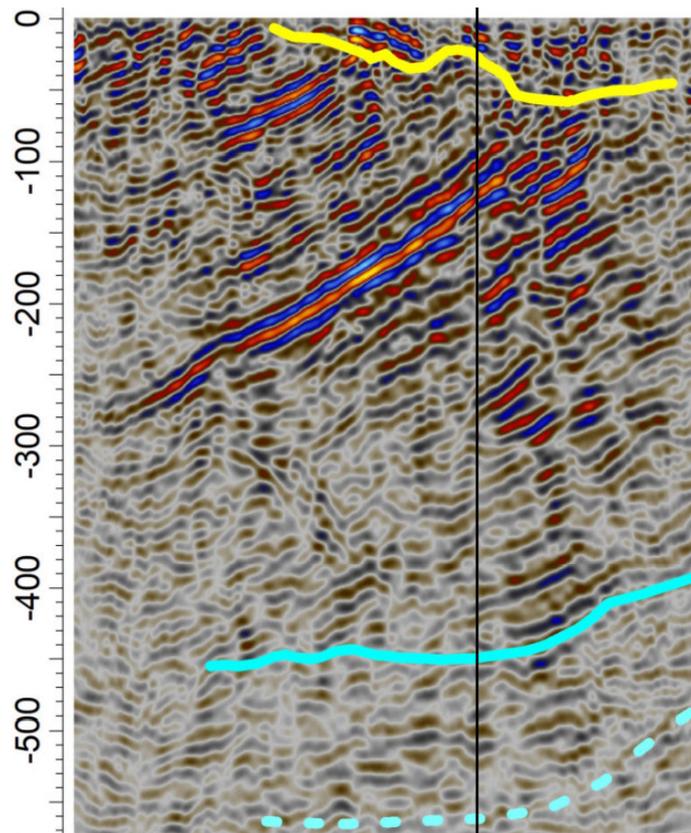


Abbildung 28: Seismik Profil EB0802. Links: Westen; rechts: Osten Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms]. Die strichlierte türkise Linie stellt die erste Interpretationsmöglichkeit des präneogenen Beckenuntergrundes dar; der durchgehende türkise Horizont die zweite Möglichkeit. Die gelbe Linie entspricht der Karpatum-Badenium Grenze. Der vertikale schwarze Strich zeigt den Schnittpunkt zum Seismikprofil EB0801 Linie (siehe Abbildung 27). Siehe auch Anlage 3.5.

7 Hydrogeologie und wasserwirtschaftliche Aspekte

Bevor auf die einzelnen Teilbecken in Bezug auf die hydrogeologischen Verhältnisse und damit verbundene wasserwirtschaftliche Aspekte näher eingegangen wird, soll einführend die konzeptionelle Vorstellung der Neubildung von Tiefengrundwässern erläutert werden.

Die Neubildung von Tiefengrundwasser in Beckensedimenten erfolgt neben der direkten Infiltration von Niederschlagswasser im Becken zu einem großen Anteil über Wasser, welches aus den Randgebirgen in das Becken fließt (hier z.B. über die Koralm von Westen her). Die Randgebirge (hier Poßruck im Süden, Koralmpe im Westen und Grazer Bergland im Norden und Nordosten) können im weitesten Sinne als „Mountain Block“ (MB) beschrieben werden, aus denen die Grundwasserneubildung über zwei Arten erfolgen kann (z.B. Feth, 1964; Markovich et al., 2019). Zum einen fließen Oberflächenwässer aus dem MB in das Becken, versickern teilweise und reichern somit die vor allem oberflächennahen Grundwässer an. Dieser Prozess wird in der Literatur als „Mountain Front Recharge“ (MFR) bezeichnet und ist schematisch in Abbildung 29 (hellblaue Pfeile) dargestellt. Zum anderen erfolgen 5-50% der Grundwasserneubildung in Beckensedimenten durch den „Mountain Block Recharge“ (MBR), d.h. Wässer aus den Randgebirgen fließen unterirdisch den Grundwasserkörpern in den Beckensedimenten zu (dunkelblaue Pfeile in Abbildung 29). Dies kann sowohl über sehr tiefzirkulierende Systeme (Störungszonen, Bruchlinien, etc.) als auch sehr oberflächennah (Hangwässer) erfolgen. Somit ermöglicht der MBR auch eine rezente Neubildung von Tiefengrundwässern (Grundwässer in tieferliegenden Sedimentschichten der Beckenlagen) in den Randzonen der Becken.

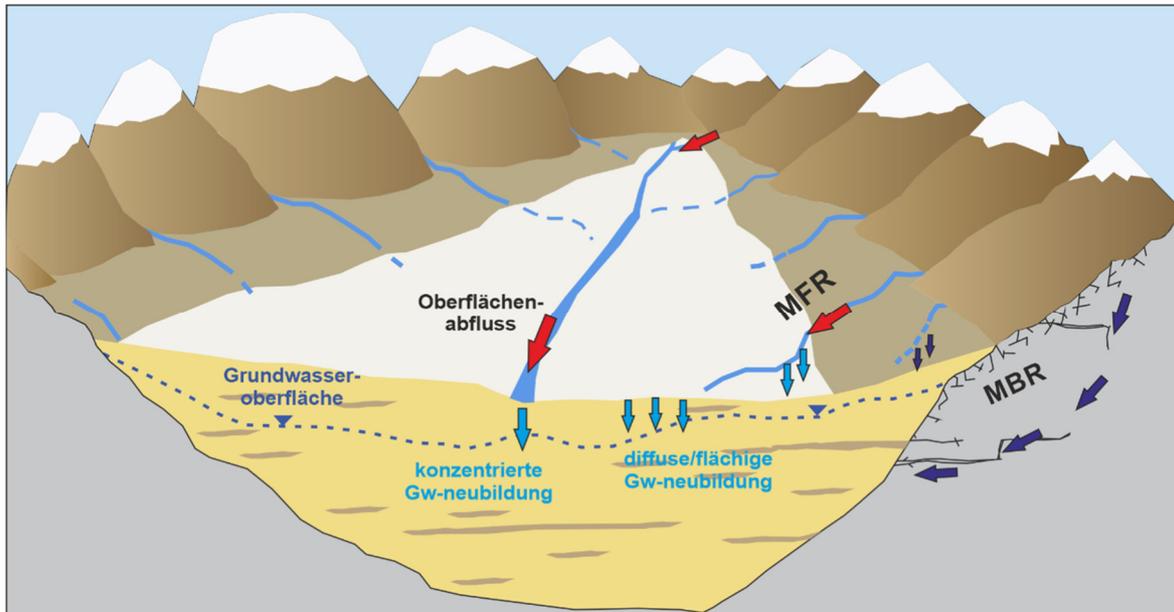


Abbildung 29: Schemaskizze eines Beckens mit möglichen Zuflüssen aus dem Randgebirge (MB) via MBR (dunkelblaue Pfeile) und MFR (hellblaue Pfeile)

Das **Liebocher Becken** (das nördlichste der drei Teilbecken) ist durch die dort abgeteufften Bohrungen im Speziellen die Bohrung Södung 1, welche den Beckenuntergrund aufschloss, und acht Seismikprofile einigermaßen gut bekannt. Die Ergebnisse der seismischen Untersuchungen im Liebocher Teilbecken (Abbildung 19) geben einen ersten Einblick über die konzeptionelle Grundwasserneubildung in den Randbereichen des Teilbeckens. Der westliche Randbereich des Beckens zeigt zum Beckenrand (Richtung Westen; Koralmgebiet) horizontal gelagerte Schichtpakete (Abbildung 30 links). Daraus kann abgeleitet werden, dass über den MFR primär nur die seichtliegenden Grundwasserleiter angereichert werden. Zudem ist die Grundwasserneubildung in tieferen Grundwasserleitern aufgrund der geringen Kontaktfläche der potentiellen Grundwasserleiter zum Beckenrand eher geringer ausgeprägt. Inwieweit Störungszonen hier stauend oder leitend fungieren, ist bis jetzt noch völlig unklar/unbekannt. Der östliche Randbereich des Beckens zeigt bei den Basiskonglomeraten zum Beckenrand (Plabutsch, Grazer Bergland) eine ins Hangende gerichtete „Verschleppung“ der Schichtpakete (Abbildung 30 rechts). Auch in diesem Fall werden die seichtliegenden Grundwasserleiter im Randbereich des Beckens über MFR dotiert. Aufgrund der größeren Kontaktfläche zum Randgebirge (Mountain block) kann im Vergleich zur Westseite des Beckens aber über den MBR eine größere

Grundwasserneubildung tiefer liegender Grundwasserleiter erfolgen. Hinzu kommt, dass das mögliche Abtauchen von karbonatischen, verkarstungsfähigen Gesteinen des Grazer Paleozoikums (Rannach Decke) eine tiefer greifende Grundwasserneubildung westlich des Plabutschuges möglich erscheinen lässt.

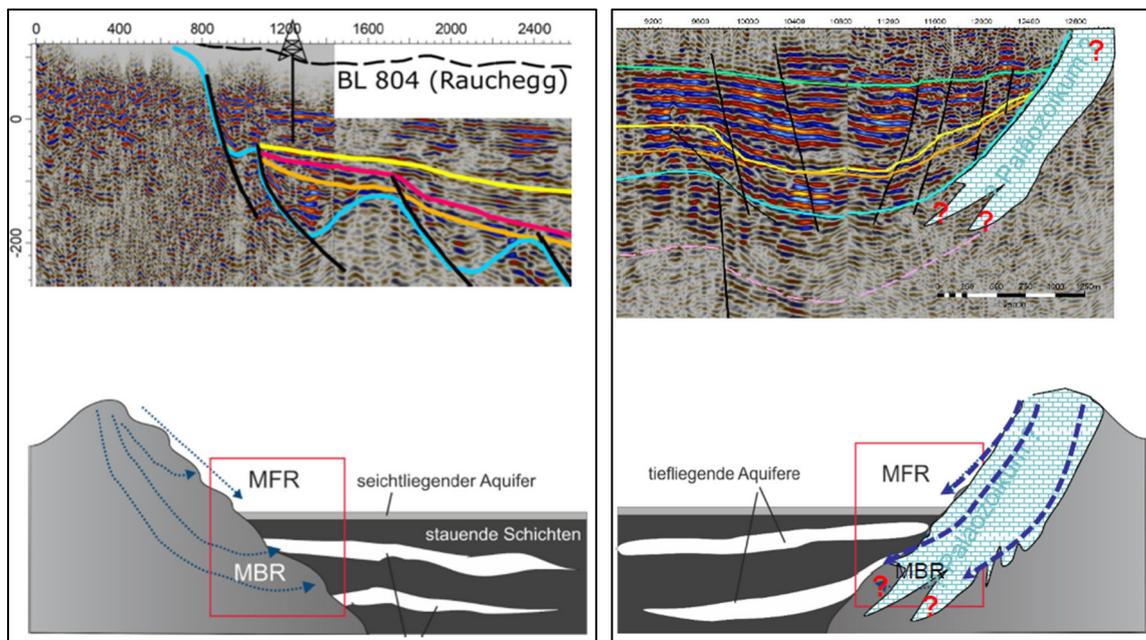


Abbildung 30: Ausschnitt aus den interpretierten Seismikprofilen sowie schematische Abbildungen der Grundwasserneubildung via MFR und MBR für die westliche Seite (links) und die östliche Seite (rechts) des Liebocher Beckens

Die zwei südlicheren Teilbecken hingegen sind aufgrund ihrer geringen Untersuchungsichte (wenige Bohrungen, die tief genug reichen und in Summe nur drei Seismikprofile) weniger gut erfasst. Jedoch erlauben die Erkenntnisse aus dem Liebocher Becken auch konzeptionelle Rückschlüsse über mögliche wasserwirtschaftliche Aspekte der anderen zwei Teilbecken.

Im **Florianer Becken** scheint eine Grundwasserneubildung von Westen von der Koralpe analog der konzeptionellen Vorstellung des Westrandes im Liebocher Becken (Abbildung 30 links) möglich. Obertägig zutage tretende Sedimentschichten (Obere Eibiswalder und Florianer Schichten(?)) und ihr generelles Einfallen lassen auf eine potentielle Neubildung über MFR und MBR schließen. Aussagen hierzu sind aber mit großen Unsicherheiten verbunden, da das vorliegende Seismikprofil (WS1901) nicht an

den Beckenrand bis zur Koralpe herangeführt wurde und östlich von Deutschlandsberg endet. Somit liegen auch keine Kenntnisse vor, wie die Sedimentschichten an den Beckenrand angrenzen. Des Weiteren liegt für das Florianer Becken (wie auch für das Eibiswalder Becken) keine Bohrung als Kalibrationsmöglichkeit der seismischen Interpretationen vor. Nur entsprechende Bohrungsinformationen entlang der Seismik-Linie würden hier Sicherheit bringen.

Das **Eibiswalder Becken** ist vermutlich seichter als bisher angenommen, und es ist anzunehmen, dass paläozoische Phyllite und Schiefer vermutlich von Süden her unter das Neogenbecken streichen. Rein aus geologischer (= wissenschaftlicher) Sicht wäre es interessant, wie sich hier bzw. aus was sich der präneogene Untergrund aufbaut und ob es sich bei dem vermeintlichen Paläozoikum nicht doch um Radlschotter handeln könnte, welche möglicherweise einen Grundwasserleiter darstellen könnten. Aufgrund der sehr geringen Datenlage zum geologischen Aufbau in diesem Teilbecken sind aber jegliche hydrogeologischen Interpretationen mit sehr großen Unsicherheiten behaftet, weshalb für dieses Teilbecken zu den hydrogeologischen Gegebenheiten keine Aussagen abgeleitet werden.

Als zusammenfassende hydrogeologische Schlussfolgerung kann festgehalten werden, dass mit dem bisherigen Kenntnisstand des geologischen Aufbaus konzeptionell die Neubildungsmöglichkeiten von Tiefengrundwässern in Teilbereichen des Liebocher Beckens erarbeitet werden konnten. Im Speziellen für den westlichen Randbereich des Weststeirischen Beckens können die Erkenntnisse mit Einschränkungen auf die anderen Teilbecken übertragen werden. Es kann aber anhand der hier vorliegenden Daten keine hydrogeologische Aussage über einzelne Schichtpakete in den Seismikprofilen und deren Potential als Grundwasserleiter (oder Stauer) getroffen werden. Auch die hydraulische Wirksamkeit von Störungen ist zu diesem Zeitpunkt nicht zu beantworten.

Um diese Fragen beantworten zu können, ist das Abteufen einer Tiefenbohrung, die möglichst alle Schichtpakete der Beckensedimente und die obersten Schichten des Beckenuntergrundes durchörtert, unumgänglich. Im anschließenden Abschnitt sollen mögliche Bohrpunkte bzw. Bohrvorschläge diskutiert werden.

8 Empfehlungen für neue Bohrstandorte

Ausgehend von den zuvor beschriebenen Erkenntnisgewinnen betreffend Beckengeometrie, Beckenfüllung und Hydrogeologie wurden Empfehlungen für neue Bohrstandorte ausgearbeitet. Tabelle 5 listet die Koordinaten der Bohrvorschläge auf. Mit einer neuen Bohrung sollen Grundwasserleiter in den neogenen Schichten anhand bohrlochgeophysikalischer Messungen bestimmt und untersucht werden. Weiters würde das Abteufen von neuen Bohrungen eine systematische stratigraphische Beschreibung der Schichten ermöglichen und das Verständnis über die Geologie des Weststeirischen Beckens wesentlich erhöhen. Aus den reflexionsseismischen Daten würden sich durch eine neue Bohrung wesentlich mehr Information gewinnen lassen. Geophysikalische Bohrlochmessungen würden es zudem ermöglichen, das Modell der Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Wellen im Untergrund zu verfeinern. Dadurch wird die Auswertung der reflexionsseismischen Profile detailtreuer.

	Name	Teilbecken	X_UTM33N	Y_UTM33N	Bohrtiefe [m]
Bohrvorschlag 1	Attendorf 1	Liebocher B.	525040	5204740	1700
Bohrvorschlag 2	St. Florian 1	Florianer B.	524810	5184880	1300
Bohrvorschlag 3	Oberhaag 1	Eibiswalder B.	526180	5171330	1500

Tabelle 5: Koordinaten und Namen der Bohrvorschläge.

8.1 Bohrvorschlag 1 („Attendorf 1“) – Liebocher Becken

Im Liebocher Becken wird eine Bohrung im Beckentiefsten empfohlen (Abbildung 31). Die empfohlene Lage liegt entlang des Liebochbachs ca. 1 km SSW von Attendorf (nördlichster Bohrvorschlag in Abbildung 14 und Anlage 4.2). Bohrvorschlag 1 wird daher als „Attendorf 1“ bezeichnet. Die Bohrung „Attendorf 1“ soll bis in den präneogenen Beckenuntergrund abgeteuft werden und auch diesen entlang einiger hundert Meter Bohrstrecke erfassen.

Durch die Bohrung könnten systematisch sämtliche Schichten auf Grundwasser- bzw. Thermalwasserführung untersucht werden. In jenem Bereich ist mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Lockersedimentabschnitten und kompaktierten Sedimentgesteinen zu rechnen. Es würden sowohl die Tone, Sande und Schotter der oberflächennahen Stallhofen-Formation aufgeschlossen werden, als auch die bisher wenig bekannten Sandsteine und Konglomerate der tieferen Schichten. Eine Besonderheit in jenem Bereich des Liebocher Beckens ist das Vorkommen eines „Incised Valley“ im Untergrund (Abbildung 31). Dabei handelt es sich um ein ehemaliges durch Erosion

gebildetes, breites Tal, welches nachträglich wieder mit Sedimenten gefüllt worden ist. Die Basis dieses ehemaligen Tals befindet sich in etwa 580 m Tiefe. Solche „Talfüllungen“ unterscheiden sich in ihrer Beschaffenheit typischerweise von den umgebenden Sedimenten und Sedimentgesteinen. Eine Bohrung in diesem Bereich würde daher Klarheit über die Beschaffenheit jener Sedimentgesteine geben.

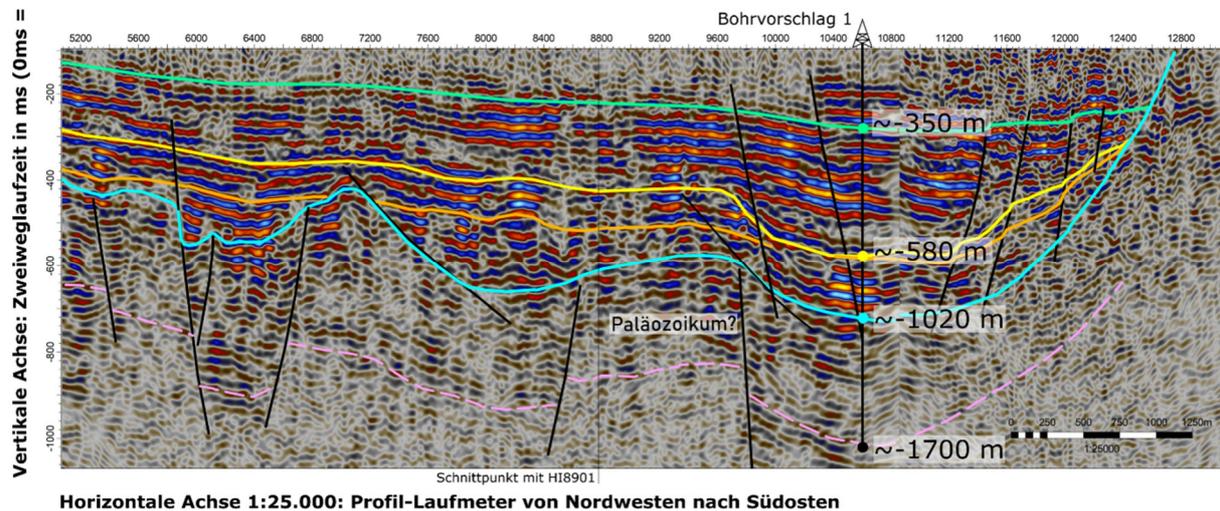


Abbildung 31: Seismik Profil HI8701 und HI8902 mit Lage des Bohrvorschlags 1 (Attendorf 1). Dort wo der gelbe Horizont (Top Karpatium) sich nach unten wölbt, befindet sich das „Incised Valley“. Der blaue Horizont ist die Oberkante des präneogenen Beckenuntergrundes. Im Bereich der Bohrung Attendorf 1 sind paläozoische Gesteine im Beckenuntergrund möglich. Die potentielle Unterkante des Paläozoikums (= Oberkante des Kristallins) ist als strichlierte rosa Linie dargestellt. Die Lage der Bohrpunktempfehlung ist Anlage 4.2. dargestellt.

Weiters würde die Lithologie des präneogenen Beckenuntergrundes bestimmt werden. Der Beckenuntergrund ist in einer Tiefe von etwas über 1000 m zu erwarten (+/- 10% Genauigkeit). Im Osten des Liebocher Beckens besteht die Möglichkeit, dass die Gesteine des Grazer Paläozoikums im Beckenuntergrund vorkommen. Teil des Grazer Paläozoikums sind mächtige Karbonatgesteine, welche entlang von geologischen Störungszonen thermalwasserführend sind, und im Oststeirischen Becken zur Gewinnung von geothermischer Energie genutzt werden. Die Lage der empfohlenen Bohrung „Attendorf 1“ ist so gewählt, dass sie im Beckenuntergrund eine Störungzone erreicht. Sollten paläozoische Gesteine angetroffen werden, wird daher empfohlen, die Bohrung nicht unmittelbar bei Erreichen des Beckenuntergrundes einzustellen. Im Falle eines paläozoischen Beckenuntergrundes ist es sinnvoll, die Bohrung für einige hundert Meter im Beckenuntergrund fortzusetzen, um das

geothermische Potential zu erforschen. Bei einer zu erwartenden Zunahme der Temperatur von 3,5°C/100 m und einer oberflächennahen Temperatur von 10°C ist an der Oberkante des Präneogens mit einer Temperatur von 45°C zu rechnen. Unklar ist jedoch, ob und inwiefern Konvektionsbewegungen von Tiefengrundwässern einen Einfluss auf die Temperatur haben. Sollten meteorische Wässer, die am Plabutsch-Buchkogel Zug versickern, durch die paläozoischen Karbonate bis in größerer Tiefe zirkulieren, hätte dies einen kühlenden Effekt und würde die Temperatur im Beckenuntergrund verringern. Die Bohrung würde daher auch Erkenntnisse über den Einfluss der Mittelsteirischen Schwelle auf die Grundwasserneubildung im Liebocher Becken liefern.

8.2 Bohrvorschlag 2 („St. Florian 1“) – Florianer Becken

Im Florianer Becken wird eine Bohrung im Beckentiefsten bis in den präneogenen Beckenuntergrund empfohlen. Der empfohlene Bohrpunkt liegt knapp 1 km südöstlich von Groß St. Florian entlang des Seismikprofils WS1901 (Abbildung 32). Bohrvorschlag 2 wird daher als „St. Florian 1“ bezeichnet.

Die Beckenfüllung des Florianer Beckens ist aufgrund fehlender Bohrungen weitgehend unbekannt. Wasserwirtschaftlich sind besonders die obersten 300 bis 400 m relevant. Auch diese Schichten sind im Florianer Becken nicht erforscht. Eine Bohrung im Beckentiefsten würde Klarheit über die gesamte Beckenfüllung schaffen und einen großen Erkenntnisgewinn zum Aufbau des Florianer Beckens liefern. Mittels bohrlochgeophysikalischer Messungen könnte systematisch die Beckenfüllung auf grundwasser- bzw. thermalwasserführende Schichten untersucht werden.

Der Beckenuntergrund wird an der Position des Bohrvorschlages in ca. 1170 m Tiefe vermutet. Im Beckenuntergrund werden kristalline Gesteine vermutet. Die Bohrung würde diese Annahme überprüfen. Die tiefsten Sedimentgesteine erreichen Tiefen von etwa 1100 bis knapp 1200 m. Unter Annahme einer Temperatur-Zunahme von 3,5°/100 m sowie einer oberflächennahen Temperatur von 10°, sind in den tiefsten Sedimentgesteinen Temperaturen von 50°C anzunehmen. Ein Einfluss von zirkulierenden Wässern ist unwahrscheinlich. Da die tieferen Schichten unbekannt sind, ist unklar, wie durchlässig diese Gesteine sind und ob daraus Thermalwasser gefördert werden könnte. Die Bohrung „St. Florian 1“ würde auch darüber Auskunft geben.

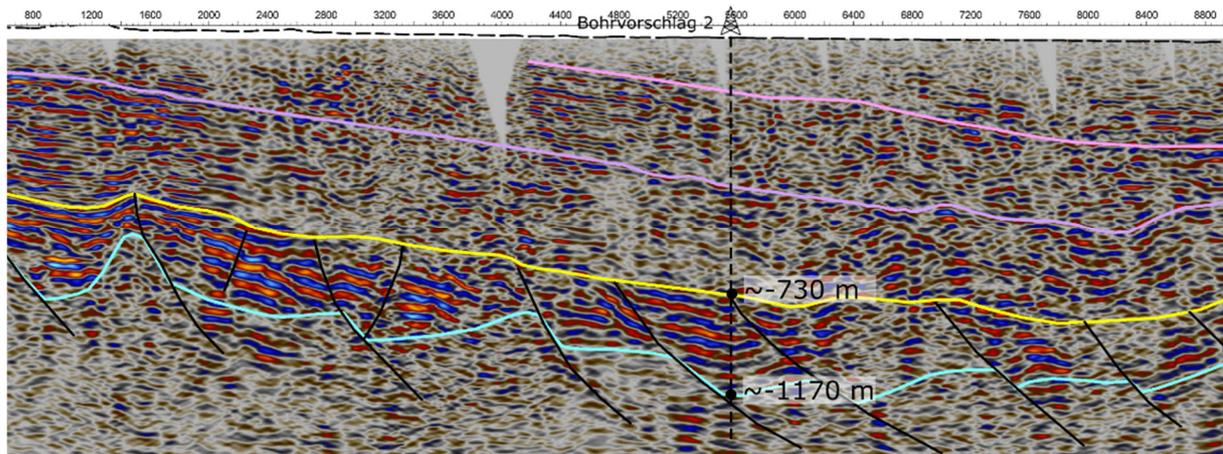


Abbildung 32: Ausschnitt aus dem Seismik-Profil WS1901 inklusive Bohrverschlagn 2 („St. Florian 1“). Der gelbe Horizont zeigt die vermutete Oberkante des Karaptiums. Der türkise Horizont zeigt die Oberkante des präneogenen Beckenuntergrundes. Die Lage der Bohrpunkttempfehlung ist Anlage 4.2. dargestellt.

8.3 Bohrverschlagn 3 („Oberhaag 1“) – Eibiswalder Becken

Im Eibiswalder Becken wird eine Bohrung (Bohrverschlagn 3) entlang des südlichen Teils des Seismikprofils EB0801 empfohlen (Abbildung 33). Der Bohrpunkt liegt etwa 1,1 km NE von Oberhaag. Bohrverschlagn 3 wird daher als „Oberhaag 1“ bezeichnet.

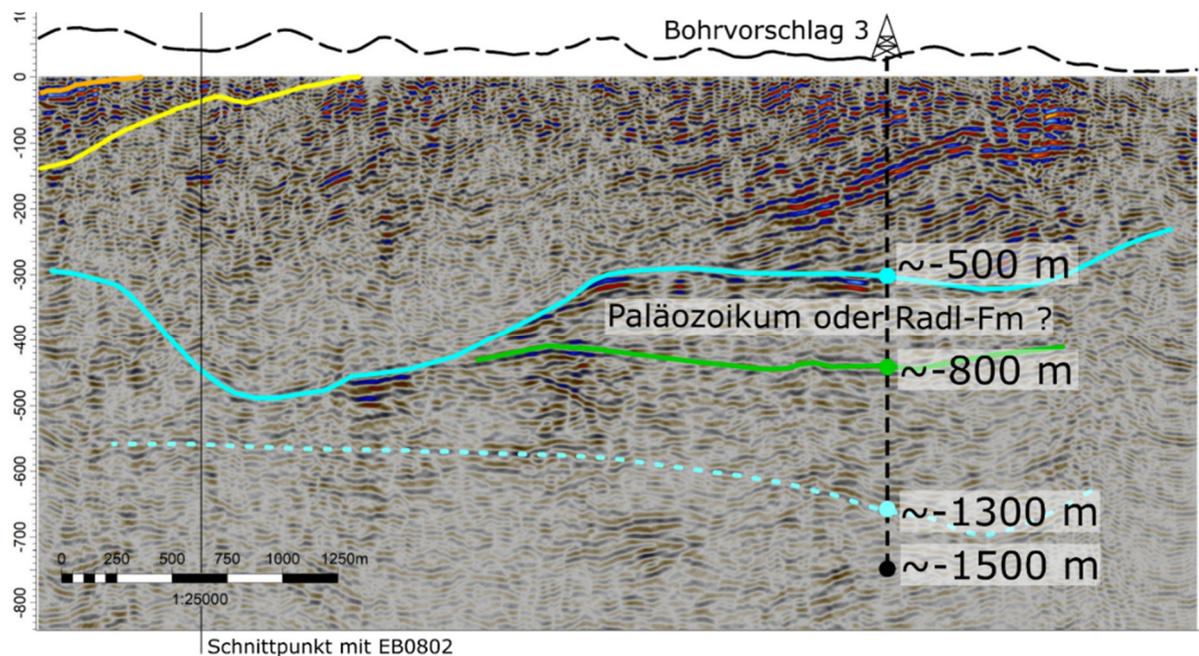


Abbildung 33: Seismik-Profil EB0801 sowie Bohrverschlagn 3 („Oberhaag 1“). Der durchgehende türkise Horizont stellt eine Interpretation des Beckenuntergrundes dar. Eine alternative Interpretation ist als strichlierte, türkise Linie dargestellt. Die Lage der Bohrpunkttempfehlung ist Anlage 4.2. dargestellt.

Es wurde ein Bereich im Süden des Seismikprofils ausgewählt, da die dortigen Sedimentgesteine der Unteren Eibiswalder Schicht grobkörniger als weiter im Norden sind und damit bessere Durchlässigkeiten zu erwarten sind. Aufgrund der komplizierten Geologie im Eibiswalder Becken, bedingt durch das steile Einfallen der Schichten, ist die Position des präneogenen Beckenuntergrundes umstritten. Die Bohrung würde daher wesentliche Erkenntnisse zur Position und Geologie des Präneogens liefern.

Danksagung:

Besonderer Dank an die Kollegen Fritz Ebner (ehemals Montanuniversität Leoben), Bernhard Hubmann (Universität Graz), Martin Groß, Ingomar Fritz und Steve Paar (alle drei Universalmuseum Joanneum) für die kooperative Mitarbeit in verschiedenen Abschnitten dieses Berichts.

9 Literaturverzeichnis

Binder, H., Dax, F., Jud, M. & Schreilechner, M. 2021. Liebocher Teilbecken – Reflexionsseismische Untersuchungen. Interner Bericht.

Ebner, F. & Sachsenhofer, R.F. 1991. Die Entwicklungsgeschichte des Steirischen Tertiärbeckens. Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum, 49, 1–96.

Ebner, F. & Stingl, K. 1998. Geological frame and position of the Early Miocen Lignite Open-cast Mine Oberdorf (N Voitsberg, Styria, Austria). Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 140, 403–406.

Ferstl, M. & Winkler, G. (2021). EU-Projekte SI-MUR-AT und Ri(ver)-Charge. Wasserland Steiermark, 02/2021, 10-15.

Feth, J. H. 1964. Hidden recharge. Groundwater, 2(4), 14–17.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1964.tb01780.x>

Flügel, H. 1975. Die Geologie des Grazer Berglandes. Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum.

Friebe, G. 1991. Neotektonik an der Mittelsteirischen Schwelle (Österreich): Die "Steirische Phase". Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil 1, 41–45.

Götzl, G., Poltnig, W., Domberger, G. & Lipiarski, P. 2007. Projekt TRANSTHERMAL - Geothermie der Ostalpen – Erfassung und zusammenfassende Darstellung des geothermischen Potenzials in Datenbanken, in einem Geothermieatlas und in GIS – basierten Kartenwerken im Bereich von Kärnten, Steiermark und Slowenien, INTERREG IIIA Austria – Slovenia, Nationaler Abschlussbericht für Österreich, Wien – Graz – Klagenfurt.

Gross, M. 2015. Die neogenen Formationen auf der geologischen Karte GÖK50 164 Graz (Steiermark, SE-Österreich). Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 144, 105-132

Gross, M., Fritz, I., Piller, W.E., Soliman, A., Harzhauser, M., Hubmann, B., Moser, B., Scholger, R., Suttner, T.J., Bojar, H.P. 2007. Das Neogen des Steirischen Beckens – Exkursionsführer. Joannea Geologie & Paläontologie, 9, 117–193.

Gruber, W., Hermann, S., Sachsenhofer, R.F. & Stingl, K. 2003. Kohlefazies und Sedimentologie der Eibiswalder Bucht (Miozän, Steirisches Becken). Mitt. Österr. Geol. Ges., 93, 15-29

Kollmann, K. 1965. Jungtertiär im steirischen Becken. Mitt. Geol. Ges. Wien, 57, 479–632

Kröll, A.J. 1988. Steirisches Becken – Südburgenländische Schwelle. Reliefkarte des prätertiären Untergrundes. Geologische Bundesanstalt, Wien

Kröll, A.J., Flügel, H., Seiderl, W., Weber, F., Walach, G. & Zych, D. 1988. Erläuterungen zu den Karten über den prätertiären Untergrund des Steirischen Beckens und der Südburgenländischen Schwelle. Geologische Bundesanstalt, Wien.

Legrain, N., Stüwe, K. & Wölfler, A. 2014. Incised relict landscapes in the eastern Alps. *Geomorphology*, 221, 124–138. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.06.010>.

Markovich, K. H., Manning, A. H., Condon, L. E., & McIntosh, J. C. 2019. Mountain-Block Recharge: A Review of Current Understanding. *Water Resources Research*, 55, 8278–8304. <https://doi.org/10.1029/2019WR025676>

Moser, M. 2015. Geofast Karte 1 : 50.000 Blatt 190 Leibnitz, Geologische Bundesanstalt, Wien.

Nebert, K. 1989. Das Neogen zwischen Sulm und Laßnitz (Südweststeiermark). *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 132, 727–743.

Neubauer, F. & Genser, J. 1990. Architektur und Kinematik der östlichen Zentralalpen - eine Übersicht. *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 120, 203–219.

Piller, W.E., Egger, H., Erhart, C., Gross, M., Harzhauser, M., Hubmann, B., van Husen, D., Krenmayr, H.-G., Krystyn, L., Lein, R., Lukeneder, A., Mandl, G., Rögl, F., Roetzel, R., Rupp, C., Schnabel, W., Schönlaub, H.P., Summesberger, H. & Wagreich, M. 2004. Die Stratigraphische Tabelle von Österreich 2004 (sedimentäre Schichtfolgen). Österreichische stratigraphische Kommission und Kommission für die paläontologische und stratigraphische Erforschung Österreichs.

Pischinger, G., Kurz, W., Übleis, M., Egger, M., Fritz, H., Brosch, F.J. & Stingl, K. 2008. Fault slip analysis in the Koraln Massif (Eastern Alps) and consequences for the final uplift of “cold spots” in Miocene times. *Swiss Journal of Geosciences*, 101, 235–254.

Sant, K., Kuiper, K.F., Rybar, S., Grunert, P., Harzhauser, M., Oleg, M., Jamrich, M., Sarinova, K., Hudackova, N. & Krijgsman, W. 2020. 40AR/39AR Geochronology using high sensitivity mass spectrometry: examples from Middle Miocene horizons of the Central Paratethys. *Geologica Carpathica*, 71/2, 166-182.

Stingl, K. 1994. Depositional environment and sedimentary of the basinal sediments in the Eibiswalder Bucht (Radl Formation and Lower Eibiswald Beds), Miocene Western Styrian Basin, Austria. *Geol. Rundsch.*, 83, 811-821.

Stingl, K. 2003. The Lignite-Bearing Sediments of the Middle Miocene Köflach-Voitsberg Embayment (Styrian Basin, Austria). *Arch. f. Lagerst.forsch. Geol- B.-A.*, 24, 219–229.

Weber, F. 2003. Ergebnisse refraktionsseismischer Messungen zur Braunkohlenprospektion im weststeirischen Tertiär (Raum Tregist – Lobmingberg bei Voitsberg). *Arch. f. Lagerst.forsch. Geol- B.-A.*, 24, 231–245.

Wagner, T., Fritz, H., Stüwe, K., Nestroy, O., Rodnight, H., Hellstrom, J. & Benischke, R. 2011. Correlations of cave levels, stream terraces and planation surfaces along the River Mur—Timing of landscape evolution along the eastern margin of the Alps. *Geomorphology* 134, 62-78.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die geographische Lage des Weststeirischen Beckens. Eine Karte im Maßstab 1:50.000 ist in Anlage 1.1 dargestellt.	5
Abbildung 2: Lage der Bohrungen und Seismikprofile im Untersuchungsgebiet. Die Nummerierung der Bohrungen ist aus Tabelle 1 ersichtlich. Bohrung Nummer 10 ist der Ersatzbrunnen 2 (Steinberg), welcher den präneogenen Beckenuntergrund nicht erbohrte, jedoch Hinweise auf die Tiefe des Präneogens lieferte (siehe Abschnitt 6.2.1.10). Eine Karte mit den Bezeichnungen der Seismikprofil im Maßstab 1:50.000 ist in Anlage 4.1 dargestellt.	7
Abbildung 3: Seismische Mess-komponenten [Summit XOne (DMT)].....	14
Abbildung 4: Ausschnitt von der Messlinie. Geophonabstand 5 m.....	14
Abbildung 5: Sprengtrupp beim Vorbereiten der Ladung	14
Abbildung 6: Registriereinheit	14
Abbildung 7: FFID (field file identification number) 50 des Profils SO2203 mit 234 aktiven Spuren.....	17
Abbildung 8: FFID 305 des Profils SO2103 mit Ausschnitt über 800 Millisekunde mit 160 aktiven Spuren.	17
Abbildung 9: FFID 87 des Profils SO2201 mit 230 aktiven Spuren. (Ausschnitt)	18
Abbildung 10: Programminterne Basemap: Aufnehmerlinie (schwarz); berechnete Mittelpunkte (weiß) basierend auf entsprechenden Quellen – und Empfängerabständen; CDP-Bezugslinie (farbig).....	20
Abbildung 11: Finale Stapelsektion des Profils SO2103.....	23
Abbildung 12: Finale Stapelsektion des Profils SO2201.....	23
Abbildung 13: Ausgangsdatenlage der Neu-Modellierung des Präneogens: Höhenschichtlinien aus Kröll (1988) (strich-punktierte schwarze Linien; Zahlen in m ü.A.), Bohrungen mit Informationen über die Tiefe der Beckenuntergrundoberkante (blaue und graue Punkte); Beckenrand (orange Linie) aus dem Transthermal-Projekt (2007).....	26
Abbildung 14: Oberfläche des präneogenen Untergrundes interpoliert anhand der Tiefeninformationen aller 11 Seismikprofile und Bohrungsinformationen, die eine Modifikation der Höhenschichtlinien der Kröll-Karte (1988) für nötig erscheinen ließen. Die Bohrvorschläge sind in Abschnitt 8 beschrieben. Eine Karte im Maßstab 1:50.000 ist in Anlage 4.2 dargestellt.	28

Abbildung 15: Differenz der ursprünglichen (Kröll 1988) und der neu-berechneten Oberfläche des präneogenen Untergrundes (alte Oberfläche minus neuer Oberfläche). Negative Werte (blaue Farbgebung) deuten Bereiche an, die anhand der Neumodellierung seichter geworden sind; positive Werte (rote Farbgebung) zeigen Bereiche, die tiefer geworden sind. Bereiche, die sich nicht bzw. kaum verändert haben, weisen Werte um 0 auf und sind in gelblich-beiger Farbe gehalten.....	30
Abbildung 16: Ausschnitt aus der Stratigraphie des Steirischen Beckens. Modifiziert nach Groß (2015).....	32
Abbildung 17: Konglomerat aus der Bohrung Söding 1 aus einer Tiefe von ca. 610 m.	33
Abbildung 18: Schotter aus der Bohrung Söding 1 aus einer Tiefe von ca. 150 m.	34
Abbildung 19: Glimmersande der Stallhofen Formation aus der Bohrung Söding 1 aus einer Tiefe von ca. 100 m.....	35
Abbildung 20: Schotter der Eckwirt Subformation aufgeschlossen am Lobmingberg (Ca. N47°04'36", E15°09'59')	39
Abbildung 21: Konglomerat der Stiwoll Formation aus Bohrloch 820.	42
Abbildung 22: Seismik-Profile SO2102 (links) und SO2101 (rechts). Links: Südwesten; rechts: Nordosten. Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms]. Der türkise Horizont stellt die Oberkante des Präneogens dar. Siehe auch Anlage 3.1.	44
Abbildung 23: Ausschnitt aus den Seismik Profilen HI8701 und HI8902. Links: Nordwesten; rechts: Südosten. Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms] und reicht von etwa 100 ms am oberen Bildrand bis zu 1060 ms an der unteren Kante des Profils. Der türkise Horizont stellt die Oberkante des präneogenen Beckenuntergrundes dar. Zwischen türkisem und rosa Horizont wird das Grazer Paläozoikum vermutet. Siehe auch Anlage 3.3.....	45
Abbildung 24: Ausschnitt aus den Seismik Profile SO2201 (links) und SO2103 (rechts). Links: Nordwesten; rechts: Südosten. Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms]. Der türkise Horizont stellt die Oberkante des Präneogens dar. Der olivgrüne Horizont die Basis der Kainacher Gosau. Darunter liegt das Grazer Paläozoikum. Die Unterkante des Grazer Paläozoikums (= Oberkante des Kristallins) wird durch den strichlierten rosa Horizont dargestellt wird. Siehe auch Anlage 3.2.	46

- Abbildung 25: Westlicher Teil des Seismikprofils WS1901. Links: Westen; rechts: Osten. Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms]. Der türkise Horizont stellt die Oberkante des präneogenen Beckenuntergrundes dar. Der gelbe Horizont die mögliche Oberkante des Karpatiums. Siehe auch Anlage 3.4.49
- Abbildung 26: Östlicher Teil als Fortsetzung des Seismikprofils WS1901. Links: Westen; rechts: Osten. Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms] und muss von Abbildung 25 übertragen werden. Der türkise Horizont stellt die Oberkante des präneogenen Beckenuntergrundes dar. Der gelbe Horizont die mögliche Oberkante des Karpatiums. Siehe auch Anlage 3.4.50
- Abbildung 27: Seismik Profils EB0801. Links: Nordwesten; rechts: Südosten Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms]. Die strichlierte türkise Linie stellt die erste Interpretationsmöglichkeit des präneogenen Beckenuntergrundes dar; der durchgehende türkise Horizont die zweite Möglichkeit. Die gelbe Linie entspricht der Karpatium-Badenium Grenze. Der schwarze vertikale Strich zeigt den Schnittpunkt mit der Linie EB0802 (siehe Abbildung 28). Siehe auch Anlage 3.5. ...51
- Abbildung 28: Seismik Profil EB0802. Links: Westen; rechts: Osten Die vertikale Achse stellt die seismische Zweiweglaufzeit dar [ms]. Die strichlierte türkise Linie stellt die erste Interpretationsmöglichkeit des präneogenen Beckenuntergrundes dar; der durchgehende türkise Horizont die zweite Möglichkeit. Die gelbe Linie entspricht der Karpatium-Badenium Grenze. Der vertikale schwarze Strich zeigt den Schnittpunkt zum Seismikprofil EB0801 Linie (siehe Abbildung 27). Siehe auch Anlage 3.5.53
- Abbildung 29: Schemaskizze eines Beckens mit möglichen Zuflüssen aus dem Randgebirge (MB) via MBR (dunkelblaue Pfeile) und MFR (hellblaue Pfeile)55
- Abbildung 30: Ausschnitt aus den interpretierten Seismikprofilen sowie schematische Abbildungen der Grundwasserneubildung via MFR und MBR für die westliche Seite (links) und die östliche Seite (rechts) des Liebocher Beckens56
- Abbildung 31: Seismik Profil HI8701 und HI8902 mit Lage des Bohrvorschlags 1 (Attendorf 1). Dort wo der gelbe Horizont (Top Karpatium) sich nach unten wölbt, befindet sich das „Incised Valley“. Der blaue Horizont ist die Oberkante des präneogenen Beckenuntergrundes. Im Bereich der Bohrung Attendorf 1 sind paläozoische Gesteine im Beckenuntergrund möglich. Die potentielle Unterkante des Paläozoikums (= Oberkante des Kristallins) ist als strichlierte rosa Linie dargestellt. Die Lage der Bohrpunktempfehlung ist Anlage 4.2. dargestellt.59
- Abbildung 32: Ausschnitt aus dem Seismik-Profil WS1901 inklusive Bohrvorschlag 2 („St. Florian 1“). Der gelbe Horizont zeigt die vermutete Oberkante des Karaptiums. Der

türkise Horizont zeigt die Oberkante des präneogenen Beckenuntergrundes. Die Lage der Bohrpunktempfehlung ist Anlage 4.2. dargestellt.	61
Abbildung 33: Seismik-Profil EB0801 sowie Bohrvorschlag 3 („Oberhaag 1“). Der durchgehende türkise Horizont stellt eine Interpretation des Beckenuntergrundes dar. Eine alternative Interpretation ist als strichlierte, türkise Linie dargestellt. Die Lage der Bohrpunktempfehlung ist Anlage 4.2. dargestellt.	61

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über berücksichtigte Bohrungen im Weststeirischen Becken. Informationen der grün markierten Bohrungen flossen in die Modellierung des präneogenen Beckenuntergrundes („TopPrän.“) ein. *Die Bohrung Ersatzbrunnen 2 erreichte nicht das Präneogen, lieferte aber Hinweise auf dessen ungefähre Tiefe (siehe Abschnitt 6.2.1.10). Crälius Bohrung 46 und 47 wurden unter Tage abgeteuft. Die Koordinaten der Crälius Bohrung 46 sind trotz verfügbaren Lageplans evtl. ungenau.	8
Tabelle 2: Angenommene Ausbreitungsgeschwindigkeiten für die einzelnen lithologischen bzw. stratigraphischen Intervalle der Weststeirischen Teilbecken. ...	11
Tabelle 3: Akquisitionsparameter.	16
Tabelle 4: Bearbeitungsparameter.	19
Tabelle 5: Koordinaten und Namen der Bohrvorschläge.	58



Wissen das in die Tiefe geht

Geo5 GmbH Ingenieurbüro, 8700 Leoben, Roseggerstraße 17
FN 435764 f, Landesgericht Leoben, UID-Nummer: ATU69656525

office@geo-5.at
www.geo-5.at