

## Machbarkeitsstudie über eine Nutzung von Wärmeenergie aus Tiefer Geothermie im Großraum Graz (Pre-Feasibility Geothermie Graz)

Proj. Nr.: IG21-P015

### Verfasser

#### Geo5:

DI Florian Dax

DI Dr. mont. Marcellus G. Schreilechner

#### Geoteam:

Mag.<sup>a</sup> Marlies Gold

Univ.-Prof. Dr. Johann Goldbrunner

David Muhr, MSc

Mag. Hans Peter Heiss

#### sowie Zuarbeiten von

Em.O.Univ.-Prof. Dr.phil. Manfred F. Buchroithner, Em.O.Univ.-Prof. Dr. Fritz Ebner,

Ao.Univ.-Prof.i.R. Dr.phil. Harald Fritz, Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Bernhard Hubmann,

Priv.-Doz. Mag. Dr.rer.nat. Kurt Krenn



# Geoteam

Technisches Büro für Hydrogeologie, Geothermie und Umwelt Ges.m.b.H.

Ausfertigung: 17.05.2022



**Auftraggeber:** **Stadt Graz, Umweltamt**

**Amt der Steiermärkischen Landesregierung**

Abteilung 15 Energie, Wohnbau, Technik

**Energie Graz GmbH & Co KG**

Netze, Fernwärme - NF

**Energie Steiermark Wärme GmbH**

**Holding Graz – Kommunale Dienstleistungen GmbH**

(Grazer Energieagentur GmbH)

alle Graz

Wissen das in die Tiefe geht

Angebot: Geo5-21020

Datum: 29.09.2021

Bestellung Stadt Graz: GRAZ/MAG/2601/330/4300015556

Datum: 19.10.2021

Bestellung Land Steiermark Abt. 15: ABT15-3584/2021-467

Datum: 09.11.2021

Energie Steiermark Wärme GmbH: 4096131/363354

Datum: 12.01.2022

Energie Graz GmbH & Co KG: 065/4522000466

Datum: 14.01.2022

Bestellung Grazer Energieagentur GmbH  
(für Holding Graz – Kommunale Dienstleistungen GmbH)

Datum: 17.03.2022

Unsere Projektnummer: IG21-P015

# Inhaltsverzeichnis

1	Executive Summary	1
2	Fragestellung	3
3	Beauftragung, Projektteam und Projektgebiet	6
3.1	Beauftragung und Inhalt des Projekts	6
3.2	Projektteam	7
3.3	Projektgebiet	8
4	Literaturstudie	11
4.1	Das Grazer, Sausal und Südburgenländische Paläozoikum	11
4.1.1	Grazer Paläozoikum	11
4.1.2	Sausal Paläozoikum	17
4.1.3	Südburgenländisches Paläozoikum	18
4.2	Paläozoikum in unmittelbarer Nähe von Graz (Grazer Paläozoikum)	20
4.2.1	Nordosten von Graz (UD)	20
4.2.2	Schlossberg und Lend (OD)	22
4.2.3	Plabutschzug und Göstinggraben (OD)	22
4.2.4	Tobelbad (OD)	23
4.2.5	Pirka 1 (OD)	24
4.2.6	Puntigam Bohrungen (OD)	24
4.3	Paläozoikum südlich Graz (Sausal Paläozoikum)	26
4.4	Paläozoikum im Südburgenland	28
4.4.1	Hannersdorf und Hohensteinmaisberg	28
4.4.2	Sulz	29
4.4.3	St. Anna – Stadelberg	30
4.5	Die Tiefe des präneogenen Beckenuntergrundes	30
4.5.1	Reliefkarte des Steirischen Beckens (Kröll 1988)	30
4.5.2	Ältere Gravimetrische Messungen (Siemens 1943)	32

4.5.3	Seismik-Profile (Weber 1998, 1999)	32
4.6	Paläozoikum im Steirischen Becken	35
4.6.1	Weststeirisches Becken	35
4.6.2	Gnaser Becken	35
4.6.3	Fürstenfelder Becken	36
5	Fachliche Diskussion über das Grazer und Sausal Paläozoikum	39
6	Bohrungsinformationen	40
6.1	Bohrkern-Untersuchungen	43
6.1.1	Arnwiesen 1	45
6.1.2	Petersdorf 1	47
6.1.3	Blumau 1	49
6.1.4	Pirka 1	50
6.1.5	Puntigam 3	50
7	Geologische Arbeiten am Beckenrand inkl. Petrophysik	51
7.1	Geologische Arbeiten am Beckenrand	51
7.2	Petrophysik	53
7.2.1	Gesamtdichte	53
7.2.2	Korndichte	54
7.2.3	P- und S-Wellen Geschwindigkeiten	54
7.2.4	Porosität	54
7.2.5	Schlussfolgerung	55
8	Abschätzung des hydrothermalen Potenzials	56
8.1	Vorbemerkungen	56
8.2	Grundlagen der Geothermie	57
8.3	Grundlagen und Nutzungsformen der Tiefen Geothermie	59
8.3.1	Allgemeines	59
8.3.2	Technologien der Hydrothermalen Geothermie	60

8.4	Randbedingungen	63
8.5	Bearbeitungsraum	63
8.6	Geologische Verhältnisse bei derzeitigem Kenntnisstand	65
8.6.1	Datengrundlagen	65
8.6.2	Geologische Einheiten im Beckenuntergrund südlich/südöstlich von Graz	68
8.6.3	Störungsinventar	69
8.6.4	Zusammenfassung und Defizite	72
8.7	Geothermische Körper im Untergrund und ihre Kenngrößen	72
8.7.1	Abgrenzung	72
8.7.2	Temperaturverhältnisse	74
8.7.3	Kenngrößen der paläozoischen Karbonate	79
9	Auswahl Reflexionsseismischer Profile und Bohrungsinformationen	83
9.1	Reflexionsseismische Profile	84
9.1.1	RAG Seismik-Profile	84
9.1.2	OMV Seismik-Profile	89
9.1.3	Puntigam Seismik-Profile	91
9.1.4	Auswahl	92
9.2	Bohrungen	93
9.2.1	Begründung	93
9.2.2	Auswahl	94
10	Ausblick und Empfehlungen für weiterführende Arbeiten	96
10.1	Systematische Neuaufnahme von Bohrkernen im Steirischen Becken	96
10.2	Kinematik der Störungen am Rand des Steirischen Becken mit besonderem Augenmerk auf die Leberstörung	98
10.3	Auswertung und Interpretation von Luft- und Satellitenbildern sowie hoch aufgelösten Geländemodellen	101
10.4	Neubearbeitung von vorhandenen Seismikdaten	102

10.5	Neuaufnahme von reflexionsseismischen 2D Profilen	103
10.6	Geologisch-hydrogeologisches Konzeptmodell als Basis für die Bohrplanung	105
10.7	Erkundungsbohrung	106
10.8	Zusammenfassung von weiterführenden Arbeiten – Zeitschiene und Budget	107
11	Literaturliste	108
11.1	Zitierte Literatur	108
11.2	Weiterführende Literatur	115
12	Anhang	122
12.1	Aufarbeitung vorhandener Bohrungsinformationen	122
12.1.1	Afling U1	122
12.1.2	Arnwiesen 1	123
12.1.3	Binderberg 1	126
12.1.4	Blumau 1/1a	128
12.1.5	Blumau 2	131
12.1.6	Frutur GT1/1a	132
12.1.7	Frutur GT2	133
12.1.8	Fürstenfeld 1 (FF1)	134
12.1.9	Fürstenfeld 2 (FF2)	134
12.1.10	Fürstenfeld Th 1	135
12.1.11	Gleisdorf Th 1	136
12.1.12	Ilz Th 1	136
12.1.13	Köflach Th 1	138
12.1.14	Krottendorf 1	139
12.1.15	Litzelsdorf 1	140
12.1.16	Ludersdorf 1	141
12.1.17	Ludersdorf 2	142
12.1.18	Ottendorf 1	142

12.1.19	Perbersdorf 1	143
12.1.20	Petersdorf 1	144
12.1.21	Pichla 1	146
12.1.22	Pirka 1	147
12.1.23	Puntigam 1	149
12.1.24	Puntigam 2	150
12.1.25	Puntigam 3	151
12.1.26	Radochen 1	153
12.1.27	St. Nikolai 1	154
12.1.28	St. Nikolai 2	155
12.1.29	St. Peter 1	156
12.1.30	Söding 1	157
12.1.31	Stegersbach Th1	158
12.1.32	Stegersbach Th2	159
12.1.33	Übersbach 1	160
12.1.34	Walkersdorf 1	163
12.1.35	Waltersdorf 1	165
12.1.36	Waltersdorf 2/2a	168
12.1.37	Waltersdorf 4	169
12.1.38	Wiersdorf 1	170
12.1.39	Wollsdorf 1	171

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Ablaufschema für das Geothermie-Graz – Projekt. ....	5
Abbildung 3-1: Abgrenzung des Projektgebietes in der topografischen Karte (Kartengrundlage: ÖBV – FREYTAG & BERNDT Atlas Online).....	9
Abbildung 3-2: Abgrenzung des Projektgebietes in der Strukturkarte des präneogenen Beckenuntergrundes (Kröll et al. 1988). ....	10
Abbildung 4-1. Karte des obertägig aufgeschlossenen Grazer Paläozoikums inklusive der Zuordnung zu Faziesbereich und Deckensystem (Gasser et al. 2010). ....	11
Abbildung 4-2. Deckensysteme und Stratigraphie des Grazer Paläozoikums (Gasser et al. 2010). 1 Hackensteiner Fm, 2 St. Jakob Fm, 3 Harrberger Fm, 4 Dornerkogel Fm, 5 Taschen Fm, 6 Kehr Fm, 7 Semriach Phyllite Fm, 8 Heilbrunn Phyllite Fm, 9 Hirschkogel Phyllite Fm, 10 Kötschberg Fm, 11 Schönberg Fm, 12 Schöckl Fm, 13 Kogler Fm, 14 Hochschlag Fm, 15 Hubenhalt Fm, 16 Bameder Fm, 17 Heigger Fm, 18 Parmasegg Fm, 19 Flösserkogel Fm, 20 Raasberg Fm, 21 Plabutsch Fm, 22 Draxler Fm, 23 Osser Fm, 24 Tyrnaueralm Fm, 25 Rotmüller Fm, 26 Zachenspitz Fm, 27 Hochlantsch Fm, 28 Schweinegg Fm, 29 Fahrneck Fm, 30 Bärenschtütz Fm, 31 Kollerkogel Fm, 32 Steinberg Fm, 33 Sanzenkogel Fm, 34 Höchkogel Fm, 35 Hahngraben Fm. ....	12
Abbildung 4-3. Lithostratigraphie der einzelnen Faziesbereiche des Grazer Paläozoikums (Hubmann & Messner 2007). 1 = Kehr-Fm, Kötschberg-Fm; 2 = Parmasegg-Fm; 3 = Flösserkogel-Fm, Bameder-Fm; 4 = Plabutsch-Fm; 5 =Kollerkogel-Fm; 6 = Steinberg- Fm; 7 = Sanzenkogel-Fm; 8 = Höchkogel-Fm; 9 = Hahngraben-Fm; 10 = Tyrnaueralm-Fm; 11 = Zachenspitz-Fm, Hochlantsch-Fm; 12 = Bärenschtütz-Fm; 13 = Hackensteiner-Fm; 14 = Harrberger-Fm; 15 = St.-Jakob-Fm; 16 = Dornerkogel-Fm; 17 = Kogler-Fm; 18 = Hubenhalt-Fm; 19 = Taschen-Fm; 20 = Schönberg-Fm; 21 = Schöckl-Fm, Hochschlag-Fm. ....	14
Abbildung 4-4. Ausschnitt aus der geologischen Karte von Graz (Flügel et al. 2011).....	21
Abbildung 4-5. Das Sausal Paläozoikum dargestellt in einem Ausschnitt aus der geologischen Karte Blatt Leibnitz (GEOFAST Karte, Moser 2015). Die Karbonate des Burgstallkogel/Grillkogel sind 1 km südlich von Mantrach aufgeschlossen und nicht mehr im Kartengebiet abgebildet. ....	27
Abbildung 4-6. Lage der Seismik Profile F9, F10, F11 sowie WS1901. Im Hintergrund ist die präneogene Untergrundkarte von Flügel (1988) eingeblendet.....	33



Abbildung 4-7. Ausschnitt aus Seismik-Profil F10 (Weber 1998). Die Laufzeit ist in s und entspricht einer Zweiweglaufzeit. Die beiden unteren Pfeile bei ca 0,6 bis 0,7 s Laufzeit markieren jenen Horizont, der als präneogenes Basement interpretiert worden ist.....	34
Abbildung 4-8: Geologischer Profilschnitt durch das Steirische Becken mit dem Fürstenfelder Becken (Goldbrunner 2007).....	37
Abbildung 6-1: Lage der erhobenen Tiefbohrungen im Projektgebiet in der Strukturkarte des präneogenen Untergrundes (FLÜGEL 1988).....	41
Abbildung 6-2. Besichtigung des Bohrkernlagers in Pettenbach.....	43
Abbildung 6-3. Paläozische Tonschiefer der Bohrung Arnwiesen 1 aus einer Tiefe zwischen 448 und 466 m.....	45
Abbildung 6-4. Karbonatischer Tonschiefer aus der Bohrung Arnwiesen 1 (Kern 6, Tiefe 448 – 466 m).....	46
Abbildung 6-5. Dolomitbrekzie aus der Bohrung Arnwiesen 1 aus ca. 950 m Tiefe.....	47
Abbildung 6-6. Miozäner Tuffit bzw. Ignimbrit der Bohrung Petersdorf 1 aus einer Tiefe von ca. 3.030 m.....	48
Abbildung 6-7. Dünnschliff des Miozänen Tuffit/Ignimbrit der Bohrung Petersdorf 1 aus ca. 3.030 m Tiefe. ....	48
Abbildung 6-8. Paläozoischer Grünschiefer der Bohrung Blumau 1 aus ca. 1.850 m Tiefe .....	49
Abbildung 6-9. Dünnschliffe aus paläozoischem Kernmaterial der Bohrungen Pirka 1 (links) und Puntigam 3 (rechts). Beide Bohrungen erbohrten bioklastische Dolomite der Flösserkogel Formation. Die Dünnschliffe wurden gefertigt vom Institut für Erdwissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz.....	50
Abbildung 7-1. Das Team der Geländebegehung vom 9.3.2022. V.l.n.r.: Manfred Buchroithner, Bernhard Hubmann, Florian Dax, Harald Fritz, Johann Goldbrunner, Heinz Binder, David Muhr, Marcellus Schreilechner. Ebenso anwesend war Marlies Gold.....	51
Abbildung 7-2. Das Team der Geländebegehung vom 31.3.2022 im Steinbruch Weinhandl bei Hannersdorf. V.l.n.r.: Marcellus Schreilechner, Florian Dax, Harald Fritz, Hein Binder, Marlies Gold, David Muhr, Kurt Krenn, Bernhard Hubmann, Manfred Buchroithner. Bei der Geländebegehung zum Teil ebenso anwesend war Johann Goldbrunner.....	52

Abbildung 8-1: Beispiele der geothermischen Nutzungsmöglichkeiten in bestimmten Tiefenbereichen mit Angabe der erforderlichen Temperaturen (www.vgtg.ch).	57
Abbildung 8-2: Schematische Darstellung der Funktionsweise einer geothermischen Dublette. (Quelle: www.umweltbundesamt.de) .....	60
Abbildung 8-3: Kaskadenprinzip der Energienutzung (Stober & Bucher 2020).....	61
Abbildung 8-4: Übersicht Fernwärmetransportleitung Mellach-Graz und Versorgungsgebiete im Großraum Graz mit Einspeisepunkten und Anlagendaten (Grazer Energieagentur 2014).....	64
Abbildung 8-5: Lage der publizierten Profilschnitte und der verwendeten Bohrungen...	66
Abbildung 8-6: Häufigkeitsverteilung der Endteufen der verwendeten Bohrungen.....	67
Abbildung 8-7: Paläozoische Abfolgen in der Umrahmung des Steirischen Beckens.....	69
Abbildung 8-8: Störungszonen (grün hervorgehoben) in der Strukturkarte des Steirischen Becken (Kröll et al. 1988).....	70
Abbildung 8-9: Landsat-Bildlineamente im Untersuchungsgebiet (Buchroithner 1984)...	71
Abbildung 8-10: Darstellung des geothermischen Regimes im Steirischen Becken – Wärmestromdichte (nach Transenergy). .....	75
Abbildung 8-11: Temperaturverteilung im Steirischen Becken in einer Tiefe von 1.000 m (nach Transenergy) .....	75
Abbildung 8-12: Temperaturverteilung im Steirischen Becken in einer Tiefe von 2.500 m (nach Transenergy) .....	76
Abbildung 8-13: Tiefenverteilung der 100°-Isotherme im Steirischen Becken (nach Transenergy) .....	76
Abbildung 8-14: Bohrungen im Steirischen Becken – Teufen-Temperatur Diagramm. ....	78
Abbildung 9-1. Position der Seismik Profile sowie relevante Bohrungen im Untersuchungsgebiet.....	87
Abbildung 9-2. Position der Seismik Profile sowie relevante Bohrungen im Untersuchungsgebiet. Im Hintergrund ist die Karte des präneogenen Beckenuntergrundes von Flügel (1988) abgebildet.....	88
Abbildung 9-3. Position der GO Seismik Profile sowie Bohrungen nordöstlich von Graz. Im Hintergrund ist die Karte des präneogenen Beckenuntergrundes von Flügel (1988) abgebildet.....	89
Abbildung 9-4. Lageplan der Seismik-Profile STB9301(Nord) und STB9302 (Süd) sowie Bohrungen in Graz-Puntigam. ....	91

Abbildung 10-1. Karte mit Empfehlungen für Positionen neuer Seismik-Profile in der Nähe von Graz. Die eingeblendete Karte ist die Karte des präneogenen Beckenuntergrundes von Flügel (1988). Isolinien zeigen die modellierte Tiefe unter Adria-Niveau.....	103
Abbildung 10-2. Orthofoto mit Empfehlungen für Positionen neuer Seismik-Profile in der Nähe von Graz. ....	104
Abbildung 12-1. Arnwiesen 1, Kern 5 (349 - 353.5 m): Kalkstein der Steinberg Formation (OD).....	124
Abbildung 12-2. Arnwiesen 1, Kern 6 (448 - 466 m): Karbonatische Tonschiefer. Möglicherweise Hahngraben Formation („Schiefer der Dult“, OD) oder Schönberg Formation (UD).....	124
Abbildung 12-3. Arnwiesen 1, Kern 8 (947 - 951 m), Kiste 1 und 2: Dolomit. Vermutlich Flösserkogel Formation (OD). Alternative Zuordnung zur Schöckl Formation (UD). ....	125
Abbildung 12-4. Arnwiesen 1, Kern 8 (947 - 951 m): Dolomit. Vermutlich Flösserkogel Formation (OD). Alternative Zuordnung zur Schöckl Formation (UD). ....	125
Abbildung 12-5. Binderberg 1, Kern 8 (1696 - 1701m), Kiste 1 bis 5: Kataklastisches Störungszonengestein sowie Phyllit .....	127
Abbildung 12-6. Binderberg 1, Kern 8 (1696 - 1701m): Kataklastisches Störungszonengestein. ....	127
Abbildung 12-7. Blumau 1, Kern 5 (1845 - 1852m): Grünschiefer. Möglicherweise Kehr Formation (OD) oder Sausal Paläozoikum. ....	129
Abbildung 12-8. Blumau 1a, Kern 8 (2666 - 2672 m): Dolomit.....	129
Abbildung 12-9. Blumau 1a, Kern 9 (2752 - 2757 m): „Dolomit mit Tonschieferlagen“ (Beschreibung nach Bohrprofil).....	130
Abbildung 12-10. Blumau 1a, Kern 10 (2945 - 2949m): Tektonisiertes Gestein.....	130
Abbildung 12-11. Ilz Th1 – Dünnschliffphotos von Dolomiten aus Spülproben / Tiefe von 1.635 m (Hasenburger 2016). links: Dolomite mit Pyrit; rechts: Brekzie.....	137
Abbildung 12-12. Petersdorf 1, Kern 2 (3028 - 3031 m), Kiste 1 - 4: Miozäner (?) Tuffit. ...	145
Abbildung 12-13. Petersdorf 1, Kern 2 (3028 - 3031 m): Miozäner (?) Tuffit.....	145
Abbildung 12-14. Pirka 1, Dünnschliff (ca 267 m Tiefe): Frühdiagenetischer Dolomit der Flösserkogel Formation.....	148
Abbildung 12-15. Puntigam 3, Dünnschliff (ca 300 m Tiefe): Frühdiagenetischer Dolomit der Flösserkogel Formation. ....	152

Abbildung 12-16. Übersbach 1, Kern von 2666 - 2692 m: Kalkstein; teilweise mit feiner Bänderung. Das weiße Bruchstück ist eine calcitische Kluffüllung.....	161
Abbildung 12-17. Übersbach 1, Kern von 2666 - 2692 m: Kalkstein mit feiner Bänderung. ....	161
Abbildung 12-18. Dünnschliff eines paläozoischen Dolomitschiefer aus der Bohrung Übersbach 1.....	162
Abbildung 12-19. Walkersdorf 1, Kern 14 (2125 - 2131 m), Kiste 3 und 4: Dolomitbrekzie	164
Abbildung 12-20: Walkersdorf 1, Kern 14 (2125 - 2131 m): Dolomitbrekzie .....	164
Abbildung 12-21. Waltersdorf 1 Kern 8 (1168 - 1170.5 m): Dolomit.....	166
Abbildung 12-22. Waltersdorf 1, Kern 10 (1247 - 1254 m): Kalkphyllit .....	166
Abbildung 12-23. Dünnschliff des Kalkphyllits von Kern 10 (1247 - 1254 m) der Bohrung Waltersdorf 1.....	167
Abbildung 12-24. Waltersdorf 1, Kern 11 (1303 - 1309 m): Grünschiefer .....	167

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1. Matrix über die erhobenen Informationen der 41 Tiefbohrungen. Abkürzungen: Geol. Profil = Geologisches Profil, Pump.-Daten = Pumpversuchs-Daten, Grundg. = Grundgebirge (Präneogen), Förder. = Förderbrunnen, Reinjekt. = Reinjektionsbrunnen. Bei der Bohrung St. Nikolai 2 ist kein vollständiges Geologisches Profil vorhanden, sondern nur eine Stratigraphie ohne genauere Beschreibung.....	42
Tabelle 7-1. Petrophysikalische Parameter ausgewählter Formationen des Grazer Paläozoikums. ....	53
Tabelle 8-1: Nutzungsformen der Tiefen Geothermie und ihre Anforderungen in der Übersicht (u.a. nach Stober & Bucher 2020, Geoteam-Projekte). ....	62
Tabelle 8-2: Thermische Leistungen der Erzeugungsanlagen (Grazer Energieagentur 2014). ....	65
Tabelle 8-3: Grundlegende geologische Karten im Arbeitsgebiet.....	67
Tabelle 8-4: Definierte geothermische Körper für die Tiefe Geothermie im Steirischen Becken südlich von Graz. ....	73
Tabelle 8-5: Hydrogeologische und hydraulische Daten von paläozoischen Karbonatgesteinen im Steirischen Becken aus Tiefbohrungen. ....	80

Tabelle 8-6:	Geothermie-Projekte in paläozoischen Karbonaten des Steirischen Becken (Goldbrunner 2020; ergänzt). .....	81
Tabelle 9-1.	Liste der RAG Seismik Profile, dessen Ankauf für ein Folgeprojekt empfohlen wird. ....	92
Tabelle 10-1:	Kosten- und Zeitabschätzung für weiterführende Arbeiten .....	107
Tabelle 12-1:	Präneogenes Basement in der Bohrung Afling U1. ....	122
Tabelle 12-2:	Präneogenes Basement in der Bohrung Arnwiesen 1.....	123
Tabelle 12-3:	Präneogenes Basement in der Bohrung Binderberg 1. ....	126
Tabelle 12-4.	Präneogenes Basement in der Bohrung Blumau 1 nach TVD.....	128
Tabelle 12-5:	Präneogenes Basement in der Bohrung Blumau 1a nach TVD. ....	129
Tabelle 12-6:	Präneogenes Basement in der Bohrung Blumau 2. ....	131
Tabelle 12-7:	Präneogenes Basement in der Bohrung Frutura GT1.....	132
Tabelle 12-8:	Präneogenes Basement in der Bohrung Frutura GT1a. ....	132
Tabelle 12-9:	Präneogenes Basement in der Bohrung Frutura GT2.....	133
Tabelle 12-10:	Präneogenes Basement in der Bohrung Fürstenfeld Th 1.....	135
Tabelle 12-11:	Präneogenes Basement in der Bohrung Ilz Th 1.....	137
Tabelle 12-12:	Präneogenes Basement in der Bohrung Köflach Th 1. ....	138
Tabelle 12-13:	Präneogenes Basement in der Bohrung Krottendorf 1.....	139
Tabelle 12-14:	Präneogenes Basement in der Bohrung Litzelsdorf 1.....	140
Tabelle 12-15:	Präneogenes Basement in der Bohrung Ludersdorf 1. ....	141
Tabelle 12-16:	Präneogenes Basement in der Bohrung Perbersdorf 1.....	143
Tabelle 12-17:	Präneogenes Basement in der Bohrung Petersdorf 1.....	144
Tabelle 12-18:	Präneogenes Basement in der Bohrung Pichla 1.....	146
Tabelle 12-19:	Präneogenes Basement (?) in der Bohrung Pirka 1. ....	147
Tabelle 12-20:	Präneogenes Basement (?) in der Bohrung Puntigam 2.....	150
Tabelle 12-21:	Präneogenes Basement in der Bohrung Puntigam 3.....	151
Tabelle 12-22:	Präneogenes Basement in der Bohrung Radochen 1.....	153
Tabelle 12-23:	Präneogenes Basement in der Bohrung St. Nikolai 1.....	154
Tabelle 12-24:	Präneogenes Basement in der Bohrung St. Nikolai 2.....	155
Tabelle 12-25:	Präneogenes Basement in der Bohrung St. Peter 1. ....	156
Tabelle 12-26:	Präneogenes Basement in der Bohrung Söding 1. ....	157
Tabelle 12-27:	Präneogenes Basement in der Bohrung Stegersbach Th1.....	158
Tabelle 12-28:	Präneogenes Basement in der Bohrung Übersbach 1. ....	160
Tabelle 12-29:	Präneogenes Basement in der Bohrung Walkersdorf 1. ....	163

Tabelle 12-30:	Präneogenes Basement in der Bohrung Waltersdorf 1.....	165
Tabelle 12-31:	Präneogenes Basement in der Bohrung Waltersdorf 2/2a.....	168
Tabelle 12-32:	Präneogenes Basement in der Bohrung Wiersdorf 1. ....	170
Tabelle 12-33:	Präneogenes Basement in der Bohrung Wollsdorf 1.....	171

# 1 Executive Summary

In der vorliegenden (Vor-) Machbarkeitsstudie wurde der aktuell verfügbare geologische Datenbestand für eine hydrothermale Nutzung des tiefen Untergrunds südlich und südöstlich von Graz zusammengestellt und analysiert. Als mögliche hydrothermale Tiefengrundwasserleiter werden Karbonate des sogenannten Grazer Paläozoikums betrachtet. Im Gebiet der Gemeinde Graz und in einer Entfernung von ca. 15 km von der bestehenden Fernwärmeleitung sind nur sehr wenige Daten für die Abschätzung des Geothermiepotenzials vorhanden. Daher wurde der Studienbereich um ca. 50 km Richtung Osten erweitert, um die Erfahrungen aus den erfolgreichen Geothermiebohrungen des oststeirischen Beckens einbeziehen zu können. Die Betriebsdaten der wirtschaftlich erfolgreichen dortigen Projekte lassen eine Nutzung von geothermischer Energie in der Umgebung von Graz möglich erscheinen.

Das geothermische Potenzial wird wesentlich von den Faktoren

- Durchlässigkeit der Gesteine
- Temperaturgradient
- Tiefe

gesteuert.

Bei einem Temperaturgradienten von ca. 3,5 K/100 m sind im Grazer Raum und im Bereich südlich und südöstlich davon Temperaturen von 70 °C (bei Erschließungstiefen von 1.700 m) bzw. 90 °C in 2.300 m Tiefe möglich. Eine erfolgreiche Thermalwassererschließung in diesen Tiefen setzt aber voraus, dass ergiebige, gut durchlässige Gesteine vorhanden sind. Zur Klärung dieser Frage bedarf es jedoch noch umfangreicher Untersuchungen.

Dazu werden gezielte weiterführende Arbeiten wie eine

- Systematische Neuaufnahme der Bohrkerne im Steirischen Becken
- Bestimmung der Kinematik der Störungen am Rand des Steirischen Becken mit besonderem Augenmerk auf die Leberstörung
- Auswertung und Interpretation von Luft- und Satellitenbildern sowie hoch aufgelösten Geländemodellen
- Neubearbeitung von vorhandenen Seismikdaten
- Neuaufnahme von reflexionsseismischen 2D Profilen

- Erstellung eines geologisch-hydrogeologischen Konzeptmodells als Basis für die Bohrplanung

vorgeschlagen. Für die Umsetzung dieser Maßnahmen wurden Kosten in der Größenordnung von 2,01 – 2,21 Mio. € und ein Bearbeitungszeitraum von mindestens 18 Monaten ab Beauftragung abgeschätzt. Danach können die Planung und Errichtung einer Erkundungsbohrung, auf Grundlage eines geologisch-hydrogeologischen Konzeptmodells (Arbeitsmodell), ins Auge gefasst werden.

Ziel der Erkundungsbohrung ist es, das Vorkommen eines hydrothermalen Tiefengrundwasserleiters in der Umgebung von Graz zu verifizieren. Im Anschluss kann basierend auf den bis dahin geschaffenen Datengrundlagen eine 3D Seismik geplant und aufgenommen werden, welche als Grundlage für die systematische Erschließung des hydrothermalen Tiefengrundwasserleiters dient.



## 2 Fragestellung

Verschiedene Studien (z.B. GeoEnergie 2050, Joanneum Research) prognostizieren eine realistische Anwendungskapazität der Tiefen Geothermie in Österreich zwischen 450 MW<sub>th</sub> bis 700 MW<sub>th</sub> (Megawatt thermische Leistung). Aufgrund nationaler (Oberösterreichisches Molassebecken; Fürstenfelder Becken, Steiermark) und internationaler Erfahrungen (Süddeutsches Molassebecken in Bayern; Oberrheingraben, Baden-Württemberg) aus erfolgreichen Geothermieprojekten ist bekannt, dass eine geothermische Wärmenutzung vor allem aus karbonatischen Gesteinen (Kalke, Dolomite) wirtschaftlich betrieben werden kann. Diese Wärmenutzungen für Nah- und Fernwärmeversorgungen werden aus wasserrechtlichen und lagerstättentechnischen Gründen über sogenannte geothermische Dubletten (Förder- und Verpressbohrung) betrieben.

Die geologischen Voraussetzungen für eine tiefen-geothermische Nutzung in der Umgebung von Graz sind weitgehend unbekannt. In der Stadt Graz und in unmittelbarer Nähe sind lediglich drei Bohrungen vorhanden, die auf einen geothermisch nutzbaren karbonatischen Tiefengrundwasserleiter hinweisen. Hierbei handelt es sich um die Bohrungen Puntigam 2 und 3 sowie Pirka 1 (GKB 3), welche Karbonatgesteine des Grazer Paläozoikums ab einer Tiefe von etwa 250 m erbohrt haben. Für eine tiefen-geothermische Nutzung ist entscheidend, dass diese Karbonatgesteine in größerer Tiefe vorkommen. Südlich von Graz ist in der geologischen Untergrundkarte des Steirischen Becken (Kröll et al. 1988) ein Bereich ausgewiesen, in dem der präneogene Beckenuntergrund - und damit möglicherweise die in der Nähe erbohrten Karbonate des Grazer Paläozoikums – in etwa 1.000 m unter der Geländeoberkante liegt.

Neuere Arbeiten über das Steirische Becken zeigen zudem, dass die in der geologischen Untergrundkarte modellierten Tiefenwerte die tatsächliche Tiefe oft signifikant unterschätzen. Die maximale Tiefenlage des präneogenen Beckenuntergrundes im Oststeirischen (Gnaser) Becken wurde in der Untergrundkarte mit ca. 2.400 m modelliert. Die Bohrung Petersdorf 1 erreichte diesen jedoch selbst in einer Tiefe von 3.030 m nicht – an einer Stelle wo die Modellierung den präneogenen Beckenuntergrund in 2.100 m vorausgesagt hätte. In einem späteren Tagungsbeitrag (Sperl & Wagini 1994) wurde die maximale Tiefenlage des Gnaser Beckens auf mindestens 4.000 m unter Gelände revidiert. Neueste Untersuchungen von

Seismikprofilen im Zuge einer Diplomarbeit an der Montanuniversität Leoben im Gnaser Becken (Dax 2021) bestätigen diese Annahme. Daher könnte auch südlich von Graz der Beckenuntergrund wesentlich tiefer liegen als die modellierte Tiefe von etwa 1.000 m.

Vor diesem Hintergrund erscheint es lohnend, gezielte erste Untersuchungen zur Erschließung von tiefen-geothermischer Energie für die Stadt Graz durchzuführen, die eine mögliche Klärung folgender Fragen im Fokus haben:

- Gibt es im tieferen Untergrund (präneogenes Basement) von Graz einen porösen-permeablen Thermalwasserleiter bzw. Karbonate des Grazer/Sausal Paläozoikum?
- Wie weit nach Süden/Südosten der Stadt Graz reicht das Grazer Paläozoikum (Karbonate) im Untergrund?
- In welcher Tiefenlage liegen diese Karbonatgesteine?
- Wie mächtig sind diese Karbonatgesteine ausgebildet?
- Welche Untergrund-Temperaturen (Temperaturgradienten) sind südlich von Graz anzunehmen?

Im vorliegenden Bericht wird im Sinne einer Vor-Machbarkeitsstudie die solide Datengrundlage recherchiert, um diese Fragen im Ansatz qualifiziert zu beantworten. Dabei wird – auch in Hinblick auf eine Minimierung des geologischen Risikos – auf fundierte, belastbare Untergrundinformationen Wert gelegt, weshalb u.a. gezielte Laboruntersuchungen sowie eine Neubearbeitung und -Interpretation der vorhandenen Informationen durchgeführt wird. Von den Ergebnissen abgeleitet werden Empfehlungen für weiterführende Untersuchungen ausgearbeitet. Die Vorgehensweise ist in Abbildung 1.1 als Ablaufschema dargestellt.

# GEOHERMISCHES POTENZIAL - METHODIK

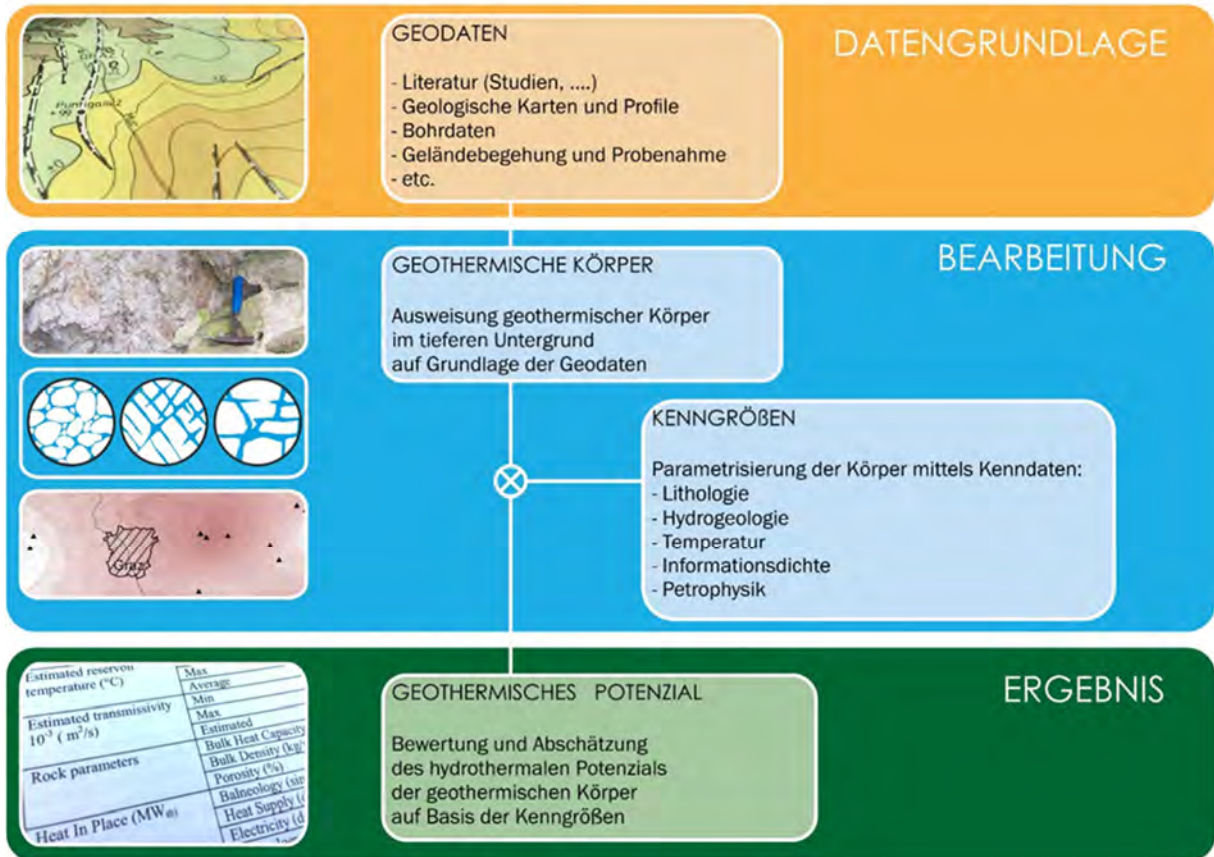


Abbildung 2-1: Ablaufschema für das Geothermie-Graz – Projekt.

### **3 Beauftragung, Projektteam und Projektgebiet**

#### **3.1 Beauftragung und Inhalt des Projekts**

In diesem Bericht werden die Ergebnisse sämtlicher Arbeitspakete des Projektes „**Machbarkeitsstudie über eine Nutzung von Wärmeenergie aus Tiefer Geothermie im Großraum Graz (Pre-Feasibility Geothermie Graz)**“ dargestellt.

Das Gesamtprojekt wird laut Angebot von Geo5 in folgende Arbeitspakete geteilt:

Arbeitspaket 1:	Aufbereitung vorhandener Bohrungsinformationen
Arbeitspaket 2:	Literaturstudie
Arbeitspaket 3:	Geologische Arbeiten am Beckenrand und Petrophysik
Arbeitspaket 4:	Abschätzung eines möglichen hydrothermalen Geothermie Potenzials
Arbeitspaket 5:	Vorhandene Seismikdaten in der Umgebung von Graz
Arbeitspaket 6:	Berichtserstellung und Präsentation

Als Auftraggeber der einzelnen Arbeitspakete treten folgende Institutionen auf:

#### **AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG**

A 15 - Fachabteilung Energie und Wohnbau  
Referat Energietechnik und Klimaschutz  
Landhausgasse 7, 8010 Graz

#### **Stadt Graz**

Umweltamt  
Schmiedgasse 26, 8010 Graz

#### **Energie Graz GmbH & Co KG**

NFS  
Schönaugürtel 65, 8010 Graz

#### **Energie Steiermark Wärme GmbH**

Puchstraße 51, 8020 Graz

#### **Holding Graz – Kommunale Dienstleistungen GmbH**

Andreas Hofer Platz 15, 8010 Graz  
(Bestellung ausgeführt durch Grazer Energieagentur GmbH)

## **3.2 Projektteam**

Das gegenständliche Projekt wird von Mitarbeitern der beiden Ingenieurbüros für Erdwissenschaften Geo5 GmbH, Leoben, und Geoteam Ges.m.b.H., Graz, bearbeitet. Die Geo5 GmbH tritt als Auftragnehmerin gegenüber den fünf Auftraggeberinnen auf und die Geoteam Ges.m.b.H. arbeitet als Vertragspartner der Geo5 GmbH.

Als Mitarbeiter der einzelnen Arbeitspakete wirken folgende Personen mit:

### **Geo5 GmbH, Leoben:**

#### **DI Dr. mont. Marcellus Gregor Schreilechner (Projektleiter)**

Geschäftsführer Geo5, Geowissenschaftler und Gerichtssachverständiger für Geophysik, Experte für geophysikalische Erkundungen; Dissertation zur Geologie des Steirischen Beckens  
Lehrtätigkeit an TU Graz und Universität Salzburg für Geophysik

[marcellus.schreilechner@geo-5.at](mailto:marcellus.schreilechner@geo-5.at)

#### **DI Florian Dax**

Geowissenschaftler mit Schwerpunkt Seismik- und Bohrlochdaten-Interpretation; Diplomarbeit über die Geologie des Steirischen Beckens: „The central Styrian Basin (Gnas Subbasin): Structure and stratigraphy revealed by seismic and borehole data“ an der Montanuniversität Leoben

[florian.dax@geo-5.at](mailto:florian.dax@geo-5.at)

### **Geoteam GmbH, Graz:**

#### **Univ.-Prof. Dr. Johann Goldbrunner**

Geschäftsführer Geoteam; Gerichtssachverständiger für Geologie und Mineralogie, Grundwasser, Gewinnung & Geothermie; Betriebsleiter gem. MinROG § 127; Expert für Tiefe Geothermie; Lehrtätigkeit u.a. an der TU Graz, FH Pinkafeld

[goldbrunner@geoteam.at](mailto:goldbrunner@geoteam.at)

#### **Mag.<sup>a</sup> Marlies Gold**

Geologin mit Schwerpunkten Tiefe Geothermie, Gutachten und Studien, Geostatistik, Visualisierung von geologisch-hydrogeologischen Daten

[gold@geoteam.at](mailto:gold@geoteam.at)

### **David Muhr, MSc**

Hydrogeologe mit Schwerpunkten Gutachten, Datenmanagement und -aufbereitung,  
Feldmessungen und hydrochemische Probenahme

[muhr@geoteam.at](mailto:muhr@geoteam.at)

### **Mag. Hans Peter Heiss**

Geologe mit Schwerpunkten Bohrplanung, hydraulische Auswertungen, GIS-Bearbeitungen,  
Technische CAD-Planerstellung

[heiss@geoteam.at](mailto:heiss@geoteam.at)

Das Projektteam wurde von folgenden Geologen beraten und wesentlich im Bereich des aktuellen Kenntnisstandes der regionalen Geologie des Paläozoikums von Graz, Sausal und Südburgenland sowie bei den Beschreibungen der Bohrkerne unterstützt:

em.O.Univ.-Prof. Dr.phil. Manfred F. Buchroithner, vormals TU Dresden,

em.O.Univ.-Prof. Dr.phil. Fritz Ebner, vormals Montanuniversität Leoben,

Ao.Univ.-Prof.i.R. Dr.phil. Harald Fritz, vormals Universität Graz,

Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Bernhard Hubmann, Universität Graz,

Priv.-Doz. Mag. Dr.rer.nat. Kurt Krenn, Universität Graz

### **3.3 Projektgebiet**

Als Projektgebiet wurde im Wesentlichen das Steirische (Neogen-)Becken mit seiner Umrahmung (Randgebirge) definiert, wobei für die gegenständliche Fragestellung vor allem die Teilbereiche Weststeirisches Becken, Gnaser Becken und Fürstenfelder Becken von vorrangigem Interesse sind. Abbildung 3-1 zeigt die Begrenzung des Projektgebietes in einer topografischen Karte; Abbildung 3-2 in der Strukturkarte des präneogen Beckenuntergrundes.

Im Süden und Westen fungiert die steirische Landesgrenze gleichzeitig als Projektbegrenzung. Orientierend am Randgebirge (Grazer Bergland, Joglland ...), wurde die schematisierte nördliche Umrisslinie des Steirischen Becken gezogen. Für die östliche Abgrenzung wurde der sog. Oberwarter Verwurf, eine markante tektonische Störungszone mit Nord-Süd – Verlauf, für die Begrenzung herangezogen. Im Südosten bildet die in südwest-nordöstlicher Richtung verlaufende Südburgenländische Schwellenzone den Rand des Fürstenfelder Beckens und damit des Projektgebietes.



Abbildung 3-1: Abgrenzung des Projektgebietes in der topografischen Karte (Kartengrundlage: ÖBV – FREYTAG & BERNDT Atlas Online).

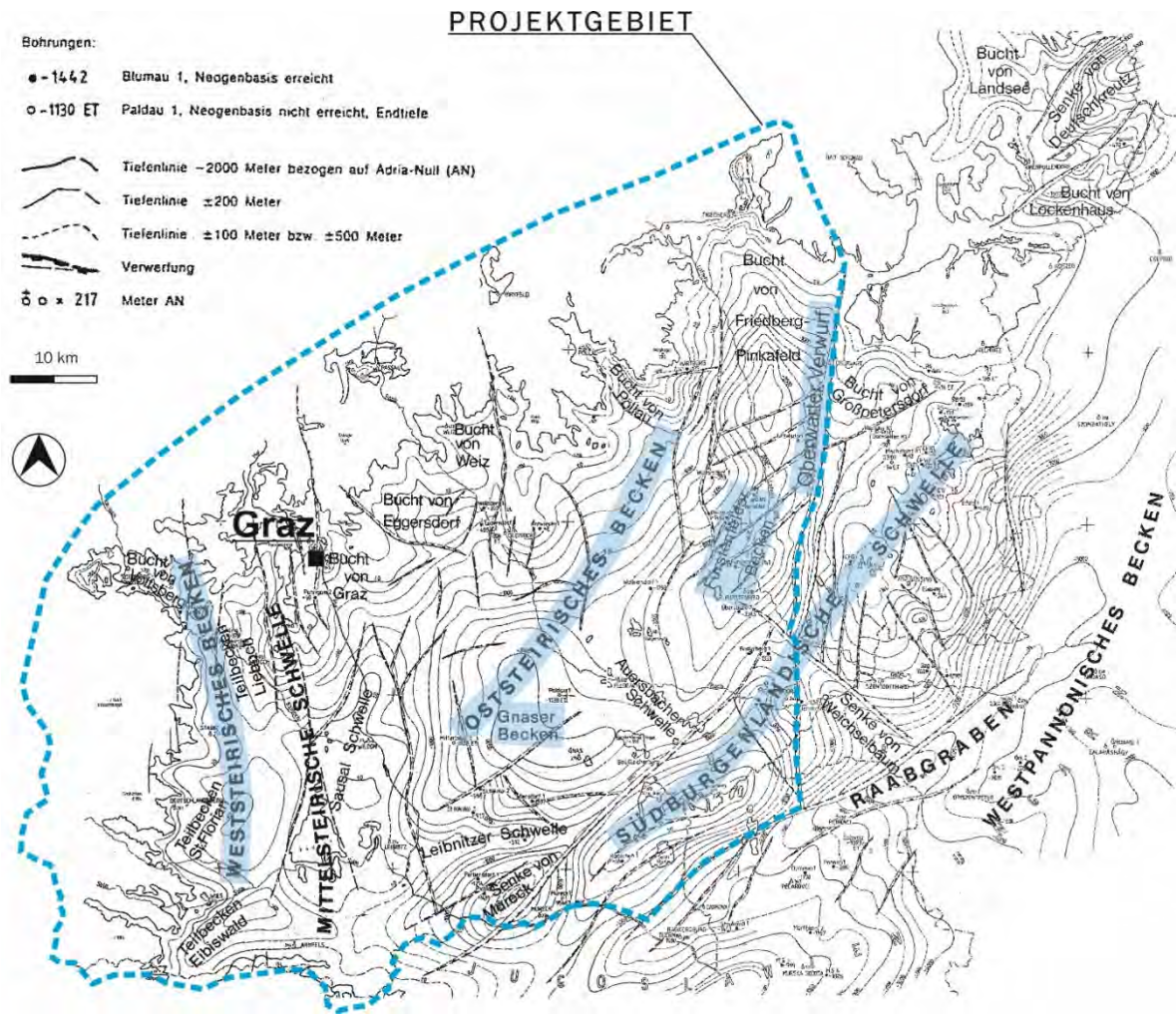


Abbildung 3-2: Abgrenzung des Projektgebietes in der Strukturkarte des präneogenen Beckenuntergrundes (Kröll et al. 1988).





Im Westen, Norden und Osten ist das Grazer Paläozoikum von kristallinen Gesteinen der oberostalpinen Koralpe-Wölz und Silvretta-Seckau Deckensysteme umgeben. Im Südwesten überlagern Sedimentgesteine der Kainacher Gosau diskordant das Grazer Paläozoikum (Schmid et al. 2004, Gasser et al. 2010). Im Süden taucht das Grazer Paläozoikum unter den neogenen Sedimentgesteinen des Steirischen Becken ab. Zahlreiche Bohrungen haben verdeutlicht, dass das Grazer Paläozoikum auch weiträumig im Beckenuntergrund des Steirischen Beckens auftritt (Kröll et al. 1988).

Innerhalb des Grazer Paläozoikums werden fünf Faziesbereiche unterschieden: Hochlantsch-, Rannach-, Schöckl-, Lafnitzdorfer- und Kalkschiefer-Fazies. Die Hochlantsch- und Rannach-Fazies stellen die landnahen Bereiche dar; die Schöckl-Fazies nimmt eine mittlere Position ein und die Lafnitzdorfer- und Kalkschiefer-Fazies entsprechen landfernen Bereichen (Ebner et al. 2000, Gasser et al. 2010). Zusätzlich zu den Faziesbereichen wird das Grazer Paläozoikum intern in zwei (Gasser et al. 2010) bzw. drei (Ebner et al. 2001) Deckensysteme gegliedert. Ebner et al. (2001) beschreiben eine basale Deckengruppe („Schöckl-Hochschlag-Deckengruppe“), eine mittlere Deckengruppe („Lafnitzdorfer- und Kalkschiefer Decken“) und eine höhere Deckengruppe („Rannach-Hochlantsch-Decken“). Gasser et al. (2010) gliedern das Grazer Paläozoikum hingegen nur in ein unteres und ein oberes Deckensystem. Die beiden Deckensysteme werden durch die Rannach-Überschiebung (Rannach Thrust) getrennt (Abbildung 4-2).

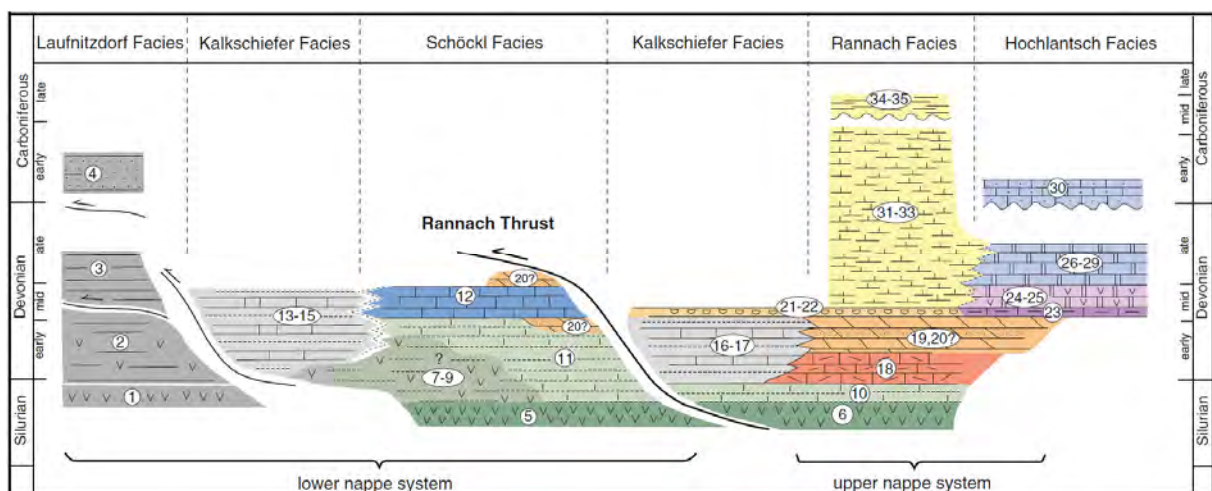


Abbildung 4-2. Deckensysteme und Stratigraphie des Grazer Paläozoikums (Gasser et al. 2010). 1 Hackensteiner Fm, 2 St. Jakob Fm, 3 Harrberger Fm, 4 Dornerkogel Fm, 5 Taschen Fm, 6 Kehr Fm, 7 Semriach Phyllite Fm, 8 Heilbrunn Phyllite Fm, 9 Hirschkogel Phyllite Fm, 10 Kötschberg Fm, 11 Schönberg Fm, 12 Schöckl Fm, 13 Kogler Fm, 14 Hochschlag Fm, 15 Hubenhalt Fm, 16 Bameder Fm, 17 Heigger Fm, 18 Parmasegg Fm, 19 Flösserkogel Fm, 20 Raasberg Fm, 21 Plabutsch Fm, 22 Draxler Fm, 23 Osser Fm, 24 Tyrnaueralm Fm, 25 Rotmüller Fm, 26 Zachenspitz Fm, 27 Hochlantsch Fm, 28 Schweinegg Fm, 29 Fahrneck

Fm, 30 Bärenschütz Fm, 31 Kollerkogel Fm, 32 Steinberg Fm, 33 Sanzenkogel Fm, 34 Höchkogel Fm, 35 Hahngraben Fm.

Das untere Deckensystem nach Gasser et al. (2010) besteht aus Gesteinen der Schöckl-, Kalkschiefer-, und Laufnitzdorfer-Fazies; das obere Deckensystem aus Hochlantsch-, Rannach- und Kalkschiefer-Fazies. Gesteine die von Ebner et al. (2001) der mittleren Deckengruppe zugerechnet werden, werden von Gasser et al. (2010) daher überwiegend dem unteren Deckensystem zugeteilt. Der vorliegende Bericht folgt der Einteilung in zwei Deckensysteme nach Gasser et al. (2010). Die Deckenstapelung fand wahrscheinlich während der Unterkreide statt (Fritz 1988).

### **Fazielle Entwicklung & Lithostratigraphie**

Im Folgenden wird die fazielle Entwicklung und Lithostratigraphie des Grazer Paläozoikums beschrieben. Fokus liegt dabei auf der Schöckl-Fazies (unteres Deckensystem) sowie der Rannach-Fazies (oberes Deckensystem), da diese beiden Faziesbereiche in der näheren Umgebung von Graz auftreten. Abbildung 4-3 zeigt die Lithostratigraphie der einzelnen Faziesbereiche.

Die fazielle Entwicklung des Grazer Paläozoikums beginnt mit silurischen vulkanogenen und vulkanoklastischen Gesteinen, die das Resultat eines intra-kontinentalen Rifting darstellen (Ebner et al. 2000). Im unteren Deckensystem handelt es sich dabei um (Flecken)Grünschiefer und Metabasalte der Taschen Formation (Schöckl Fazies). Äquivalente Gesteine im oberen Deckensystem sind die weniger metamorphen Tuffe, Tuffite sowie untergeordnet auch Lavagesteine der Kehr Formation. Die Mächtigkeit dieser basalen, vulkanogenen Abfolge beträgt bis zu mehrere 100 m (Neubauer 1991, Flügel 2000, Gasser et al. 2010).

Im Obersilur und Unterdevon folgt ein gradueller Übergang zu feinklastisch-kalkigen Sedimenten. Schwarzschiefer und dunkle Kalksteine einer euxinischen Beckenentwicklung werden in der Schöckl Fazies als Schönberg Formation zusammengefasst. In der Rannach Fazies wird die äquivalente Kötschberg Formation von schwarzen Kalksteinen mit eingeschalteten Tonschiefern dominiert. Im Unterdevon bildet sich eine starke fazielle Differenzierung zwischen Schöckl Fazies und Rannach Fazies heraus. Während die Kötschberg Formation der Rannach Fazies möglicherweise bereits ab dem obersten Silur und spätestens im Unterdevon von Sedimentgesteinen einer Karbonatrampe (Parmasegg Formation) überlagert wird, setzt sich die euxinische Beckenentwicklung in der Schöckl Fazies durch das gesamte Unterdevon fort (Gasser

et al. 2010). Neben der Schönberg Formation stellen Gasser et al. (2010) auch die Serizit- und Chloritschiefer der Passail Gruppe überwiegend ins Unterdevon der Schöckl Fazies. Die Faziesbereiche zeigen auch Unterschiede in den Mächtigkeiten. Während die Kötschberg Formation weniger als 30 m mächtig ist, ist die Schönberg Formation hingegen möglicherweise über 300 m mächtig (Flügel 2000, Ebner et al. 2000).

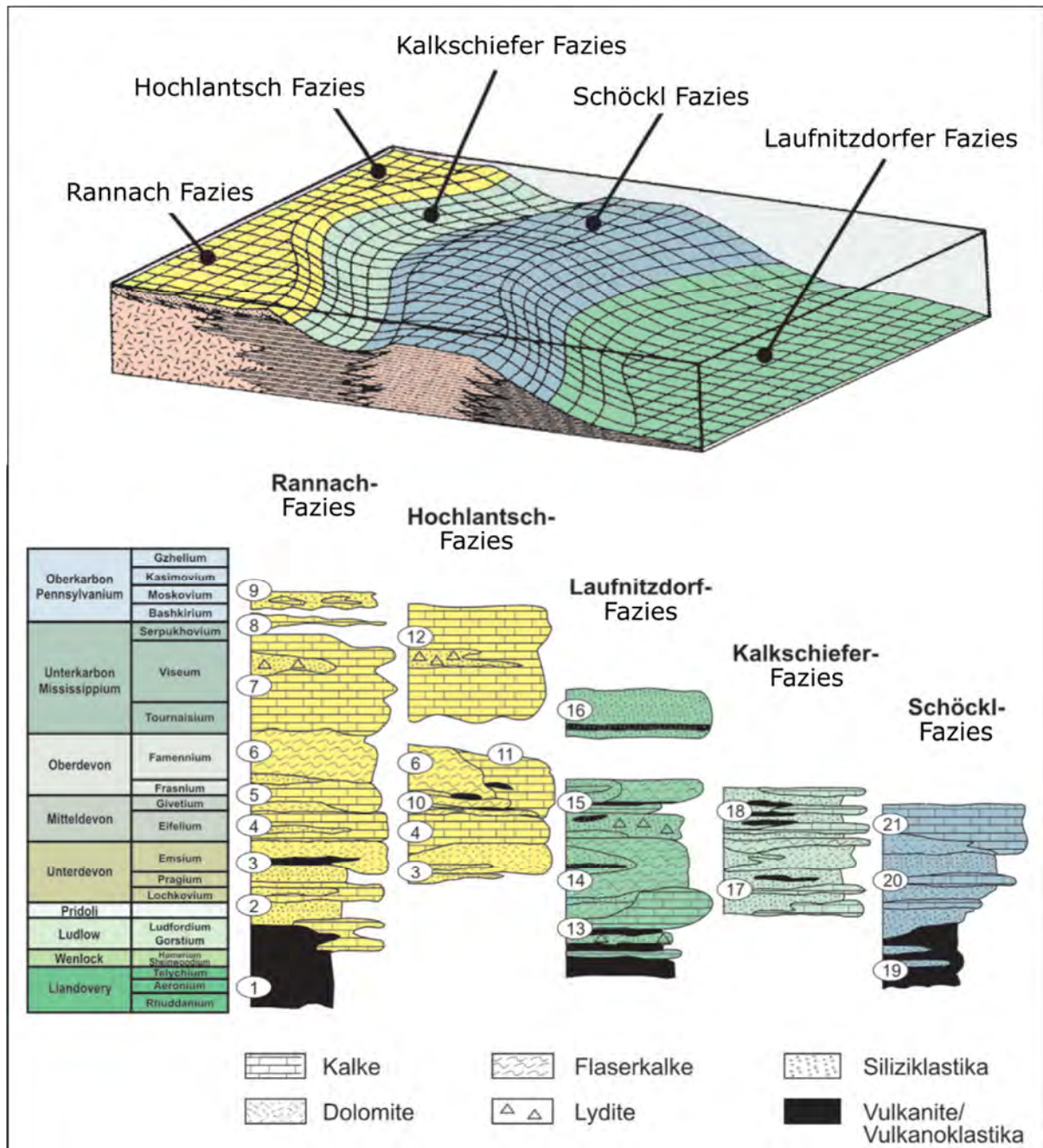


Abbildung 4-3. Lithostratigraphie der einzelnen Faziesbereiche des Grazer Paläozoikums (Hubmann & Messner 2007). 1 = Kehr-Fm, Kötschberg-Fm; 2 = Parmasegg-Fm; 3 = Flösserkogel-Fm, Bameder-Fm; 4 = Plabutsch-Fm; 5 = Kollerkogel-Fm; 6 = Steinberg-Fm; 7 = Sanzenkogel-Fm; 8 = Höchkogel-Fm; 9 = Hahngraben-Fm; 10 = Tyrnaueralm-Fm; 11 = Zachenspitz-Fm, Hochlantsch-Fm; 12 = Bärenschütz-Fm; 13 = Hackensteiner-Fm; 14 = Harrberger-Fm; 15 = St.-Jakob-Fm; 16 = Dornerkogel-Fm; 17 = Kogler-Fm; 18 = Hubenhalt-Fm; 19 = Taschen-Fm; 20 = Schönberg-Fm; 21 = Schöckl-Fm, Hochschlag-Fm.

Eine Annäherung an den Äquatorialbereich führte im Devon zu ausgeprägter Karbonatproduktion in einem küstennahen, flachmarinen Ablagerungsraum (Ebner et al. 2001). In der Schöckl Fazies werden die Phyllite und Schiefer der euxinischen Beckenentwicklung von den mehreren 100 m mächtigen, blauweiß gebänderten Kalksteinen der Schöckl Formation überlagert. Die Schöckl Formation stellt den Abschluss der faziellen Entwicklung innerhalb der Schöckl Fazies dar (Ebner et al. 2000, Gasser et al. 2010). In der Rannach Fazies überlagert die Parmasegg Formation die Kötschberg Formation. Die meist um 150 m mächtige Parmasegg Formation ist faziell und lithologisch vielfältig und umfasst neben den dominierenden Crinoidenschuttkalken auch Phyllite, Tonschiefer, Plattenkalke, Dolomite und Mergel (Flügel 2000). Die Flösserkogel Formation überlagert die Parmasegg Formation und verzahnt teilweise auch mit dieser (Flügel 2000). Aufgebaut wird die Flösserkogel Formation aus basalen Dolomitsandsteinen, einer mittleren Wechselfolge von Tuffen und Dolomiten sowie einem mächtigen Dolomitkomplex mit basal hellen und hangend dunklen Dolomiten (Fenninger & Holzer 1978). Mächtigkeitsangaben variieren von 500 m (Ebner et al. 2001) bis 1000 m (Fenninger & Holzer 1978), wobei letzterer Wert als addierte Maximalmächtigkeit zu verstehen ist. Über der Flösserkogel Formation folgt die Plabutsch Formation, welche aus dunklen, typischerweise fossilreichen mitteldevonen Kalksteinen besteht. Die Mächtigkeit der Plabutsch Formation liegt Flügel (2000) zufolge bei etwa 80 m. In der Bohrung II / 3B, die im Zuge der Errichtung des Plabutschtunnel abgeteuft wurde, wurde die Plabutsch Formation hingegen mit einer scheinbaren Mächtigkeit von über 200 m angetroffen (Brunnenbau Etschel + Meyer G.m.b.H 1976). Die Plabutsch Formation wird von der etwa 100 m mächtigen, karbonatischen Kollerkogel Formation überlagert. Teil dieser Formation sind die ebenso um die 100 m mächtigen Kalksteine der Kanzel Subformation („Kanzelkalk“). Neben Kalksteinen treten in der Kollerkogel Formation auch Dolomite auf (Gaisbergsattel Subformation) (Flügel 2000).

Im Oberdevon erfolgt eine Vertiefung des Ablagerungsraumes, die bis in das Unterkarbon anhält. Die etwa 70 m mächtige, oberdevone Steinberg Formation besteht aus gelben, rötlichen, violetten und oftmals tonigen Flaserkalken (Buchroithner et al. 1979). Hangend folgen graue, leicht geflaserte Kalksteine der etwa 30 m mächtigen unterkarbonen Sanzenkogel Formation. Verkarstung dieser ehemals tiefmarinen, unterkarbonen Kalksteine ist möglicherweise das Ergebnis variszischer Tektonik (Gasser et al. 2010). Auf den Hiatus folgen oberkarbone Kalksteine und

Tonschiefer, welche als variszischer Flysch interpretiert werden (Neubauer et al. 2007, Gasser et al. 2010). Die dunkelgrauen bis schwarzen, bis zu 20 m mächtigen Kalksteine werden als Höchkogel Formation bezeichnet („Kalke der Dult“ in Ebner 1976, 1978a). Die stratigraphisch jüngste Einheit des Grazer Paläozoikums sind die zumindest 50 m mächtigen, kaum karbonatischen, schwarzen Tonschiefer der Hahngraben Formation („Schiefer der Dult“ in Ebner 1976, 1978a).

### **Mächtigkeit des Grazer Paläozoikums**

Über die Gesamtmächtigkeit des Grazer Paläozoikums gibt es im Grazer Bergland nur punktuelle Informationen. Gasser et al. (2010) gehen von einer Gesamtmächtigkeit von 1 bis 2 km aus. Die Bohrung Afling U1 durchbohrte das gesamte Paläozoikum im Beckenuntergrund der Kainacher Gosau. Je nachdem ob eine 70 m mächtige Marmorfolge im Liegenden des Grazer Paläozoikums noch diesem zugeteilt wird, ist das Paläozoikum in Afling U1 910 m bzw. 980 m mächtig. Die gesamte paläozoische Abfolge wird in dieser Bohrung dem unteren Deckensystem zugeteilt (Kröll & Heller 1978). Inwiefern sich die Gesamtmächtigkeit bei Anwesenheit beider Deckensysteme erhöht, bleibt unklar.

Im Steirischen Becken sind neben Bohrungen auch Seismikdaten vorhanden, die eine Abschätzung der Mächtigkeit ermöglichen. Hier zeigt sich eine Variabilität in der Mächtigkeit von knapp 300 m bis zu etwa 1.000 m. Im Fürstenfelder Becken durchteufte Waltersdorf 1 auf einer Hochzone 420 m Paläozoikum, bevor das unterlagernde Kristallin erreicht wurde. Von den 420 m werden 145 m der unter- bis mitteldevonen karbonatischen Hangendfolge zugeschrieben. Die verbleibenden 275 m sind Teil der tonig-vulkanogenen Liegendfolge (Ebner 1978b). Im Beckenzentrum erbohrte Fürstenfeld Th 1 knapp 400 m Paläozoikum ohne das unterlagernde Kristallin zu erreichen. Die karbonatische Hangendfolge ist in Fürstenfeld Th 1 mit knapp 340 m um nahezu 200 m mächtiger als in Waltersdorf 1. Seismikdaten legen eine Gesamtmächtigkeit des Paläozoikums im Zentrum des Fürstenfelder Beckens von etwa 1 km nahe (Goldbrunner 1988). Der Mächtigkeitsunterschied zwischen der Hochzone von Waltersdorf und dem Beckenzentrum kann durch Erosion auf der Hochzone und/oder durch neogene Tektonik erklärt werden. Arnwiesen 1 erbohrte auf einer Schwellenzone zwischen Fürstenfelder und Gnaser Becken 611 m Paläozoikum ohne das Kristallin zu erreichen (Ebner 1978b). Seismikdaten des nördlichen Gnaser Beckens legen eine variierende Mächtigkeit des Paläozoikums im Beckenuntergrund von mehreren hundert Metern nahe. Die starke Variabilität ist das

Ergebnis neogener Tektonik, bei der es im Gnaser Becken zu einer intensiven Zerstückelung des Paläozoikums kam (Dax 2021).

#### **4.1.2 Sausal Paläozoikum**

Als Sausal Paläozoikum werden die oberostalpinen, paläozoischen Gesteine des Sausal bezeichnet. Lithologisch dominieren niedrigmetamorphe Schiefer. Das Sausal Paläozoikum taucht in allen Richtungen unter quartäre und neogene Schichten des Steirischen Becken. Eine zumindest grünschieferfazielle Metamorphose der Gesteine erschwert einen Vergleich mit anderen paläozoischen Einheiten wie beispielsweise das Grazer Paläozoikum (Hubmann et al. 2014). Wie das Grazer Paläozoikum ist auch das Sausal Paläozoikum Teil des Drauzug-Gurktal Deckensystem (Schmid et al. 2004). Kröll et al. (1978) ordnen das Sausal Paläozoikum der Stolzalpen-Decke des Drauzug-Gurktal Deckensystem zu und verweisen dabei auf einen wissenschaftlichen Artikel von Winkler aus dem Jahr 1933, ohne das Zitat in der Literaturliste anzuführen. Eine Durchsicht der Veröffentlichungen von Winkler aus dem Jahr 1933 hat jedoch keinen Hinweis auf eine großtektonische Zuordnung ergeben.

Über das Sausal Paläozoikum sind vergleichsweise wenig wissenschaftliche Arbeiten vorhanden. Der aktuelle Wissensstand beschränkt sich im Wesentlichen auf die Dissertation von Schlamberger (1987) und einer damit verbundenen Veröffentlichung (Schlamberger 1988). Die Arbeiten von Schlamberger sind bis heute die aktuellsten und bei weitem umfassendsten Darstellungen des Sausal Paläozoikums.

Die stratigraphische Entwicklung beginnt nach Schlamberger (1987) mit einem oberordovizischen, sauren Vulkanitkomplex aus Serizitschiefern, die das Umwandlungsprodukt von Rhyolithen darstellen (Hanselmayer 1961). Der überlagernde Metapelitkomplex besteht aus Phylliten, Karbonatphylliten und Metatuffen. Darin finden sich geringmächtige Lagen und Linsen von Kalkmarmor. Hangend finden sich Metabasalte (Diabase) eines kontinentalen Intraplattenvulkanismus mit vermutlich obersilurischem Alter sowie Metapsammite mit vereinzelt Phyllitlagen. Die Metabasalte werden als Ergebnis eines beginnenden Rifting interpretiert. Die Metapsammite, die aus quarz- und feldspatreichen Sandsteinen hervorgingen, stellen vermutlich ehemalige turbiditische Ablagerungen dar (Schlamberger 1988). Die stratigraphische Abfolge endet mit devonischen Kalksteinen, die nahe der Ortschaft Burgstall am Grillkogel im Hangenden der Metapsammite auftreten. Der Karbonatkomplex besteht aus geringmächtigen

Dolomiten, Crinoidenschuttkalken und überlagernden pelagischen Flaserkalken und Lyditen (Schlamberger 1987). Der Karbonatkomplex wird als pelagische Entwicklung eines Karbonat-dominierten, passiven Kontinentalrandes interpretiert. Flügel (1984) geht von einer Mächtigkeit des Karbonatkomplex von 200 m aus. Schlamberger (1988) zufolge beträgt die Mächtigkeit der gesamten oberordovizischen bis devonen Abfolge des Sausal Paläozoikum jedoch nur etwa 300 m. Die geodynamische Entwicklung des Sausal Paläozoikums, bestehend aus silurischem Rifting gefolgt von einem passiven Kontinentalrand, ist vergleichbar mit jener der westlichen Grauwackenzone, der Gurktaldecke sowie des Grazer Paläozoikums (Schlamberger 1987, 1988).

Im Sausal treten in neogenen Konglomeraten und Brekzien (Fastlkogel Member der Weissenegg Formation) auch paläozoische Karbonatkomponenten, Phyllit- und Schieferklasten sowie Kristallingerölle auf (Friebe 1990). Die Kristallingerölle stammen von der westlich gelegenen Koralpe und wurden möglicherweise sekundär umgelagert. Für die paläozoischen Komponenten schließt Friebe (1990) hingegen aufgrund der großen Phyllit- und Kalk-Klasten einen weiten Transportweg aus. Deshalb, und aufgrund paläogeographischer Überlegungen, schließt Friebe (1990) im Gegensatz zu Winkler-Hermaden (1939) eine Anlieferung aus dem nördlich gelegenen Grazer Paläozoikum oder dem Paläozoikum vom Remschnigg im Süden aus. Demnach stellen die Konglomerate und Brekzien lokale Fächerdelta dar. Die paläozoischen Karbonat-Komponenten der Schuttablagerungen stammen dabei Friebe (1990) zufolge ausschließlich aus Gesteinsabfolgen des Sausal Paläozoikums, welche nahezu vollständig erodiert worden sind. Der Karbonatkomplex am Burgstallkogel stellt daher vermutlich nur einen Rest einer karbonatischen Abfolge dar, die das Sausal Paläozoikum großräumig überlagerte. Die Karbonatkomponenten des Fastlkogel Members beschreibt Friebe (1990) als Crinoidenschuttkalke, Dolomitsandsteine und Barrandeikalke (Plabutsch Formation). Crinoidenschuttkalke und Dolomite sind vom Burgstallkogel bekannt (Schlamberger 1987). Bei der Geländebegehung (Kapitel 7) wurden auch fossilführende, dunkle Kalksteine gefunden, welche jenen der Plabutsch Formation lithologisch stark ähneln.

#### **4.1.3 Südburgenländisches Paläozoikum**

Als „Südburgenländisches Paläozoikum“ werden in diesem Bericht Vorkommen an paläozoischen Gesteinen entlang der Südburgenländischen Schwelle bezeichnet. Die



paläozoischen Tonschiefer und Karbonate werden dort vollständig von neogenen Sedimenten umgeben und tauchen unter diese ab. Solche sogenannte „Schieferinseln“ befinden sich bei Hannersdorf, Hohensteinmaisberg, Sulz und in der Gegend von St. Anna und Stadelberg. Für diese Gesteine gibt es noch keine umfassende lithostratigraphische Gliederung, sondern lediglich Vergleiche mit Formationen des Grazer Paläozoikums (z.B. Schönlaub 2000). Aufgrund der während der Geländebegehung (Kapitel 7) festgestellten Unterschiede zum Grazer Paläozoikum, werden die paläozoischen Gesteine der Südburgenländischen Schwelle in diesem Bericht jedoch separat behandelt. Die im Gelände beobachtete lithologische Ähnlichkeit der Karbonate war ausschlaggebend die paläozoischen Gesteine der unterschiedlichen Schieferinseln zusammenzufassen. Zusätzlich sind die Beschreibungen der paläozoischen Tonschiefer in der Literatur sehr ähnlich bis ident. Die Geländebegehung und die Einsicht in Bohrkerne aus dem Steirischen Becken (Kapitel 6) legen zudem nahe, dass das Südburgenländische Paläozoikum im Oststeirischen Becken durch mehrere Bohrungen erbohrt worden ist (Arnwiesen Gruppe nach Flügel (1988); z.B. in Arnwiesen 1, Übersbach 1, Waltersdorf 1).

Das Südburgenländische Paläozoikum ist charakterisiert durch eine überwiegend dolomitische Karbonatabfolge und zumindest eine Schieferfolge. Die Karbonatabfolge besteht aus hellgrauen und dunkelgrauen Dolomiten, bituminösen Dolomiten und Dolomitbrekzien. Im Hangenden der Dolomite liegen fein- und grob gebänderte Kalksteine, Kalkschiefer und kristalline Kalke. Conodonten ergaben ein unter-devones Alter für Teile der Karbonatabfolge (Suttner 2009). Die Schieferfolge (bzw. Schieferfolgen?) wird von grünlich-grauen/schwarzen, zum Teil phyllitischen Tonschiefern dominiert. Daneben treten Grünschiefer, Kalkschiefer und sandig-kalkige Schiefer auf (Pollak 1962, Schönlaub 1994). Die Position der Schieferfolge in Bezug auf die Karbonate ist in der Literatur nicht eindeutig. Die Schiefer werden bei Hannersdorf sowohl ausschließlich im Hangenden (Pollak 1962), als auch im Liegenden (Schönlaub 1994) der Karbonate beschrieben. Bei Sulz sind Schiefer im Liegenden und Hangenden der Karbonate beschrieben (Schönlaub 1984). Unklar bleibt ob die Schiefer dort tektonisch bedingt im Liegenden und Hangenden der Karbonate zu finden sind, oder ob es sich um eine stratigraphische Abfolge handelt. Schiefer bei Sulz konnten auf Silur datiert werden (Schönlaub 1984). Dies würde für eine stratigraphische Unterlagerung der Schiefer zu den unter-devonen Karbonaten sprechen.

Die Mächtigkeit der Karbonatabfolge beträgt Pollak (1962) zufolge etwa 300 m. In Arnwiesen 1 wurde eine lithologisch ähnliche Karbonatabfolge mit einer scheinbaren Mächtigkeit von zumindest 455 m erbohrt (Kröll et al. 1988). Sollte es sich dabei tatsächlich um Südburgenländisches Paläozoikum handeln, könnte die Mächtigkeit der Karbonate die von Pollak (1962) beschriebenen 300 m auch deutlich übertreffen. Die Mächtigkeit der Schieferfolge wird von Pollak (1962) auf 150 m geschätzt.

## **4.2 Paläozoikum in unmittelbarer Nähe von Graz (Grazer Paläozoikum)**

Im Grazer Stadtgebiet und der unmittelbaren Umgebung der Stadt ist durch Aufschlüsse und Bohrungen Grazer Paläozoikum als präneogener Beckenuntergrund nachgewiesen. Aufgeschlossen ist das Grazer Paläozoikum im Nordosten, Norden, und Westen von Graz (Flügel et al. 2011). Mit den Dolomiten des Schlossbergs ist auch im zentralen Stadtgebiet Paläozoikum nachgewiesen. Die Bohrungen Puntigam 2 und 3 haben Paläozoikum ebenso im Untergrund im Süden der Stadt bei der Brauerei Puntigam nachgewiesen (Thurner 1975 für Puntigam 2; Kapitel 6.1.5 für Puntigam 3). Die paläozoischen Gesteine im Nordosten der Stadt sind Teil der Schöckl Fazies und damit des unteren Deckensystems („UD“). Das Grazer Paläozoikum im zentralen sowie im westlichen Teil von Graz entspricht dagegen der Rannach Fazies und ist damit Teil des oberen Deckensystems („OD“).

Im Süden des Grazer Feldes fehlen Aufschlüsse des Präneogen sowie Bohrungen, die dieses erreichen. Die ersten Nachweise des Präneogen finden sich südlich Weitendorf-Wildon) in Form des Sausal Paläozoikum (Flügel und Neubauer 1984b).

### **4.2.1 Nordosten von Graz (UD)**

Im Nordosten der Stadt sind paläozoische Gesteine der Schöckl Fazies des unteren Deckensystems nachgewiesen. Grünschiefer und Metabasalte der Taschen Formation sind entlang des Stiftingbachs, rund um die Platte, am Reinerkogel sowie am Kalvarienberg aufgeschlossen (Abbildung 4-4, Flügel et al. 2011, Gasser et al. 2010). Brunnen-Bohrungen östlich des Kalvarienberges erreichten ebenso Grünschiefer, wodurch eine Verbindung der Grünschiefer des Kalvarienberges mit jenen des Reinerkogel wahrscheinlich ist (Heritsch 1935). Vermutlich sind die Grünschiefer des Reinerkogels im Untergrund auch mit jenen des Stiftingbaches und auf der Platte verbunden. Abgesehen von Grünschiefern und Metabasalten der Taschen Formation sind im Nordosten von Graz bei der Basilika Mariatrost Schwarzschiefer der Schönberg

Formation sowie Kalksteine der Schöckl Formation zu finden (Flügel et al. 2011). Dem Einfallen nach unterlagert die Schöckl Formation die Schiefer.

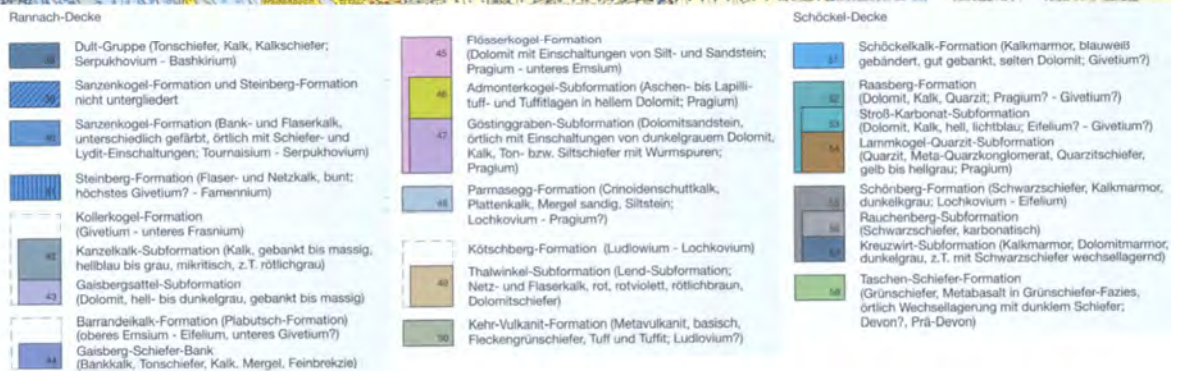
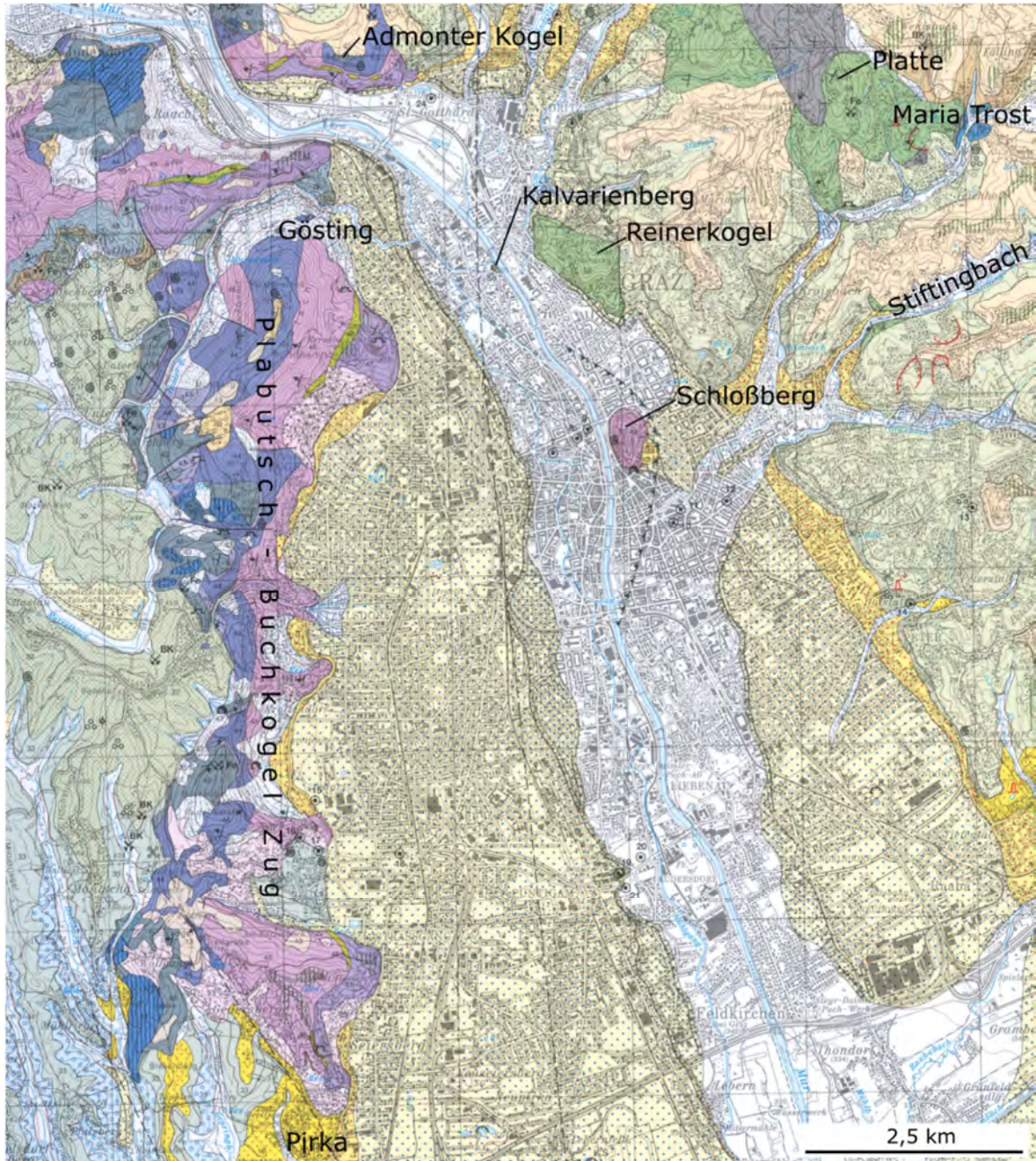


Abbildung 4-4. Ausschnitt aus der geologischen Karte von Graz (Flügel et al. 2011).

Bekannte Vorkommen des unteren Deckensystems beschränken sich auf den nordöstlichen Teil von Graz. Nördlich Graz trennt die N-S orientierte Leberstörung Gesteine des unteren Deckensystems im Osten (v.a. Schöckl-Kalk), von Gesteinen der Rannach Fazies des oberen Deckensystems im Westen (Flügel 2000). Die Leberstörung ist in der wissenschaftlichen Literatur kaum beschrieben. Weder die Kinematik noch der weitere Verlauf der Leberstörung nach Süden (wo neogene Schichten auftreten) sind bekannt.

#### **4.2.2 Schlossberg und Lend (OD)**

Die Dolomite des Schlossbergs sind Teil der Flösserkogel Formation (Flügel et al. 2011). Damit ist Rannach Fazies direkt im Stadtzentrum nachgewiesen. Westlich des Schlossbergs sind im Bezirk Lend durch seichte Bohrungen und Bauarbeiten Dolomit- und Kalkschiefer im Untergrund nachgewiesen. Diese werden als Lend Member der Kötschberg Formation zugeteilt (Flügel 2000) und sind daher ebenso Teil der Rannach Fazies und des oberen Deckensystems. Bereits 2 km nördlich ist am Kalvarienberg und Reinerkogel das untere Deckensystem aufgeschlossen. Wo genau im Untergrund der Stadt die Grenze zwischen den beiden Deckensystemen verläuft ist unklar.

#### **4.2.3 Plabutschzug und Göstinggraben (OD)**

Vom Admonterkogel und Gösting im Nordwesten, über den Plabutsch und Buchkogel im Westen bis nahe an Pirka im Südwesten sind nahezu alle Formationen der Rannach Fazies (oberes Deckensystem) aufgeschlossen. Entlang des Plabutsch-Buchkogelzuges (kurz Plabutschzug) fallen die Gesteine bei normaler Lagerung nach Nordwesten ein (Heritsch 1935, Flügel et al. 2011). Von Ost nach West gehend gelangt man daher vom stratigraphisch Liegenden zunehmend ins Hangende der Rannach Fazies.

Grünschiefer der Kehr Formation, die stratigraphisch tiefste Einheit der Rannach Fazies, sind stellenweise im Göstinggraben aufgeschlossen, wo sich der Thalerbach in die paläozoischen Einheiten eingeschnitten hat (Hönig 1983). Eine Störung mit einem Versatz von schätzungsweise bis zu 400 m („Göstinger Verwurf“) trennt die Grünschiefer und Diabase von den südlich gelegenen, stratigraphisch höheren Formationen (Kuntschnig 1937). Westlich des Thalerbachs, rund um die Ortschaft Kötschberg, sind bunte, tonige Netz- und Flaserkalke der überlagernden Kötschberg Formation aufgeschlossen. Weiters ist die kalkig-klastische Parmasegg Formation rund um Kötschberg sowie entlang des Thalerbachs im Hangenden der Kehr- und Kötschberg Formation aufgeschlossen. Die stratigraphisch hangende Flösserkogel

Formation ist in Form von Dolomitsandsteinen, lokalen Tuffitlagen und mächtigen Dolomiten entlang des gesamten Plabutschuges und auch am Admonterkogel im Norden von Graz aufgeschlossen. Entlang des Plabutschuges tritt großräumig die Plabutsch Formation im Hangenden der Flösserkogel Formation auf. Diese wird wiederum von der Kollerkogel Formation überlagert, wobei am Plabutsch-Buchkogelzug sowohl Kalksteine der Kanzelkalk Subformation als auch Dolomite der Gaisbergsattel Subformation aufgeschlossen sind. Weiters sind im Westen des Plabutschuges mit den oberdevonen Steinbergkalken, der unterkarbonen Sanzenkogel Formation und der oberkarbonen Dultgruppe die stratigraphisch höheren Einheiten aufgeschlossen (Flügel et al. 2011).

Flügel (1983) vermutet aufgrund von regionalgeologischen Überlegungen und Hinweisen aus refraktionsseismischen Messungen im Raum Pirka-Tobelbad (Weber 1978), dass die Gesteine der Rannach Fazies entlang des Plabutsch von Gesteinen des unteren Deckensystems (Schöckl Fazies) unterlagert werden. In den Veröffentlichungen über die genannten refraktionsseismischen Messungen (Weber et al. 1999) sowie dem internen Vorbericht (Weber 1978) sind jedoch keine Hinweise für oder gegen das Auftreten beider Deckensysteme zu finden.

#### **4.2.4 Tobelbad (OD)**

Südlich des Buchkogels taucht das Grazer Paläozoikum unter quartäre und neogene Schichten und tritt in knapp 3 km Entfernung bei der Ortschaft Tobelbad wieder zu Tage. Aufgeschlossen sind Äquivalente der Kanzelkalk Subformation, der Steinberg Formation und der Sanzenkogel Formation (Buchroithner 1979, Riepler 1988). Alle Formationen sind Teil der Rannach Fazies des oberen Deckensystems. Bei den Äquivalenten der Kanzelkalk Subformation handelt es sich um graue, meist massige, schwach laminierte Kalksteine. Die Steinberg Formation umfasst bei Tobelbad bunte Flaserkalke und Kalkschiefer; die Sanzenkogelformation glimmerreiche Kalkschiefer (Buchroithner 1979, Riepler 1988). Buchroithner (1978) hält eine Verbindung des Paläozoikums bei Tobelbad mit jenen des Plabutschuges für wahrscheinlich. Die Gesteine sind tektonisch stark beansprucht und zeigen Buchroithner (1978) zufolge eine normale Lagerung. Riepler (1988) beschreibt hingegen eine inverse Lagerung – konträr zur normalen Lagerung derselben Formation am Plabutschug.

#### **4.2.5 Pirka 1 (OD)**

Die Bohrung Pirka 1 liegt NNE von den Tobelbad Aufschlüssen zwischen Tobelbad und dem südlichen Ende des Plabutschzuges. Pirka 1 erbohrte Flügel (1983) zufolge in einer Tiefe von etwa 255 m bis zur Endteufe in 278 m blaue, nicht kernfähige zerdrückte Kalke. Bei dem wenig vorhandenen Kernmaterial handelt es sich um paläozoische Dolomite der Flösserkogel Formation (Rannach Fazies, oberes Deckensystem), wie die Einsicht in das Kernmaterial zeigte (siehe Kapitel 6.1.4).

Ob Pirka 1 in 255 m Tiefe tatsächlich den Beckenuntergrund erbohrt hat, bleibt jedoch offen. Eine nahegelegene Refraktionsseismik weist in jener Tiefe einen Refraktor mit einer Geschwindigkeit von 2,9 km/s auf, was für paläozoischen Kalkstein ungewöhnlich niedrig wäre. Jener Bereich mit hohen Ausbreitungsgeschwindigkeiten, die für das Paläozoikum typisch sind, liegt 240 m tiefer (Weber 1999). Daher könnte es sich bei den erbohrten Karbonaten auch um neogene, grobsedimentäre Ablagerungen mit paläozoischen Komponenten handeln wie z.B. Schuttfächer, Brekzien oder Konglomerate. Schuttfächer aus verkitteten Paläozoikums-Komponenten die im Hangenden des Paläozoikums vorkommen, sind auch aus anderen Bohrungen im Steirischen Becken bekannt (Flügel 1983). Für Konglomerate könnte die Ausbreitungsgeschwindigkeit von 2,9 km/s sprechen. Diese Geschwindigkeit ist im nördlichen Weststeirischen Becken typisch für Konglomerate der Unteren Eibiswalder Schichten (Weber 1999). Bei den blauen Kalken könnte es sich Weber (1999) zufolge ebenso um einen Paläozoikums-Block innerhalb der Eibiswalder Schichten handeln.

Unabhängig davon ob die Bohrung Pirka 1 den präneogenen Beckenuntergrund erreicht hat oder in grobkörnigen Ablagerungen aus Paläozoikum-Komponenten endete, weist die Bohrung auf einen paläozoischen Beckenuntergrund hin. Sollten die „blauen Kalke“ tatsächlich neogene Sedimente anstatt des präneogenen Beckenuntergrundes darstellen, würden die Komponenten die Geologie des Liefergebietes anzeigen. Die homogene Zusammensetzung würde dabei ein in unmittelbarer Nähe liegendes Liefergebiet anzeigen.

#### **4.2.6 Puntigam Bohrungen (OD)**

Die Wasserbohrungen Puntigam 1, 2 und 3 befinden sich bei der Brauerei Puntigam. Puntigam 1 erbohrte ab 202 m Tiefe bis zur Endteufe von 204 m (MD) der Bohrkleinbeschreibung zufolge Leithakalkmergel und verblieb damit im Neogen. Puntigam 2 erreichte den präneogenen Beckenuntergrund in Form von

paläozoischen Kalksteinen in einer Tiefe von 251,5 m (Thurner 1975); Puntigam 3 in einer Tiefe von 222 m, wie Bohrdaten zeigen.

Zuordnung und Korrelation der erbohrten Kalksteine sind in der Literatur widersprüchlich. Rögl (1975) korrelierte die in Puntigam 1 erbohrten Kalksteine mit jenen der Bohrung von Puntigam 2. Aufgrund der Bohrkleinbeschreibung nach Thurner (1975) sowie einer Logkorrelation erscheint dies jedoch unplausibel. Wahrscheinlicher ist daher die Interpretation nach Flügel (1975a), wonach Puntigam 1 eine lokale Hochzone erbohrte auf der sich Leithakalke ablagerten. Das unterlagernde paläozoische Grundgebirge wurde demnach nicht erreicht. Puntigam 2 hingegen erbohrte eine lokale Tiefzone. Die Bohrung Puntigam 3 bestätigte, dass Leithakalke in der Gegend um Puntigam zumindest lokal dem Grundgebirge auflagern.

Puntigam 3 erreichte in einer Tiefe von 211 m fossilreiche, weiß-gelblich-rosa gefärbte Leithakalke/Mergel, welche ab 222 m bis zur Endteufe in 301,5 m Tiefe von dunkelgrauen-schwarzen, paläozoischen Kalksteinen unterlagert werden (Joanneum Research Forschungsgesellschaft mbH 1997). Eine Unterscheidung ist auch bohrlochgeophysikalisch aufgrund höherer Gamma-Ray Werte in den Leithakalken/Mergeln möglich. Bohrkleinproben aus dem tiefsten Abschnitt der Bohrung in etwa 300 m konnten der Flösserkogel Formation (Rannach Fazies, oberes Deckensystem) zugeordnet werden (siehe Kapitel 6.1.5).

Bei den in Puntigam 2 erbohrten hellblauen bis weißen, paläozoischen Kalksteinen handelt es sich laut Flügel (1975a) vermutlich um Schöckl oder Kanzelkalk. Da die 500 m entfernte Bohrung Puntigam 3 das obere Deckensystem erbohrt hat, trifft dies wahrscheinlich auch für die Bohrung Puntigam 2 zu. Daher ist anzunehmen, dass es sich beim Paläozoikum der Puntigam 2 um Kanzelkalk der Kollerkogel Formation handelt. Dieser Kalkstein ist typischerweise hellblau bis hellgrau, fossilarm und mikritisch (Flügel 2000). Kanzelkalk und Kanzelkalkäquivalente sind ebenso am Plabutsch sowie rund um Tobelbad aufgeschlossen (Flügel et al. 2011, Buchroithner 1979).

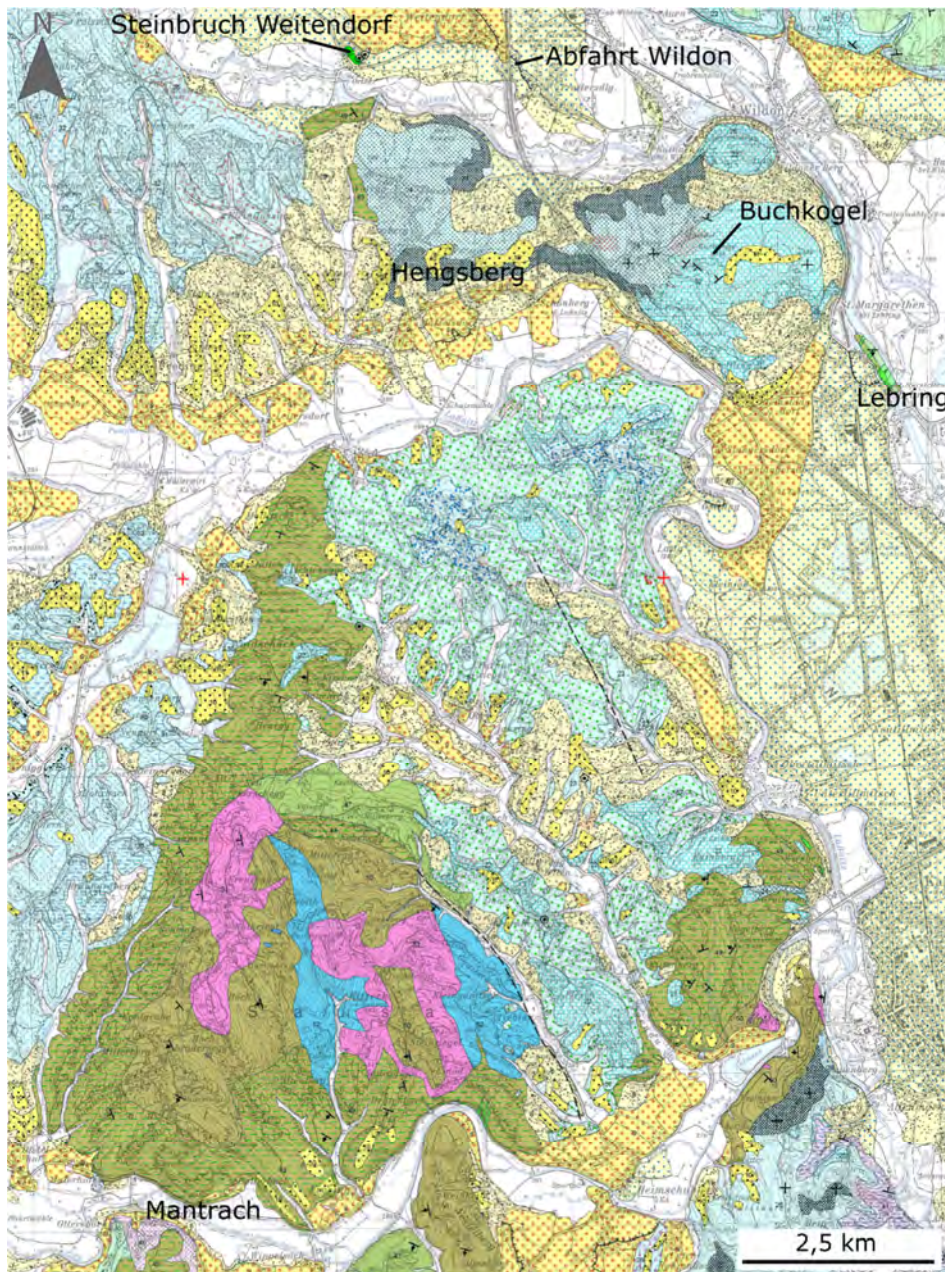
In den Wässern der Puntigam Bohrungen und einer Thermalquelle bei Tobelbad wurden erhöhte Helium-Werte gemessen, was auf einen Zustrom von Helium aus dem Erdmantel deutet. Das Mantelhelium wird als Ergebnis der extensionalen neogenen Tektonik gedeutet. Als mögliche Verbindung zum Erdmantel wird die tektonisch bedingt geöffnete Leberstörung angegeben (Zötl & Goldbrunner 1993).

### **4.3 Paläozoikum südlich Graz (Sausal Paläozoikum)**

Unmittelbar südlich der paläozoischen Gesteine bei Tobelbad fehlen Aufschlüsse und Bohrungen, die Auskunft über das Präneogen geben. Erst mehr als 10 km weiter im Süden, etwa 600 m südlich des Steinbruch Weitendorf, sind isoliert und allseitig umgeben von quartären und neogenen Sedimenten paläozoische, teilweise phyllitische Tonschiefer mit Grünschieferlagen aufgeschlossen (siehe Abbildung 4-5; Flügel et al. 1984b, Moser 2015). Phyllite sind ebenso östlich Weitendorf bei der Autobahnabfahrt Wildon durch seichte Bohrungen und refraktionsseismische Messungen in einer Tiefe von 10 – 20 m nachgewiesen (Morawetz et al. 2003). Etwa 4 km südlich der Aufschlüsse bei Weitendorf tritt Sausal Paläozoikum im Sausal Gebirge großräumig auf. Im Gebiet dazwischen haben Bohrungen bei Hengsberg dieselben Tonschiefer in einer Tiefe von 40 – 50 m erreicht (Hilber 1878, Kollmann 1965). Daher, und aufgrund der vergleichbaren Lithologie der Tonschiefer südlich von Weitendorf mit jenen des Sausal Gebirges, ist eine Verbindung beider im Untergrund anzunehmen. Ein weiteres Vorkommen von Sausal Paläozoikum, welches dem Sausal Gebirge vorgelagert ist, befindet sich bei Lebring. Dort sind entlang der Mur paläozoische Phyllite und Grünschiefer aufgeschlossen. Nordöstlich des Aufschlusses von Lebring wurden seichte Bohrungen (Schussbohrungen der RAG) abgeteuft. Die nächstgelegenen zwei Bohrungen F304 und F305 erreichten ebenso in etwa 10 m Tiefe Phyllite. Weiter entfernte Bohrungen verblieben im Neogen (Kollmann 1965). Südwestlich des Buchkogels wurde in einer Bohrung in 74 m Tiefe Tonschiefer erbohrt (Hilber 1878, Kollmann 1965). Das Sausal Paläozoikum ist damit in geringer Tiefe im Beckenuntergrund zwischen der Gegend südlich von Weitendorf, Lebring und dem Sausal Gebirge nachgewiesen.

Im Sausal Gebirge ist das Sausal Paläozoikum großräumig aufgeschlossen. Lithologisch dominieren unterschiedliche Schiefergesteine (phyllitische Tonschiefer, Phyllite, Karbonatphyllite, Serizitschiefer und vereinzelt Grünschiefer). Weiters sind Metapsammite und Metabasalte aufgeschlossen. Ein hangender Karbonatkomplex ist am Burgstallkogel aufgeschlossen (Schlamberger 1987, Moser 2015). Abschnitt 4.1.2 gibt eine detaillierte Beschreibung der Stratigraphie.





#### Sausal Paläozoikum

- |   |  |
|---|--|
| <p><span style="background-color: #00ff00; border: 1px solid black; padding: 2px;">48</span> Metabasaltischer Komplex<br/>(massiger Grünschiefer, Chloritschiefer)</p> <p><span style="background-color: #90ee90; border: 1px solid black; padding: 2px;">49</span> Tonschiefer, phyllitisch<br/>mit Grünschieferlagen</p> <p><span style="background-color: #c8e6c9; border: 1px solid black; padding: 2px;">50</span> Phyllitischer Tonschiefer<br/>mit Metapsammit-Lagen und Quarziten</p> | <p><span style="background-color: #ff00ff; border: 1px solid black; padding: 2px;">51</span> Porphyroidischer<br/>Serizitschiefer</p> <p><span style="background-color: #00b0f0; border: 1px solid black; padding: 2px;">52</span> Kalkphyllit</p> |
|---|--|

Abbildung 4-5. Das Sausal Paläozoikum dargestellt in einem Ausschnitt aus der geologischen Karte Blatt Leibnitz (GEOFAST Karte, Moser 2015). Die Karbonate des Burgstallkogel/Grillkogel sind 1 km südlich von Mantrach aufgeschlossen und nicht mehr im Kartengebiet abgebildet.

Das Vorkommen paläozoischer Karbonat-Komponenten in neogenen Schuttfächern legt nahe, dass paläozoische Karbonate ursprünglich großräumig die Schiefergesteine

des Sausal überlagerten (Friebe 1990, siehe Abschnitt 4.1.2). Da die Schuttfächer und damit die Erosion der Karbonate neogenen Alters sind, ist es durchaus möglich, dass der hangende Karbonatkomplex im Untergrund des Steirischen Beckens erhalten geblieben ist, da der Karbonatkomplex dort - anders als im Sausalgebirge - nicht durch neogene oder quartäre Hebung freigelegt worden ist. Jedoch ist unklar, inwieweit das Sausal Paläozoikum sich im Untergrund des Steirischen Becken fortsetzt. Ebenso unbeantwortet bleibt die Frage ob zwischen Sausal und Grazer Paläozoikum ein tektonischer Kontakt besteht oder ob möglicherweise gar ein fazieller Übergang des Sausal Paläozoikums zu einem Faziesbereich des Grazer Paläozoikums besteht.

#### **4.4 Paläozoikum im Südburgenland**

Das Südburgenländische Paläozoikum zeigt zum Teil große lithofazielle Ähnlichkeiten mit den besichtigten Bohrkernen (Kapitel 6) des Oststeirischen Beckens und wird daher im Folgenden detailliert beschrieben.

##### **4.4.1 Hannersdorf und Hohensteinmaisberg**

In Hannersdorf und Hohensteinmaisberg ist Paläozoikum in Form eines Karbonat-Komplexes sowie eines Phyllit/Tonschiefer-Komplexes aufgeschlossen. Pollak (1962) zufolge überlagert der Phyllit/Tonschiefer Komplex den Karbonat Komplex. Schönlaub (1994) stellte hingegen den Phyllit/Tonschiefer Komplex ins Liegende der Karbonate. Beide vergleichen das Paläozoikum von Hannersdorf mit dem Grazer Paläozoikum. Pollak (1962) beschrieb das Paläozoikum bei Hannersdorf und Hohensteinmaisberg im Detail.

Der Phyllit/Tonschiefer-Komplex ist etwa 150 m mächtig und besteht überwiegend aus grünen bis schwarzen, teilweise phyllitischen Tonschiefern. Weiters treten Kalkschiefer, sandig-kalkige Schiefer und Grünschiefer auf. Zum Teil sind die phyllitischen Tonschiefer stark durchbewegt. Die verschiedenen Lithologien wechseln auch im kleinräumigen Maßstab. Charakteristisch für den hangenden Tonschiefer-Komplex sind häufig auftretende Pyritwürfel. Die Karbonate enthalten zudem Sideritlagen. Die Grünschiefer von Hannersdorf unterscheiden sich geochemisch deutlich von penninischen Grünschiefern der Eisenberg Gruppe und zeigen Ähnlichkeiten mit Grünschiefern des Grazer Paläozoikums (Gratzer 1985).

Die Karbonate sind etwa 300 m mächtig und bestehen überwiegend aus grauen, fossilfreien und teilweise brekziösen Dolomiten. Weiters treten auch Dolomite mit

Korallen- und Crinoiden-Bruchstücken, Kalkschiefer und Rauhwacken auf. Die Fossilien stammen aus dem Unter-Devon (Schönlaub 1994, Suttner 2009). Das Hangende des Karbonat-Komplex besteht aus Kalkschiefern, Bänderkalken oder weißen, kristallinen Kalken. Die idente stratigraphische Position sowie Übergänge zwischen Kalkschiefern und Bänderkalken sowie Bänderkalken und kristallinen Kalken deuten auf ein stratigraphisches Niveau hin. Die Bänderkalke zeigen Pollak (1962) zufolge Ähnlichkeiten mit dem Schöckl Kalk der Schöckl Formation. Schönlaub (1994) verglich die Karbonate mit der Flösserkogel Formation.

*Kommentar nach der Geländebegehung vom 31.3.2022 durch die Projektgruppe: Die Geländebegehung hat gezeigt, dass die von Pollak (1962) beschriebenen lithologischen Ähnlichkeiten mit dem Schöckl Kalk sich auf die grob gebänderten Kalksteine beschränkt. Das gemeinsame Auftreten der Bänderkalke mit Kalkschiefern, bituminösen Karbonaten und mächtigen Dolomiten lässt den Vergleich mit der Schöckl Formation unplausibel erscheinen. Ebenso unterscheiden sich die Karbonate von jenen der Flösserkogel Formation. Bernhard Hubmann und Harald Fritz betonten bei der Geländebegehung daher, dass es sich beim Paläozoikum von Hannersdorf um eigenständige Formationen handelt, die nicht mit dem Grazer oder Sausal Paläozoikum gleichgesetzt werden können (wenngleich natürlich Ähnlichkeiten bestehen). Die Karbonate von Hannersdorf zeigen starke Ähnlichkeiten mit den im Oststeirischen Becken erbohrten paläozoischen Karbonaten (siehe Kapitel Bohrungen), die von Flügel (1988) als Arnwiesen Gruppe zusammengefasst wurden.*

#### **4.4.2 Sulz**

Im Raum Sulz sind Schönlaub (1984) zufolge zumindest 40 m mächtige Dolomite in eine Schieferfolge aus grünlich-grauen Siltsteinen, Tonschiefern und Tuffiten eingelagert. Die Schieferfolge bei Sulz ist Pollak (1962) zufolge jedoch nicht mit jener von Hannersdorf und Hohensteinmaisberg gleichzusetzen. Es bleibt unklar ob die Schiefer bei Sulz die Dolomite tektonisch bedingt über- und unterlagern, oder ob es sich dabei um die tatsächliche stratigraphische Abfolge handelt. In den kalkigen Lagen innerhalb der Schieferfolge wurde mit Conodonten ein silurisches Alter nachgewiesen (Schönlaub 1984).

*Kommentar nach der Geländebegehung vom 31.3.2022 durch die Projektgruppe: Die Dolomite bei Sulz können lithologisch mit den vorher beschriebenen Dolomiten von Hannersdorf und Hohensteinmaisberg verglichen werden. In einem aufgelassenen*

*Steinbruch bei Sulz sind die Dolomite stellenweise stark alteriert und zu grauen bzw. nach Verwitterung gelblich-bräunlichen siltig-sandigen, geschieferten Mergeln umgewandelt. Im Extremfall bleibt nur ein weicher, feinkörniger, weißer Rückstand übrig.*

#### **4.4.3 St. Anna – Stadelberg**

Das Paläozoikum in der Gegend von St. Anna am Aigen, Kalch und Stadelberg/Sotinski breg wird dominiert von matten, grau-grünen Tonschiefern sowie phyllitischen Tonschiefern. Die Tonschiefer gehen stellenweise in Kalktonschiefer oder auch Grünschiefer über. Weiters treten bei Kalch Marmore auf, die mit Kalkschiefern wechsellagern und stellenweise eine deutliche Bänderung aufweisen, welche Ähnlichkeiten mit dem Schöckl Kalk zeigen (Winkler 1927). Die Beschreibung der Karbonate ist nahezu ident mit jener von Pollak (1962) über das Hangende des Karbonat-Komplexes bei Hannersdorf. Auch kommen wie bei Hannersdorf, Hohensteinmaisberg und Sulz grau-grünen, teilweise phyllitischen Tonschiefern und Grünschiefer vor. Das Paläozoikum aus der Gegend St. Anna und Stadelberg wird daher ebenso dem Paläozoikum von Hannersdorf zugeordnet. Auch die Bohrung Radochen 1, etwa 10 km SW des Stadelbergs, erbohrte dunkelgraue-grünliche, pyritführende Tonschiefer, welche mit sandigen und kalkigen Lagen wechseln (Flügel 1988). Möglicherweise handelt es sich dabei um die gleichen Tonschiefer wie jene des Stadelbergs und damit anderer Schieferinseln der Südburgenländischen Schwelle.

#### **4.5 Die Tiefe des präneogenen Beckenuntergrundes**

Über die Tiefe des präneogenen Beckenuntergrundes südlich von Graz gibt es nur spärliche Informationen aus gravimetrischen Messungen und zwei älteren Seismik-Profilen. Sämtliche Quellen werden nachfolgend diskutiert.

##### **4.5.1 Reliefkarte des Steirischen Beckens (Kröll 1988)**

Der Reliefkarte des Steirischen Beckens (Kröll 1988) zufolge erreicht der präneogene Beckenuntergrund in der Grazer Bucht seine größte Tiefe im Bereich zwischen A2-Knoten Graz Ost und Kalsdorf bei Graz. Diese Tiefzone wird als „Senke von Kalsdorf“ bezeichnet. Dort weist die Reliefkarte eine Tiefe von über 900 m unter Gelände auf. Die Reliefkarte basiert auf gravimetrischen Messdaten sowie, falls vorhanden, Bohrungs- und Seismik-Daten. Tiefenangaben der Reliefkarte sind jedoch mit Vorsicht zu betrachten, wie neuere Erkenntnisse über das Steirische Becken gezeigt

haben. Die Reliefkarte gibt beispielsweise für das südöstlich gelegene Gnaser Becken eine maximale Tiefe von 2.400 m unter Gelände an. Die Bohrung Petersdorf 1 erreichte dort, wo die Modellierung eine Tiefe von lediglich 2.100 m vorschlug, selbst in einer Tiefe von etwa 3.030 m den Beckenuntergrund nicht. Ein Bohrkern aus 3.028 bis 3.031 m Tiefe besteht aus neogenem Tuffit (siehe Kapitel 6.1.2). Der Beckenuntergrund befindet sich vermutlich direkt unterhalb dieses Vulkangesteins. Eine Neumodellierung der Gravimetrie-Daten im Gnaser Becken deutet auf eine maximale Tiefe von zumindest 4,5 km statt nur 2,4 km hin (Sperl & Wagini 1994, Sachsenhofer et al. 1996). Eine Mächtigkeit des Neogen von über 4 km wird zudem durch Seismik Daten bestätigt (Dax 2021). Dieser immense Unterschied zwischen anfänglich angenommenen Tiefen (Kröll 1988) und neueren, durch zumindest eine Bohrung verifizierten Werten, lässt sich auf eine offensichtlich falsche Annahme über den präneogenen Beckenuntergrund sowie eine Fehlinterpretation zurückführen:

- Im ursprünglichen gravimetrischen Modell wurde ein kristalliner Beckenuntergrund im Gnaser Becken angenommen. Paläozoische Gesteine, die im Norden des Gnaser Becken durch Bohrungen verifiziert sind (Ludersdorf 1, Wollsdorf 1) und in weiteren Bereichen im Untergrund des Gnaser Beckens durch Seismik-Daten indiziert sind (Dax 2021), weisen jedoch eine höhere Dichte auf als kristalline Gesteine (Sachsenhofer et al. 1996). Wird diese höhere Dichte des präneogenen Beckenuntergrundes in den Modellierungen nicht berücksichtigt, kompensiert diese teilweise die negative Dichteanomalie der neogenen Sedimente. Die Sedimentmächtigkeit erscheint dadurch geringer. Das spätere gravimetrische Modell (Sperl & Wagini 1994, Sachsenhofer et al. 1996), in dem paläozoische Gesteine für den Beckenuntergrund angenommen wurden, lieferte Tiefenlagen für den präneogenen Beckenuntergrund welche mit den Erkenntnissen der im Nachhinein (!) durchgeführten Bohrung Petersdorf 1 übereinstimmen. Dies indiziert die Anwesenheit paläozoischer Gesteine im Beckenuntergrund des Gnaser Becken.
- Für die Reliefkarte von Kröll et al. (1988) wurden zusätzlich Seismik-Daten berücksichtigt. Einer mündlichen Mitteilung von Hanns Sperl zufolge wurde bei der Interpretation der Seismik-Profile die Position des präneogenen Beckenuntergrundes fehlinterpretiert. Da das Karpatium des Gnaser Becken kaum durchgehende Reflektoren zeigt, wurde die Oberkante des Karpatium

mit dem präneogenen Beckenuntergrund verwechselt. Dadurch wurde die Sedimentmächtigkeit stellenweise massiv unterschätzt.

Beide Fehlannahmen führten daher zu einem scheinbar stimmigen Gesamtbild aus Seismik und Gravimetrie. Da auch südlich von Graz ein kristalliner Beckenuntergrund angenommen worden ist (Flügel 1988), könnte die Reliefkarte des Steirischen Beckens ebenso in der Senke von Kalsdorf die Tiefe des Beckenuntergrundes unterschätzen. Das Fehlen von Tiefbohrungen sowie qualitativ-hochwertigen Seismik-Daten südlich von Graz erhöht die Unsicherheit der Tiefenangaben dort zusätzlich.

#### **4.5.2 Ältere Gravimetrische Messungen (Siemens 1943)**

Die Senke von Kalsdorf ist im Südosten vom Allerheiligen – Vasoldsberg Hoch begrenzt (Kröll 1988, Ebner et al. 1986). Einer älteren gravimetrischen Modellierung zufolge (Siemens 1943) soll das Präneogen auf der Hochzone in einer Tiefe von zumindest 800 m bis 1.500 m anzutreffen sein. Solche Tiefenwerte der Hochzone stehen im Widerspruch zu der Reliefkarte von Kröll (1988), wo die maximale Tiefe der Senke von Kalsdorf nur bei etwas über 900 m liegt.

#### **4.5.3 Seismik-Profile (Weber 1998, 1999)**

Die Seismik Profile F9 und F10 wurden 1952 im Süden der Grazer Bucht aufgenommen. Abbildung 4-6 zeigt die Lage der Profile.

Wie in Abbildung 4-7 ersichtlich, ist die Qualität der Profile gering. Weber (1998, 1999) veröffentlichte Interpretationen beider Profile. Die maximale Tiefe des präneogenen Beckenuntergrundes entlang der Profile liegt demnach in jenem Bereich wo beide Profile aufeinander zulaufen (NE von Wundschuh) bei etwa 1.000 m Tiefe unter Gelände. Weber (1999) merkt jedoch an, dass die Interpretation der Neogenbasis sowie die Tiefenangabe mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind. Im Profil F10 nimmt die Beckentiefe demnach von etwa 1.000 m im Nordosten auf knapp 900 m im Südwesten ab. Im Profil F9 steigt sie von etwa 850 m im Norden auf 1.000 m im Süden. Die von Kröll (1988) modellierte Senke von Kalsdorf sieht Weber (1998) durch die Seismik Messungen bestätigt, obwohl die Positionen des Beckentiefsten nicht ident sind. Das Beckentiefste liegt der Modellierung von Kröll (1988) zufolge zumindest 3 km weiter nördlich. Die Beckenfüllung stellt Weber (1998) überwiegend ins Karpat. Als Beckenuntergrund vermutet Weber (1999) ohne Nennung von Gründen das Sausal Paläozoikum.

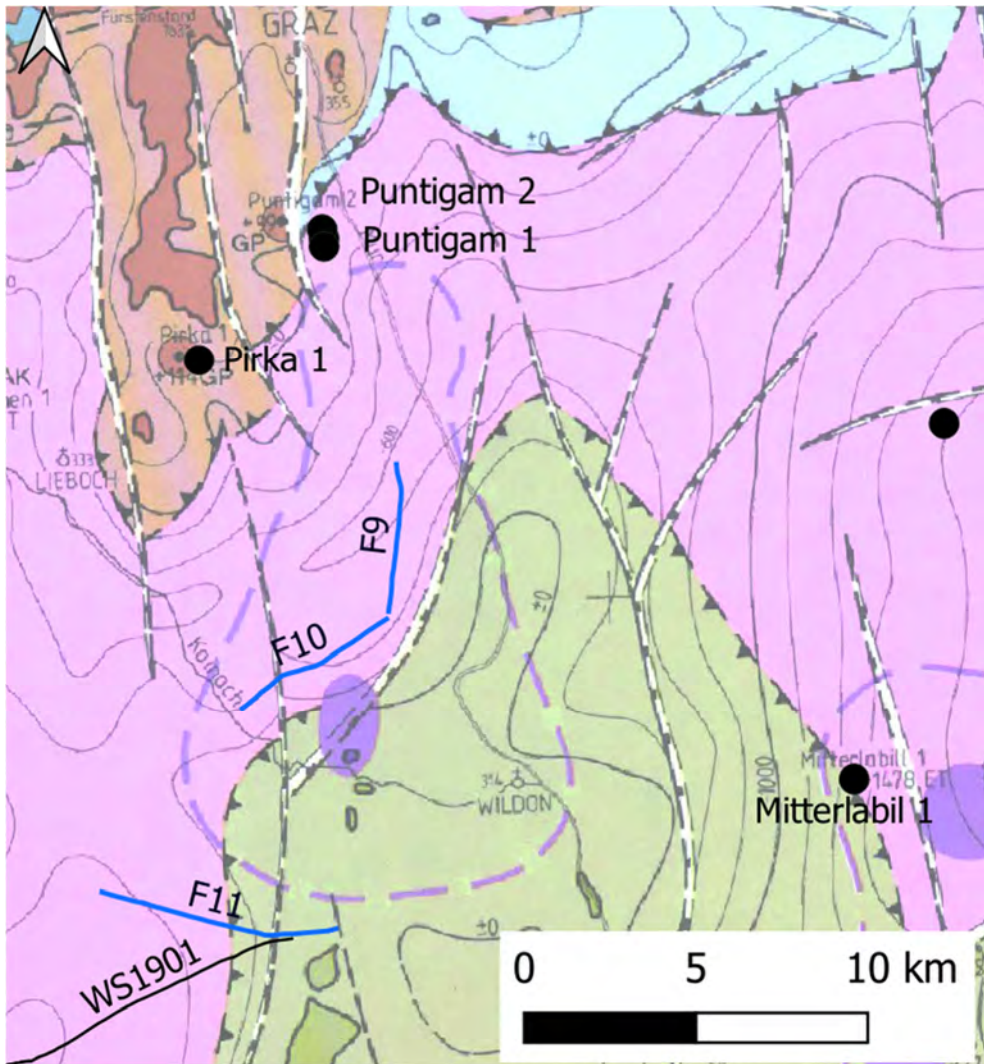


Abbildung 4-6. Lage der Seismik Profile F9, F10, F11 sowie WS1901. Im Hintergrund ist die präneogene Untergrundkarte von Flügel (1988) eingeblendet.

Das Seismik-Profil F11 ist von der Qualität ähnlich wie F9 und F10 und verläuft im Weststeirischen Becken von West nach Ost bis nahe an den Rand des Sausal Gebirges (Abbildung 4-6). Weber (2002) interpretierte den Beckenuntergrund dort in einer ähnlichen Tiefe wie in der Senke von Kalsdorf. Die Oberkante des Präneogen steigt demnach von etwa 1.000 m im Westen auf 550 m im Osten an. Am östlichen Ende des Profils ist jedoch bereits 600 m südlich Paläozoikum aufgeschlossen. Weber (2002) vermutet daher eine Störung mit signifikantem Versatz am Westrand des Sausal Gebirges. Die Störung müsste jedoch West-Ost orientiert sein um den Sprung zwischen Seismikprofil und Oberflächengeologie zu erklären. Solch eine West-Ost orientierte Störung mit einem derart großen Versatz im Bereich der Sausal Schwelle ist nicht bekannt.

Aufgrund der niedrigen Qualität der Seismik Profile F9, F10 und F11 ist es äußerst fraglich, ob aus den Profilen tatsächlich der präneogene Beckenuntergrund ersichtlich ist. Das äußerst geringe Einfallen des Beckenuntergrundes ist angesichts der Situation in anderen Teilen des Steirischen Becken ungewöhnlich. Ebenso scheint die Interpretation des präneogenen Beckenuntergrundes im Profil F11 fragwürdig. Die Interpretationen der Seismik-Profile F9 und F10 sind daher mit Vorsicht zu betrachten.

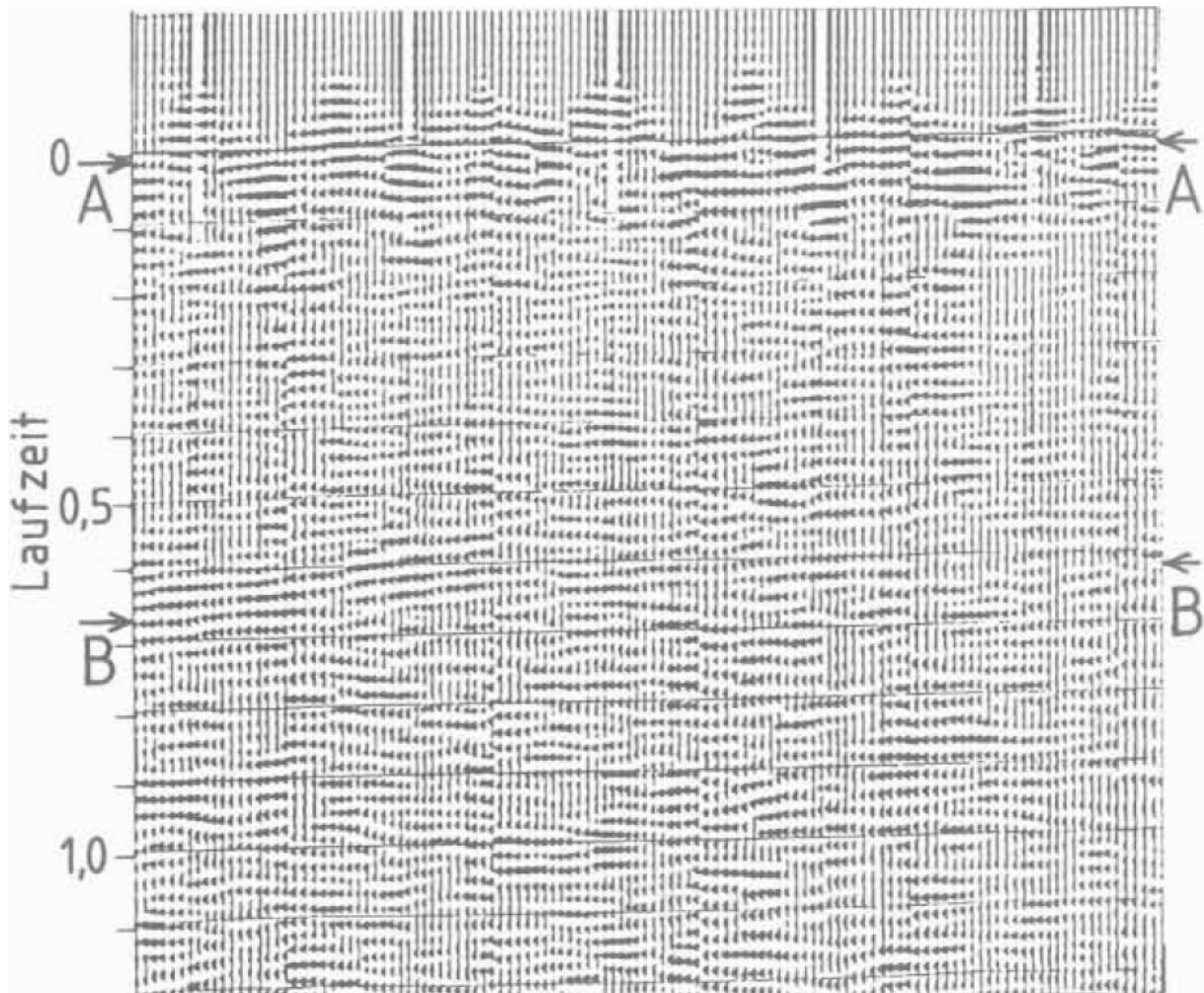


Abbildung 4-7. Ausschnitt aus Seismik-Profil F10 (Weber 1998). Die Laufzeit ist in s und entspricht einer Zweiweglaufzeit. Die beiden unteren Pfeile bei ca 0,6 bis 0,7 s Laufzeit markieren jenen Horizont, der als präneogenes Basement interpretiert worden ist.



## **4.6 Paläozoikum im Steirischen Becken**

### **4.6.1 Weststeirisches Becken**

Das Weststeirische Becken wird von Nord nach Süd in die drei Teilbecken Liebocher Becken, Florianer Becken und Eibiswalder Becken gegliedert. Nach derzeitigem Wissensstand beschränken sich Vorkommen von paläozoischen Gesteinen im präneogenen Beckenuntergrund des Weststeirischen Becken auf randliche Bereiche im Norden, Süden und Osten.

Im nordwestlichen Teil des Liebocher Becken (Bucht von Köflach-Voitsberg) wird der präneogene Beckenuntergrund überwiegend von Gesteinen des unteren Deckensystems gebildet (vorwiegend Raasberg und Schöckl Formation). Gesteine des oberen Deckensystems sind ausschließlich im Osten der Köflach-Voitsberg Bucht aufgeschlossen (Strukturhoch von Aichegg). In manchen Bereichen wird das Neogen auch direkt vom Kristallin des Koralpe-Wölz Deckensystem sowie Sedimentgesteinen der Kainacher Gosau unterlagert. Am Nord und Nordost-Rand des Liebocher Beckens ist Rannach Fazies des oberen Deckensystems aufgeschlossen (Ebner 1998). In zentralen Bereichen des Liebocher Becken haben die Bohrungen Krottendorf 1 und Söding 1 Kristallin als präneogenen Beckenuntergrund nachgewiesen (Flügel 1975b). Damit ist ersichtlich, dass sich das Paläozoikum auf nördliche Randbereiche beschränkt. Die Zusammensetzung der basalen Konglomerate beider Bohrungen deuten zudem auf ein überwiegend kristallines Liefergebiet hin.

Für das Florianer und Eibiswalder Becken wird ein kristalliner Beckenuntergrund angenommen (Flügel 1988). Es sind Seismik-Daten vorhanden, welche von Joanneum Research und Geo5 GmbH aufgenommen worden sind. Jedoch fehlen Tiefenaufschlüsse, die die Lithologie des Beckenuntergrundes verifizieren könnten. Paläozoische Gesteine treten Flügel (1988) zufolge erst nahe der Mittelsteirischen Schwelle (Sausal Paläozoikum) sowie am Remschnigg (Remschnigg Paläozoikum) auf.

### **4.6.2 Gnaser Becken**

Im Norden des Gnaser Becken erbohrten Wollsdorf 1 und Ludersdorf 1 karbonatführende Grünschiefer bis Chloritschiefer bzw. tektonische Grünschieferbrekzien. Die Gesteine erreichen in Ludersdorf 1 eine scheinbare Mächtigkeit von zumindest 370 m. Flügel (1988) vergleicht die Grünschiefer mit der Kehr Formation (Rannach Fazies) bzw. der paläozoischen Grünschiefer von

Hannersdorf, verbindet sie in der geologischen Untergrundkarte jedoch mit der Taschen Formation im Nordosten von Graz.

Abgesehen vom nördlichen Bereich des Gnaser Becken ordnet Flügel (1988) in der präneogenen Untergrundkarte weite Teile des Beckenuntergrundes dem Kristallin zu. Die Auswertung von Seismik Daten legt jedoch nahe, dass Paläozoikum im Gnaser Becken großräumiger auftritt als in den Untergrundkarten angenommen (Dax 2021). Im Süden des Gnaser Becken ist auf und nahe der Leibnitz Schwelle Sausal Paläozoikum nachgewiesen (St. Nikolai 1 und 2, Wiersdorf 1, St. Peter 1) (Flügel 1988). Auffallend ist die geringe Mächtigkeit des Paläozoikums. In Wiersdorf 1 wurden 16 m paläozoische Phyllite angetroffen bevor das Kristallin erreicht worden ist. In St. Nikolai 1 wurden etwa 50 m mächtige Phyllite erbohrt. Die Basis der Abfolge besteht aus einem mylonisierten Gestein, welches entweder das Kristallin oder die Überschiebungsfläche des Paläozoikums auf das Kristallin darstellt. Die paläozoischen Phyllite in St. Nikolai sind zumindest 60 m mächtig. Die Bohrung St. Peter 1, welche sich bereits auf der Leibnitz Schwelle befindet, erbohrte 160 m Paläozoikum und wurde in einer dolomitschen Abfolge gestoppt. Diese zumindest 70 m mächtige Schichtfolge ist für das Sausal Paläozoikum ungewöhnlich. Flügel (1988) zufolge könnte es sich dabei um einen Erosionsrest einer Decke des Grazer Paläozoikums handeln, welche ehemals dem Sausal Paläozoikum auflagerte.

#### **4.6.3 Fürstenfelder Becken**

Das Fürstenfelder Becken ist durch mehrere Bohrungen bis in den paläozoischen Beckenuntergrund hinein relativ gut erschlossen (Abbildung 4-8). Das Paläozoikum erreicht bis zu mehrere hundert Meter Mächtigkeit, wobei das kristalline Grundgebirge im Fürstenfelder Becken noch nicht erbohrt wurde. Die Beckentiefen (Top des Paläozoikum) reichen von 1.465 m am Westrand (Ilz Th1) bis zu 2.745 m u. GOK (Fürstenfeld Th 1) im Zentrum.

Von Kröll et al. (1988) wurden die paläozoischen Einheiten in der Untergrundkarte überwiegend der Arnwiesen-Gruppe zugeteilt. Zur Wollsdorfer-Metabasit Formation hingegen wurde die Bohrung Blumau 1 gestellt, die als nördlichste Bohrung im Fürstenfelder Becken 192 m mächtige Grünschiefer bis Chloritschiefer erbohrt hat. Die daraus abgelenkte Bohrung Blumau 1a hingegen erschloss eine 318 m mächtige Karbonat-Phyllit-Abfolge, deren hangende Anteile vermutlich der Flösserkogel-Formation entsprechen. Die im Liegenden angetroffenen Phyllite, Kalkphyllite und

Kalke wurden zur Blumauer-Phyllit-Karbonat Formation gezählt (48 m Mächtigkeit). Die Dolomit- und Kalkkomponenten in den neogenen Basisschichten über dem Paläozoikum von Blumau 1 und 1a liefern laut Ebner (1988) Hinweise auf eine größere Ausdehnung des Paläozoikums gegen Norden und Nordwesten.

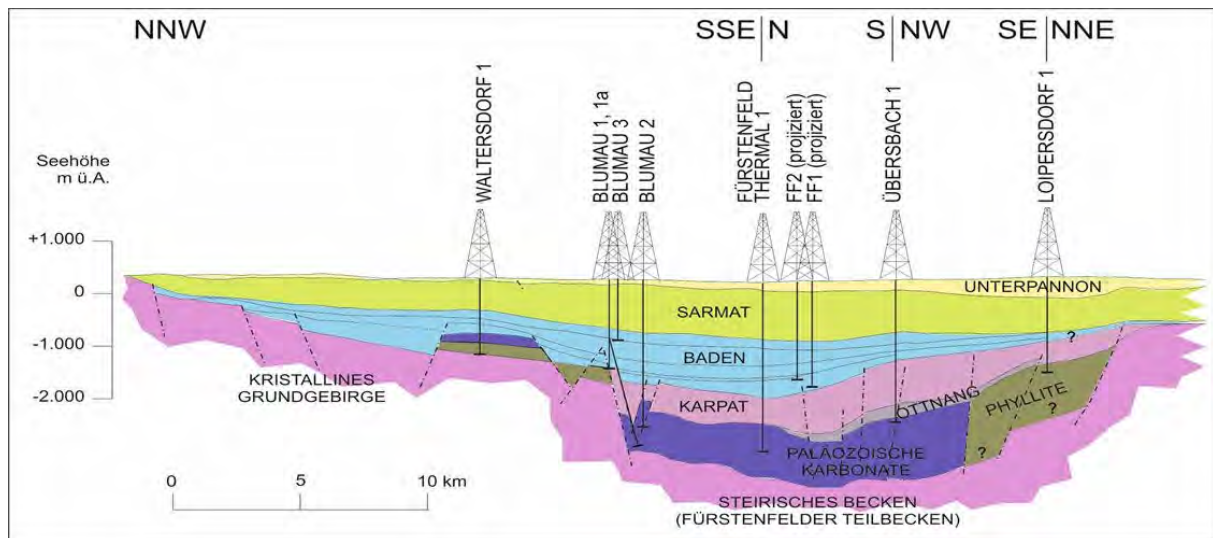


Abbildung 4-8: Geologischer Profilschnitt durch das Steirische Becken mit dem Fürstenfelder Becken (Goldbrunner 2007).

Ebenfalls als Äquivalente der Dolomit-Sandsteinfoolge und damit zur Arnwiesen-Gruppe gezählt werden die Dolomite und Sandsteine in Blumau 2, Frutura GT1/GT1a und GT2, Fürstenfeld Th 1 und Ilz Th 1. In Fürstenfeld Th 1 und Frutura GT1 werden Kalke und Phyllite im Liegenden der Arnwiesen-Gruppe der Blumauer-Phyllit-Karbonat Formation zugeordnet.

In Blumau 2 werden 268 m mächtige Dolomite und Sandsteine von 213 m mächtigem Kalk unterlagert, der stratigrafisch nicht zugeordnet wurde (Goldbrunner et al. 1998). Frutura GT1 erbohrte 224 m mächtige Dolomite und Dolomitsandsteine, gefolgt von 180 m mächtigen Kalken, Dolomiten und Kalkphyllit. Die Ablenkung Frutura GT1a verblieb in 150 m mächtigem Dolomit. In Frutura GT2 wurde dieser auf 452 m Strecke angetroffen (Goldbrunner & Eisner, 2014). In Fürstenfeld Th 1 erreicht die Dolomit-Sandsteinfoolge 340 m Mächtigkeit und wird von 60 m mächtigen Serizit-, Ton- und Karbonatschiefer unterlagert.

An der Basis der Bohrung Übersbach 1 liegen 36 m mächtige Karbonate, die als Bänderkalke beschrieben und von Kollmann (1965) mit dem Schöcklkalk verglichen

wurden. Ein Dünnschliff, der im Zuge des gegenständlichen Projektes angefertigt wurde, zeigt jedoch, dass es sich dabei zumindest zum Teil um Dolomitschiefer handelt (Unterdevon). Allerdings sind nur Handstücke der Bohrkern aus dieser Bohrstrecke vorhanden.

Am Westrand des Fürstenfelder Beckens wurden in der Bohrung Ilz Th1 441 m mächtige Dolomite, die der Dolomit-Sandsteinfoolge der Rannachdecke (= Flösserkogel-Formation) zugeordnet wurden (Eisner & Goldbrunner, 2000), bereits in einer Tiefe von 1.465 m erbohrt.

Thermalwasser wird aus den Bohrungen Blumau 2 und Frutura GT2 gewonnen (Blumau 1/1a und Frutura GT1/1a und dienen als Reinjektionssonden). Das Geothermieprojekt Blumau umfasst Fernwärme, Stromerzeugung über eine ORC-Anlage, Balneologie und eine CO<sub>2</sub>-Gewinnungsanlage. Aus dem paläozoischen Aquifer wird bis 110 °C heißes Wasser mit einem Volumenstrom von 28,5 l/s gefördert. Das Geothermieprojekt Frutura dient zur Heizung von Gewächshäusern zum ganzjährigen Anbau von Gemüse. Auch hier erwiesen sich die Dolomite als ergiebiger Aquifer aus dem durchschnittlich 56,3 l/s gefördert werden. Mit 124,5 °C handelt es sich dabei um das bislang heißeste Thermalwasser Österreichs (Goldbrunner, 2020).

Die Bohrung Fürstenfeld Th1 war die erste ausschließlich zur Thermalwasserprospektion abgeteufte Bohrung im Steirischen Becken und war heißwasserfündig im Neogen (Sandschalerzone des Badenium), wird derzeit aber nicht genutzt. Das Paläozoikum erwies sich als nicht wirtschaftlich fündig.

In der Bohrung Ilz Th1 wurde zwar ein Aquifer in den Dolomiten vorgefunden (max. Volumenstrom 14 l/s, 74 °C), aufgrund von CO<sub>2</sub> und erhöhten Radium-Werten in den paläozoischen Wässern konnten diese jedoch mit dem damaligen Stand der Technik nicht genutzt werden. Daher wurden Horizonte im Neogen erschlossen (Eisner & Goldbrunner 2000), die Bohrung wird derzeit aber nicht genutzt.

## 5 Fachliche Diskussion über das Grazer und Sausal Paläozoikum

Am 19.01.2022 fand an der Karl-Franzens-Universität Graz ein Treffen mit Professoren, welche sich während ihrer akademischen Laufbahn mit dem Grazer Paläozoikum beschäftigt haben, statt. Folgende Professoren waren anwesend:

- em. O.Univ.-Prof. Dr.phil. Fritz Ebner
- Ao.Univ.-Prof.i.R. Dr.phil. Harald Fritz
- Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Bernhard Hubmann
- em. Univ.-Prof. Dr.phil. Manfred Buchroithner

Von der Projektseite anwesend waren von Geo5:

- Dr. mont. Dipl.-Ing. Marcellus G. Schreilechner
- Dipl.-Ing. Florian Dax

sowie von Geoteam:

- Univ.-Prof. Dr. Johann Goldbrunner
- Mag.<sup>a</sup> Marlies Gold
- David Muhr, MSc

Ziel des Treffens war ein fachlicher Austausch über das Grazer und Sausal Paläozoikum. Es sollte sichergestellt werden, dass die Ergebnisse der Literaturrecherche dem neuesten Stand der Forschung entsprechen und dass mögliche neue, unveröffentlichte Erkenntnisse und Ideen in der Vor-Machbarkeitsstudie mitberücksichtigt werden. Daneben wurde eine Vielzahl an fachlich bedeutenden Fragestellungen diskutiert.

## 6 Bohrungsinformationen

Für die Projektbearbeitung wurden - als belastbare Informationsquelle für Untergrunddaten - insgesamt 41 Tiefbohrungen ausgewählt. Ihre Lage im Projektgebiet ist in Abbildung 6-1 in der präneogenen Untergrundkarte (Flügel 1988) eingetragen.

Die Recherche nach den Bohrdaten wurde in einem ersten Schritt in den Projektarchiven von Geoteam und Geo5 durchgeführt. Anschließend erfolgte eine gezielte Literaturrecherche ebenfalls hausintern sowie online. Ergänzend wurde die Suche auf einschlägigen Internetportalen (z.B. Geologische Bundesanstalt Wien, GIS Steiermark...) fortgesetzt. Zudem wurden Unterlagen beim Land Steiermark, Abteilung 14 Wasserwirtschaft, Ressourcen und Nachhaltigkeit - Wasserbuch Graz in der Wartingergasse 43 ausgehoben.

Die Datenlage zu den einzelnen Bohrungen ist dabei recht unterschiedlich. Von mehreren Thermalwasserbohrungen liegen die kompletten Projektberichte, von der Planung über die Ausführung bis zur wasserrechtlichen Einreichung und das Monitoring des Grundwasserleiters, vor. Von den Kohlenwasserstoff-Aufschlussbohrungen der OMV und RAG sind teilweise Ausführungsberichte mit umfangreichen geologischen Schichtenbeschreibungen und Completionlogs oder einzelne Bohrlochlogs vorhanden, andererseits aber auch nur Kurzprofile mit der stratigraphischen Einteilung. Daten der geophysikalischen Bohrlochuntersuchungen sind zum Teil digital, zum Teil aber nur in Papierform vorhanden. Temperaturwerte stammen aus einzelnen Messungen während der Bohrarbeiten oder Pumpversuchen, wurden teilweise aber auch über den gesamten Bohrlochverlauf aufgezeichnet. Von einigen Bohrungen finden sich nur Hinweise über den geologischen Aufbau in der Fachliteratur.

Die für die einzelnen Bohrungen erhobenen Unterlagen sind in einer Datenmatrix in Tabelle 6-1 zusammengefasst. Im Anhang 12.1 werden für jede Tiefbohrung die erhobenen projektrelevanten Kerndaten systematisch angeführt. Erbohrtes Paläozoikum wird den Subsurface Units von Flügel (1988) sowie bei Möglichkeit auch bestimmten Formationen oder Faziesbereichen des Grazer Paläozoikums zugeordnet.

0 40 km



PROJEKTGEBIET

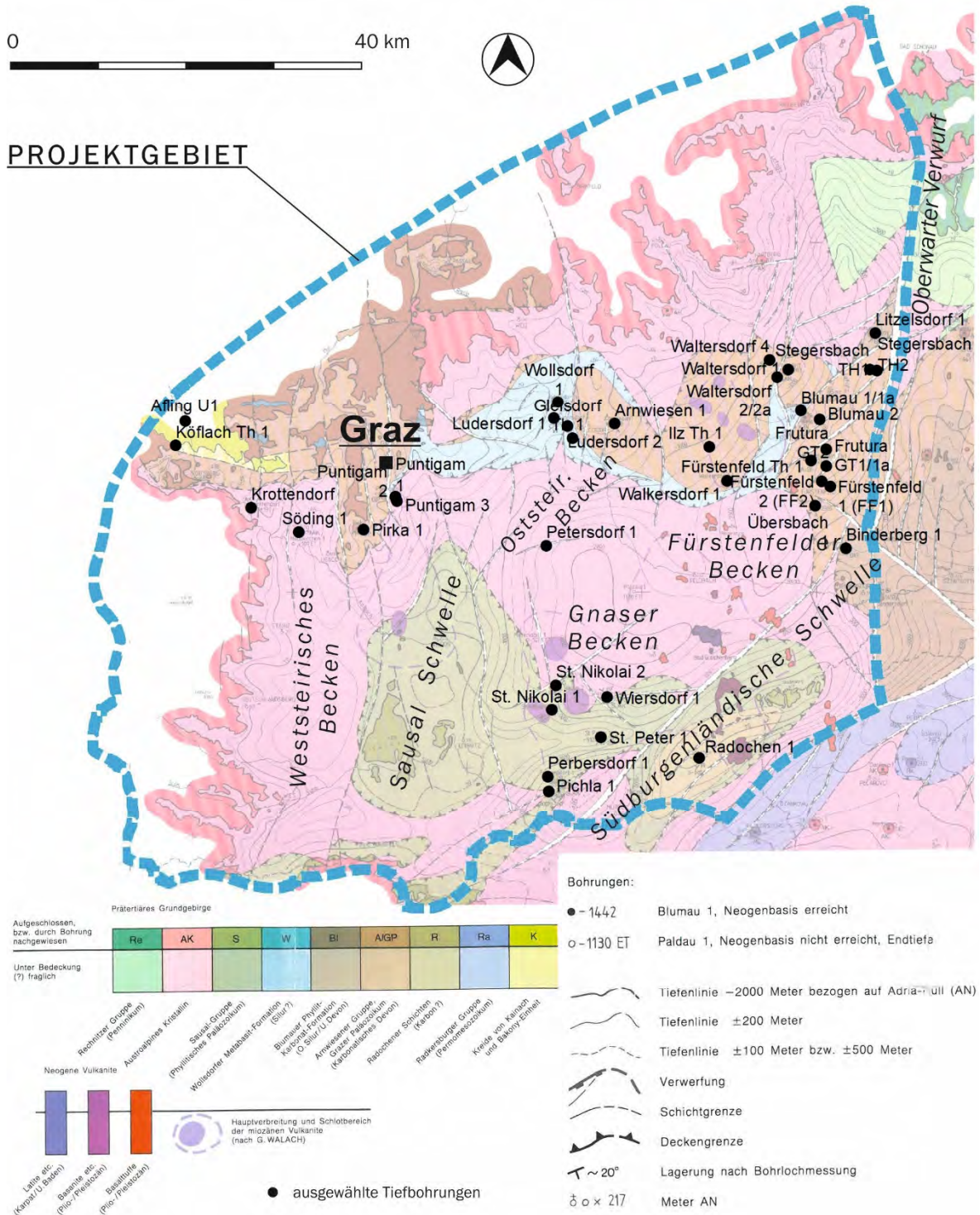


Abbildung 6-1: Lage der erhobenen Tiefbohrungen im Projektgebiet in der Strukturkarte des präneogenen Untergrundes (FLÜGEL 1988).

Tabelle 6-1. Matrix über die erhobenen Informationen der 41 Tiefbohrungen. Abkürzungen: Geol. Profil = Geologisches Profil, Pump.-Daten = Pumpversuchs-Daten, Grundg. = Grundgebirge (Präeogen), Förder. = Förderbrunnen, Reinjekt. = Reinjektionsbrunnen. Bei der Bohrung St. Nikolai 2 ist kein vollständiges Geologisches Profil vorhanden, sondern nur eine Stratigraphie ohne genauere Beschreibung.

Bohrloch	Geol. Profil	Bohrloch-Logs	Temperatur-Daten	Chem. Analyse	Isotopen-Analyse	Ausbau-Plan	Pump.-Daten	Grundg. erreicht
Afling U1	✓		✓					✓
Arnwiesen 1	✓	✓	✓					✓
Binderberg 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Blumau 1/1a	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Blumau 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Frutura GT1/1a	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Frutura GT2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fürstenfeld 1 (FF1)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Fürstenfeld 2 (FF2)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Fürstenfeld Th 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gleisdorf Th 1	✓	✓	✓	✓		✓	✓	X
Graz - STEBA Förder	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Graz - STEBA Reinjekt.	✓		✓			✓	✓	✓
Ilz Th 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Köflach Th 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Krottendorf	✓							✓
Litzelsdorf 1	✓	✓	✓			✓		✓
Ludersdorf 1	✓							✓
Ludersdorf 2	✓	✓	✓	✓				X
Ottendorf 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Perbersdorf 1	✓							✓
Petersdorf 1	✓		✓					✓
Pichla 1	✓	✓						✓
Pirka 1	✓							?
Puntigam 1	✓	✓	✓	✓		✓	✓	X
Puntigam 2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Puntigam 3	✓	✓	✓			✓	✓	✓
Radochen 1	✓	✓						✓
St. Nikolai 1	✓	✓						✓
St. Nikolai 2	✓		✓					✓
St. Peter 1	✓	✓						✓
Söding 1	✓							✓
Stegersbach Th1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Stegersbach Th2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Übersbach 1	✓	✓	✓					✓
Walkersdorf 1	✓							✓
Waltersdorf 1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Waltersdorf 2/2a	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Waltersdorf 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X
Wiersdorf 1	✓	✓	✓					✓
Wollsdorf 1	✓							✓



## 6.1 Bohrkern-Untersuchungen

Ergänzend zu den vorher angeführten Informationsquellen besichtigten das Projektteam von Geo5 und Geoteam die Bohrkernlager Ebersdorf bei Radegund (Universalmuseum Joanneum) sowie in Pettenbach in Oberösterreich (RAG Austria AG).

Bei der Besichtigung des Bohrkernlagers Ebersdorf am 9.2.2022 wurde das Projektteam begleitet von

- Ao. Univ.-Prof. Dr. phil. Bernhard Hubmann
- Priv.-Doz. Mag. Dr.rer.nat. Kurt Krenn
- em. Univ.-Prof. Dr. phil. Manfred Buchroithner

Beim Besuch des Kernlagers in Pettenbach am 16.2.2022 (Abbildung 6-2) war zusätzlich em. O.Univ.-Prof. Dr.phil. Fritz Ebner anwesend.

Insbesondere Univ.-Prof. Hubmann und em. O.Univ.-Prof. Ebner können aufgrund ihrer jahrzehntelangen Forschungsarbeiten über das Grazer Paläozoikum und zahlreicher Publikationen als Experten des Grazer Paläozoikums angesehen werden.



Abbildung 6-2. Besichtigung des Bohrkernlagers in Pettenbach.

Bei der Besichtigung der Kernlager wurden ausgewählte Bohrkerne lithologisch bestimmt und dokumentiert. Die fotografische Dokumentation der Bohrkerne (Kapitel 6 und 12) wurde von *Harald Tauderer Photography, Graz*, durchgeführt.

Literaturangaben wurden überprüft und bei Bedarf durften vereinzelt Proben für weitere Untersuchungen, wie z.B. Dünnschliffe, genommen werden. Das Hauptziel bestand darin die im Steirischen Becken erbohrten paläozoischen Gesteine sowohl untereinander als auch mit den aufgeschlossenen Gesteinen des Grazer und Sausal Paläozoikum zu vergleichen und zu korrelieren. Die Fertigung und Interpretation der Dünnschliffe wurde vom Institut für Erdwissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz durchgeführt. Insbesondere Ao. Univ.-Prof. Dr. phil. Bernhard Hubmann und Priv.-Doz. Mag. Dr.rer.nat. Kurt Krenn waren an der Interpretation der Dünnschliffe beteiligt und haben freundlicherweise die in Kapitel 6.1 Bohrkern-Untersuchungen sowie im Anhang gezeigten Fotos der Dünnschliffe zur Verfügung gestellt.

U.a. wurden Bohrkerne bzw. Bohrklein folgender Bohrungen untersucht:

- Arnwiesen 1
- Binderberg 1
- Blumau 1/1a
- Petersdorf 1
- Pirka 1
- Puntigam 3 (Bohrklein)
- Übersbach 1
- Walkersdorf 1
- Waltersdorf 1

Besonders bedeutende Erkenntnisse, welche die Bohrkerne von Arnwiesen 1, Blumau 1, Petersdorf 1, Pirka 1 und Puntigam 3 betreffen, werde in diesem Kapitel diskutiert. Alle weiteren beim Bohrkernlagerbesuch gewonnenen Informationen, besonders jene welche die lithostratigraphische Zuordnung betreffen, sind in der Auflistung der Bohrungen im Anhang 12.1 berücksichtigt.

### 6.1.1 Arnwiesen 1

Die Bohrung Arnwiesen 1 erbohrte im präneogenen Beckenuntergrund 68 m gelblichgraue Kalke, gefolgt von 88 m Tonschiefer (Abbildung 6-3 und Abbildung 6-4) und einer mindestens 455 m mächtigen Karbonatabfolge (Abbildung 6-5) ehe die Bohrung im Karbonat eingestellt worden ist (Flügel 1988). Die gelblichgrauen Kalke werden von Ebner (1988) aufgrund biostratigraphischer Untersuchungen sowie lithologischer Ähnlichkeiten der Steinberg Formation zugeordnet. Die lithologischen Ähnlichkeiten konnten durch die anwesenden Professoren bestätigt werden. Der liegende Teil der 68 m mächtigen Abfolge entspricht möglicherweise Äquivalenten der Kanzelkalke. Für die Zuordnung der Tonschiefer und unterlagernden Karbonate gibt es Ebner (1988) zufolge zwei unterschiedliche Interpretationsmöglichkeiten. Einerseits könnte es sich um die Arzberger Schichten und Schöckl-Kalk (beides Schöckl Fazies, Unteres Deckensystem) handeln. Andererseits ist auch eine Zuordnung zu den Schiefen der Dult (Hahngraben Formation) sowie der Flösserkogel Formation möglich. Nach Einsicht der Bohrkerne und einer Dünnschliffbetrachtung der Tonschiefer zeigte sich, dass die Tonschiefer am wahrscheinlichsten noch der Schönberg Formation zuzuordnen sind. Es kann ausgeschlossen werden, dass es sich um Tonschiefer der Hahngraben Formation („Schiefer der Dult“) handelt.



Abbildung 6-3. Paläozoische Tonschiefer der Bohrung Arnwiesen 1 aus einer Tiefe zwischen 448 und 466 m.

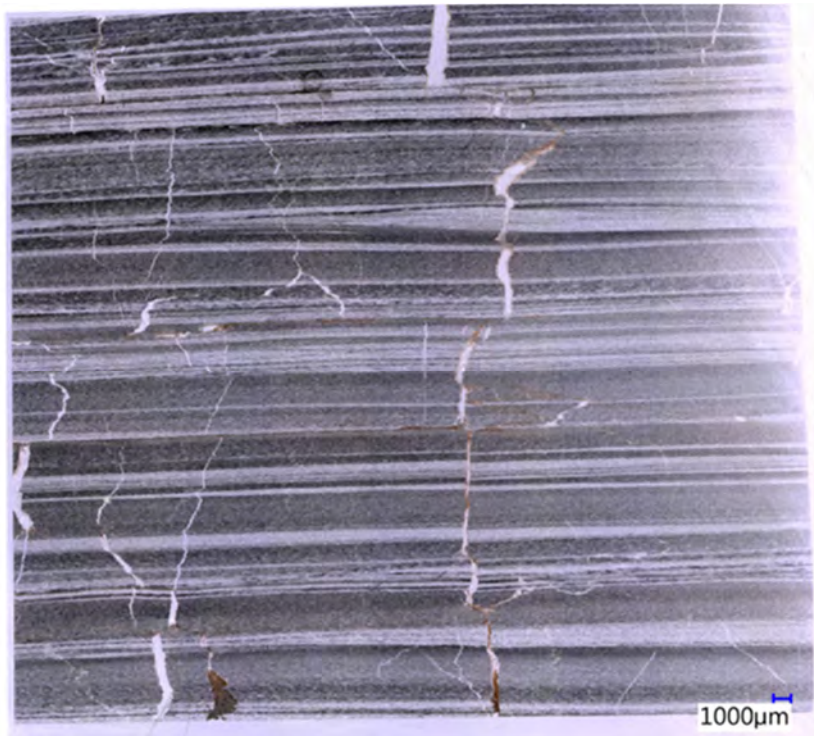


Abbildung 6-4. Karbonatischer Tonschiefer aus der Bohrung Arnwiesen 1 (Kern 6, Tiefe 448 – 466 m).

Unklar bleibt die Zuordnung des liegenden dolomitischen Komplexes. Nachdem die hangende Schönberg Formation Teil des unteren Deckensystems ist, wäre auch für den Karbonatkomplex eine Position im unteren Deckensystem anzunehmen. Für einen so mächtigen Karbonatkomplex im unteren Deckensystem kommt ausschließlich die Schöckl Formation in Frage. Problematisch bei dieser Zuordnung ist jedoch die starke Dolomitisierung der Karbonate, welche für die Schöckl Formation äußerst ungewöhnlich wäre. Lithologisch lässt sich der dolomitische Karbonatkomplex besser mit der Flösserkogel Formation vergleichen. Dies würde jedoch bedeuten, dass in Arnwiesen 1 im Hangenden das obere Deckensystem erbohrt worden ist, gefolgt von knapp 90 m des unteren Deckensystems, welches wiederum vom oberen Deckensystem unterlagert wird. Solch eine Stapelung der Deckensysteme ist unplausibel. Da es keine zufriedenstellende Zuordnung des in Arnwiesen 1 erbohrten Paläozoikums zum Grazer Paläozoikum gibt, bleibt als letzte Möglichkeit noch ein Vergleich mit dem Südburgenländischen Paläozoikum. In Hannersdorf wird ein ca. 300 m mächtiger Dolomitkomplex von etwa 150 m mächtigen Tonschiefern, Mergeln und Grünschiefern überlagert (Pollak 1962).



Abbildung 6-5. Dolomitbreckzie aus der Bohrung Arnwiesen 1 aus ca. 950 m Tiefe.

### 6.1.2 Petersdorf 1

Hohenegger et al. (2009) veröffentlichten ein stratigraphisches Kurzprofil der Bohrung Petersdorf 1. Darin wird der präneogene Beckenuntergrund ab einer Tiefe von 2.901 m als grauer, tektonisierter, paläozoischer Tonschiefer angegeben. Der Fokus der wissenschaftlichen Arbeit liegt jedoch auf den neogenen Sedimentgesteinen, sodass nicht näher auf den präneogenen Beckenuntergrund eingegangen wird. Ein Bohrkern aus einer Tiefe von 3.028 – 3.031 m zeigt jedoch einen miozänen Tuffit (Abbildung 6-6. und Abbildung 6-7). Damit liegt der präneogene Beckenuntergrund tiefer als 3031 m und deutlich tiefer als in der ursprünglichen Modellierung von Kröll (1988) angenommen. Ob der erbohrte Tuffit bis zur Endteufe von 3.084 m reicht, bleibt aufgrund mangelnder Daten unklar. Aufgrund von regionalgeologischen Überlegungen ist davon auszugehen, dass sich unterhalb des Tuffit der präneogene Beckenuntergrund befindet.



Abbildung 6-6. Miozäner Tuffit bzw. Ignimbrit der Bohrung Petersdorf 1 aus einer Tiefe von ca. 3.030 m.



Abbildung 6-7. Dünnschliff des Miozänen Tuffit/Ignimbrit der Bohrung Petersdorf 1 aus ca. 3.030 m Tiefe.

### 6.1.3 Blumau 1

Blumau 1 erbohrte Grünschiefer welche Flügel (1988) der Wollsdorf Metabasit Formation zuordnete. Diese „Subsurface Unit“ verglich Flügel (1988) mit der Kehr Formation des Grazer Paläozoikum (Ranach Fazies, oberes Deckensystem). In der Untergrundkarte verbindet Flügel (1988) die Wollsdorfer Metabasit Formation hingegen mit den Grünschiefern der Platte bei Graz, die Teil der Taschen Formation (Schöckl Fazies, unteres Deckensystem) sind. Aufgrund der geringen Deformation der Grünschiefer in Blumau 1 (Abbildung 6-8) kann eine Zuordnung zur Taschen Formation jedoch ausgeschlossen werden. Ebner merkte bei Einsicht der Bohrkern an, dass die Grünschiefer lithologisch auch mit Gesteinen des Sausal vergleichbar sind. Neben einer Zuordnung der Wollsdorf Metabasit Formation zur Kehr Formation könnte es sich daher auch um ein Äquivalent des Sausal Paläozoikum handeln.



Abbildung 6-8. Paläozoischer Grünschiefer der Bohrung Blumau 1 aus ca. 1.850 m Tiefe

#### 6.1.4 Pirka 1

Pirka 1 hat Flügel (1975) zufolge „blaue, nicht kernfähige Kalke“ erbohrt. Die Einsicht in das Kernmaterial bestätigte enorme Kernverluste. Hubmann ordnete die Paläozoikums-Bruchstücke der Flösserkogel Formation zu. Ein Dünnschliff bestätigt diese Zuordnung und zeigt bioklastischen, frühdiagenetischen Dolomit (Abbildung 6-9).

#### 6.1.5 Puntigam 3

Bohrklein von Puntigam 3 aus einer Tiefe von 290 m zeigt ein dunkelblau-graues Karbonat. Eine Zuordnung ist aufgrund fehlenden Fossilinhaltes nicht möglich. Bohrklein aus 300 m Tiefe besteht aus dunkelblauem Karbonat mit reichlich Biogenschutt, ähnlich wie das Bohrklein der Bohrung Pirka 1. Nach Betrachtung eines Dünnschliffs (Abbildung 6-9) wird auch dieses Karbonat der Flösserkogel Formation zugeordnet. Es handelt sich wie in Pirka 1 um bioklastischen, frühdiagenetischen Dolomit der Flösserkogel Formation.

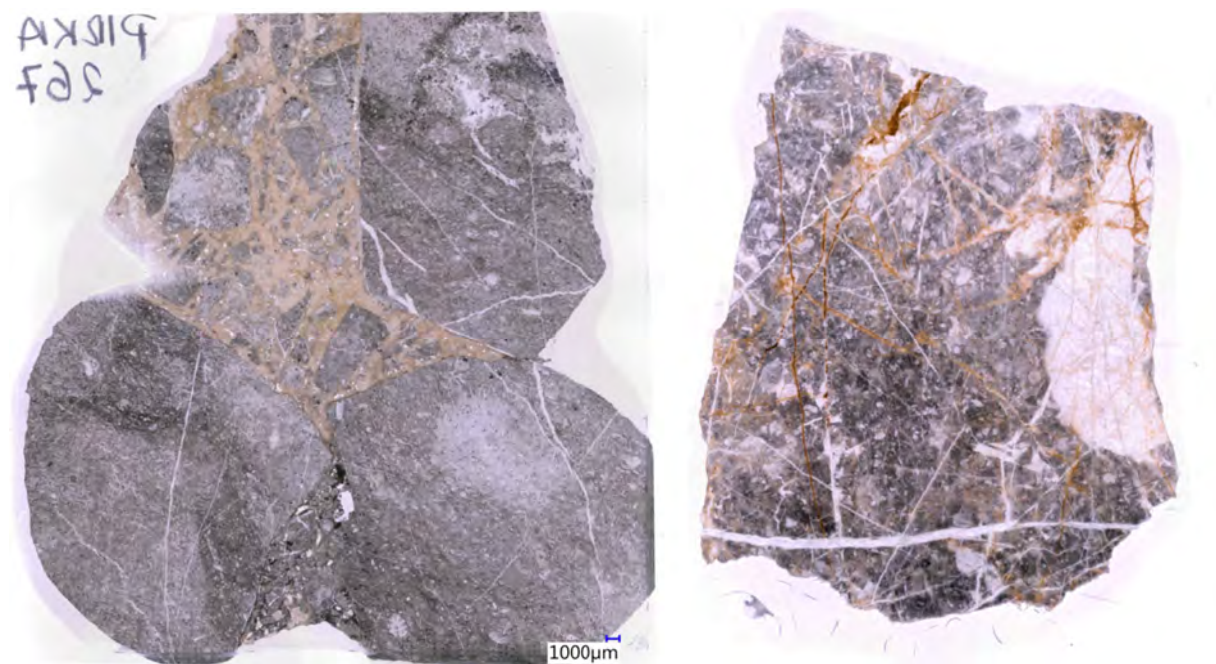


Abbildung 6-9. Dünnschliffe aus paläozoischem Kernmaterial der Bohrungen Pirka 1 (links) und Puntigam 3 (rechts). Beide Bohrungen erbohrten bioklastische Dolomite der Flösserkogel Formation. Die Dünnschliffe wurden gefertigt vom Institut für Erdwissenschaften der Karl-Franzens-Universität Graz.



## 7 Geologische Arbeiten am Beckenrand inkl. Petrophysik

### 7.1 Geologische Arbeiten am Beckenrand

Am 9.3. sowie 31.3.2022 führte das Projektteam von Geo5 und Geoteam eine Geländebegehung im Grazer Bergland durch. Begleitet wurde das Projektteam von:

- Ao.Univ.-Prof.i.R. Dr.phil. Harald Fritz
- Ao.Univ.-Prof. Dr.phil. Bernhard Hubmann
- em. Univ.-Prof. Dr.phil. Manfred Buchroithner
- Priv.-Doz. Mag. Dr.rer.nat. Kurt Krenn (31.3.2022)

Ziel der Geländebegehung war es, einen Eindruck über Lithologie, Fazies und tektonische Strukturen ausgewählter Gesteine des Grazer-, Sausal-, und Südburgenländischen Paläozoikums zu erhalten. Dadurch konnten beispielsweise die besichtigten Bohrkernproben leichter einem möglichen Aufschlussäquivalent zugeordnet werden. Außerdem wurden Proben für die petrophysikalischen Untersuchungen genommen. Fokus der Geländebegehung vom 9.3.2022 (Abbildung 7-1) lag dabei auf den Gesteinen der Rannach Fazies sowie der Schöckl Fazies. Insbesondere waren die mächtigen Karbonatabfolgen des Grazer Paläozoikums, wie z.B. die Flösserkogel Formation und die Schöckl Formation, aufgrund ihrer Eignung als potentielle Geothermie-Reservoirs von besonderer Bedeutung.



Abbildung 7-1. Das Team der Geländebegehung vom 9.3.2022. V.l.n.r.: Manfred Buchroithner, Bernhard Hubmann, Florian Dax, Harald Fritz, Johann Goldbrunner, Heinz Binder, David Muhr, Marcellus Schreilechner. Ebenso anwesend war Marlies Gold.

Am 31.3.2022 wurde das Sausal Paläozoikum und Südburgenländische Paläozoikum besichtigt (Abbildung 7-2). Vorrangiges Ziel war es, einen Gesamteindruck über die Lithostratigraphie des Sausal Paläozoikums zu erhalten und die Karbonate des Südburgenländischen Paläozoikums in mehreren Steinbrüchen genauer zu betrachten. Besonders die Besichtigung des Südburgenländischen Paläozoikums hat sich als äußerst informativ herausgestellt und die Zuordnung der im Oststeirischen Becken erbohrten Gesteine entscheidend beeinflusst (Kapitel 6). Wesentliche Erkenntnisse sind auch in Kapitel 4.4 berücksichtigt und als solche darin gekennzeichnet.



Abbildung 7-2. Das Team der Geländebegehung vom 31.3.2022 im Steinbruch Weinhandl bei Hannersdorf. V.l.n.r.: Marcellus Schreilechner, Florian Dax, Harald Fritz, Hein Binder, Marlies Gold, David Muhr, Kurt Krenn, Bernhard Hubmann, Manfred Buchroithner. Bei der Geländebegehung zum Teil ebenso anwesend war Johann Goldbrunner.

## 7.2 Petrophysik

Im Zuge der Geländebegehungen am 09.03 und 31.03.2022 wurden Proben der paläozoischen Gesteine genommen, welche unter Anleitung von Priv.-Doz. Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Nina Gegenhuber an der Montanuniversität Leoben petrophysikalisch untersucht wurden. Bestimmt wurden die Gesamtdichte, die Korndichte, die Porosität sowie die P- und S-Wellen-Geschwindigkeit (Vp & Vs). Untersucht wurden Dolomite der Flösserkogel Formation, Kalksteine der Plabutsch Formation, Bänderkalke der Schöckl Formation, Karbonate der Schönberg Formation sowie Grüngesteine der Kehr Formation. Die Ergebnisse der petrophysikalischen Untersuchungen sind in Tabelle 7-1 zusammengefasst.

Tabelle 7-1. Petrophysikalische Parameter ausgewählter Formationen des Grazer Paläozoikums.

Formation	Probe	Gesamtdichte (g/cm <sup>3</sup> )	Korndichte (g/cm <sup>3</sup> )	Porosität (%)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs
Flösserkogel Formation	E1_P1	2.85	2.86	0.31	6566	3627	1.81
	E2_N1	2.80	2.85	1.70	6111	3509	1.74
	E2_N2	2.79	2.85	2.24	5544	3917	1.42
Plabutsch Formation	E3_N1	2.66	2.70	1.51	6700	3612	1.85
	E3_N2	2.68	2.70	0.78	6981	3488	2.00
	E3_P1	2.70	2.71	0.19	x	x	x
Schöckl-Kalk	E4_N1	2.63	2.71	2.99	4790	3381	1.42
	E5_P1	2.69	2.71	0.95	6753	3825	1.77
Schönberg Formation	E6_N1	2.74	2.72	0.00	6431	4542	1.42
	E6_N2	2.68	2.73	1.81	7403	5230	1.42
	E6_N3	2.74	2.73	0.00	6483	3517	1.84
Kehr Formation	E7_N1	2.89	2.94	1.64	x	x	x
	E7_N2	2.90	2.92	0.55	7621	5379	1.42

### 7.2.1 Gesamtdichte

Die höchste Gesamtdichte weisen mit 2,89 bzw. 2,90 g/cm<sup>3</sup> die Grüngesteine der Kehr Formation auf. Die beprobten Dolomite der Flösserkogel Formation weisen ebenso hohe Gesamtdichten mit Werten von 2,79, 2,80 und 2,85 g/cm<sup>3</sup> auf. Die beprobten Kalksteine weisen geringere Gesamtdichten auf: Beim Karbonat der Schönberg Formation wurden Werte von 2,68 sowie zweimal 2,74 g/cm<sup>3</sup> gemessen. Eine Gesamtdichte von 2,74 g/cm<sup>3</sup> übersteigt die Matrixdichte von Calcit (2,71 g/cm<sup>3</sup>), was im Normalfall eine Beimengung anderer Minerale mit erhöhter Dichte anzeigt. Jedoch übersteigen die gemessenen Gesamtdichten von 2,74 g/cm<sup>3</sup> auch die gemessenen Korndichten der Proben. Die Gesamtdichten von 2,74 g/cm<sup>3</sup> der zwei Schönberg Formation Proben sollten daher mit Vorsicht interpretiert werden. Die Gesamtdichte

der Kalkstein-Proben der Plabutsch Formation liegt bei 2,66, 2,68 und 2,70 g/cm<sup>3</sup>. Die beprobten Bänderkalke der Schöckl Formation zeigen Gesamtdichten von 2,63 und 2,69 g/cm<sup>3</sup>.

### **7.2.2 Korndichte**

Die Korndichten zeigen den gleichen Trend wie die Gesamtdichten. Die Grüngesteine der Kehr Formation haben die höchsten Korndichten mit Werten von 2,92 bzw. 2,94 g/cm<sup>3</sup>, gefolgt von den Proben der Flösserkogel Formation mit Werten von 2,85 sowie 2,86 g/cm<sup>3</sup>. Das Karbonat der Schönberg Formation zeigt Korndichten von 2,72 sowie 2,73 g/cm<sup>3</sup>; der Bänderkalk der Schöckl Formation 2,71 g/cm<sup>3</sup> und die Kalksteine der Plabutsch Formation 2,70 sowie 2,71 g/cm<sup>3</sup>.

### **7.2.3 P- und S-Wellen Geschwindigkeiten**

Die Ausbreitungsgeschwindigkeiten von P- und S-Wellen ( $V_p$  und  $V_s$  in Tabelle 7-1) zeigen die für kompakte Karbonate und Grünschiefer zu erwartenden hohe Werte. Die höchsten Ausbreitungsgeschwindigkeiten elastischer Wellen werden in den Grünschiefern mit 7,6 km/s für die P-Wellen sowie 5,4 km/s für die S-Wellen erreicht. In den Karbonaten liegen die Geschwindigkeiten bei zumeist größer als 6 km/s ( $V_p$ ) sowie 3,5 km/s ( $V_s$ ).

### **7.2.4 Porosität**

Die Porositäten der beprobten Grüngesteine der Kehr Formation sind der Lithologie entsprechend erwartungsgemäß niedrig und betragen 0,55 sowie 1,64 %. Die Porositäten in den Karbonat-Gesteinen sind ebenso niedrig und liegen unter 3% (Tabelle 7-1). Das entspricht den Erwartungen, da nur aus kompetenten, mechanisch stabilen Gesteinsbereichen Proben in Form eines „Plugs“ für die petrophysikalische Untersuchungen genommen werden können. Die durchlässigen, mechanisch gestörten sowie geklüfteten Bereiche können nicht beprobt werden. Dies zeigt auch, dass eine nennenswerte Durchlässigkeit in den paläozoischen Karbonaten ausschließlich durch das Vorhandensein von Störungen, Klüften oder Verkarstung gegeben ist.

Eine Messung der Permeabilität (Durchlässigkeit) war aufgrund der äußerst geringen Porositätswerte nicht möglich.

### **7.2.5 Schlussfolgerung**

Die niedrigen Matrixporositäten und daraus resultierenden geringen Durchlässigkeiten der beprobten Karbonate beziehen sich auf die kompetenten Gesteinsbereiche. Höhere Durchlässigkeiten, wie sie für die Gewinnung geothermischer Energie notwendig sind, können daher ausschließlich aus geologisch gestörten, verkarsteten und geklüfteten Bereichen erreicht werden. Aus der Oberflächengeologie bekannte Störungen können durch geologische Geländearbeiten charakterisiert werden. Es können Kinematik, zeitlicher Ablauf sowie Spannungsverhältnisse bestimmt werden. Seismik Messungen ermöglichen hingegen die Lokalisierung von Störungszonen im Untergrund. 2D Seismik Profile zeigen die Lage von Störungszonen, sofern diese nicht in einem zu spitzen Winkel oder parallel zum Profil liegen. Mehrere 2D Seismik Profile geben die grundlegende Orientierung von Störungen wieder. Mit einer 3D Seismik kann die Lage und der exakte Verlauf der Störungen im gesamten Messgebiet bestimmt werden. Bei einer 3D Seismik werden alle mittels Seismik sichtbaren Störungen erfasst – auch jene die in einem 2D Profil aufgrund eines ungünstigen Winkels nicht oder nur schwer sichtbar wären.

## 8 Abschätzung des hydrothermalen Potenzials

### 8.1 Vorbemerkungen

Der Vorteil der geothermischen Energiegewinnung liegt neben der Umweltfreundlichkeit in der permanenten Verfügbarkeit der Ressource, unabhängig von Tageszeit und Witterung, womit sie grundlastfähig ist. Die in Österreich verbreiteten geothermischen Nutzungsformen sind:

- die Nah- und Fernwärmeversorgung
- die Versorgung von Thermalbädern,
- sowie die Stromerzeugung (untergeordnet).

Darüber hinaus gewinnt zunehmend die Kühlung von Gebäuden und Industrieanlagen durch die Umwandlung von Wärme in Kälte - z.B. durch Ab- oder Adsorptionskältemaschinen - an Bedeutung. Eine weitere Nutzungsform ist die Frostfreihaltung von Straßen, Brücken oder Start- und Landebahnen sowie die Kühlung von Hallen. Zudem kann der Untergrund als Wärmespeicher herangezogen werden.

Die Gewinnung der Erdwärme kann grundsätzlich direkt durch das Zutagefördern von Grundwasser bzw. Thermalwasser oder indirekt durch ein anderes Transportmittel erfolgen.

In der Praxis hat sich die Klassifizierung geothermischer Systeme nach Tiefe und Art der Wärmegewinnung bewährt (siehe auch Abbildung 8-1). Demnach wird zwischen den folgenden Systemen unterschieden:

- Tiefe Geothermie
  - Hydrothermale Nutzung (geothermische Dubletten)
  - Petrothermale Nutzung (EGS)
- Oberflächennahe Geothermie
  - Hydrothermale geothermische Brunnenanlagen (Zweibrunnensysteme)
  - Erdwärmekollektoren
  - Erdwärmesonden
  - Erdgebundene Betonbauteile (Geothermiepfähle)
  - Wärmegewinnung aus Tunneln und Bergwerken (Stollenwässer)

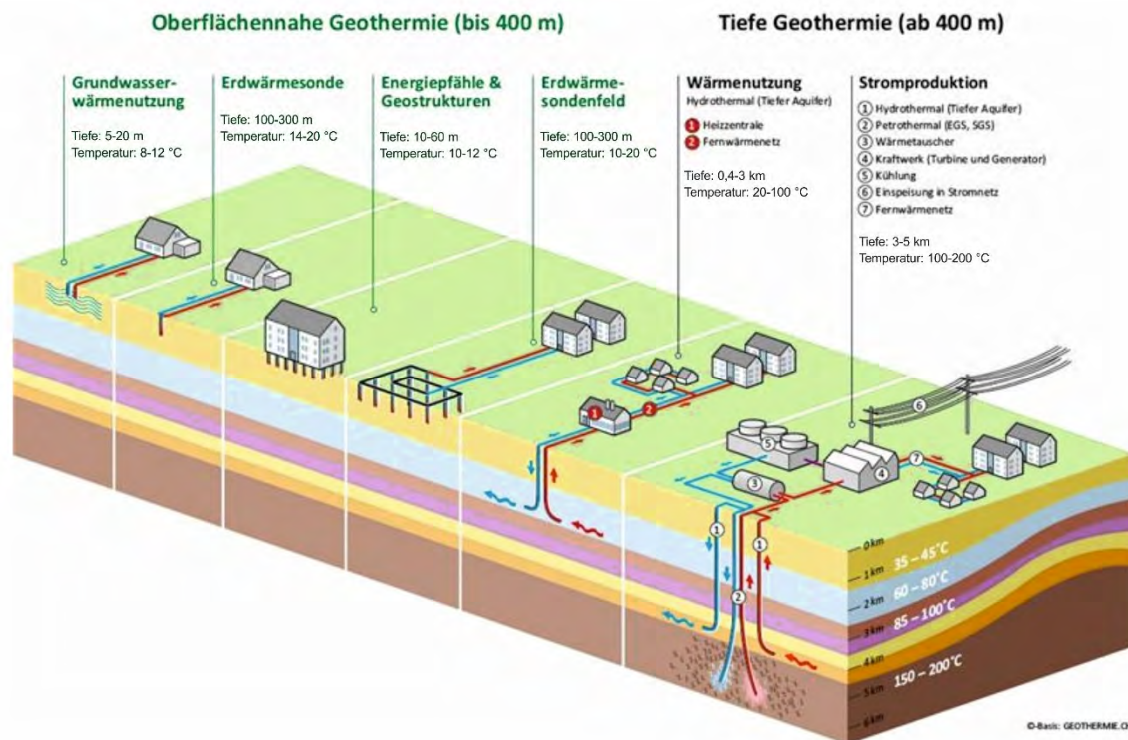


Abbildung 8-1: Beispiele der geothermischen Nutzungsmöglichkeiten in bestimmten Tiefenbereichen mit Angabe der erforderlichen Temperaturen (www.vgtg.ch).

Die hydrothermale Tiefe Geothermie, welche das Ziel der gegenständlichen Studie ist, umfasst nach Stober & Bucher (2020) Systeme, bei denen die geothermische Energie über Tiefbohrungen erschlossen wird und die Nutzung der Energie unmittelbar (ohne Niveauanhebung, wie z.B. mit Wärmepumpen) erfolgen kann. Was die Temperaturen und die Erschließungstiefen der Tiefen Geothermie betrifft, sind die Definitionen und Übergänge nach Standort und Nutzung fließend. So wird in der Literatur oft erst von Tiefer Geothermie ab Tiefen von 1.000 m und z.B. 60 °C gesprochen. In Österreich wird die Bezeichnung Thermalwasser ab einer Temperatur von 20 °C verwendet, was bei einem geothermischen Gradienten von 3 K/100 m mit Erschließungstiefen von > 400 m verbunden ist.

## 8.2 Grundlagen der Geothermie

Mit dem Begriff Geothermische Energie (kurz "Geothermie" bzw. "Erdwärme") wird die in Form von Wärme gespeicherte Energie der festen Erde (Erdkruste) unterhalb der Oberfläche bezeichnet. Die Wärme stammt zum überwiegenden Teil aus dem radioaktiven Zerfall in der Erdkruste, ein kleiner Teil ist auf die Gravitätswärme bei der Erdentstehung zurückzuführen.

Grundsätzlich existiert ein permanenter Strom von Wärme vom heißen Erdinneren (5.000 °C) zur Erdoberfläche (durchschnittlich 14 °C). Die dabei an der Erdoberfläche abgegebene thermische Energie wird als terrestrischer Wärmestrom bezeichnet und in [W/m<sup>2</sup> bzw. J/(s\*m<sup>2</sup>)] gemessen (Stober & Bucher 2020).

Ein Maß für den Temperaturanstieg mit zunehmender Tiefe ist der geothermische Gradient, der in K/m (bzw. °C/m) angegeben wird. Der durchschnittliche geothermische Gradient liegt in Mitteleuropa bei 3 K/100 m.

Die Temperaturverteilung im Untergrund ist jedoch nicht einheitlich. In Gebieten, in denen der geothermische Gradient gegenüber dem Durchschnittswert wesentlich erhöht ist, liegt eine positive Temperaturanomalie vor. Bei einer Nutzung besteht in diesen Fällen der Vorteil, dass die angestrebte Temperatur bereits in geringerer Tiefe erreicht wird und damit niedrigere Erschließungskosten anfallen bzw. bereits in geringerer Tiefe eine höhere thermische Leistung erzielt werden kann.

Der Wärmetransport in der Erdkruste erfolgt entweder konduktiv über das Gestein oder konvektiv durch Flüssigkeiten. Die Gesteine weisen aufgrund ihrer Heterogenität unterschiedliche und stark variierende Wärmeleitfähigkeiten (Einheit: W/m\*K) auf.

Für den konvektiven Wärmetransport sind oft Fluide (Thermalwässer) verantwortlich. Mit dem Begriff Thermalwasser werden in Mitteleuropa im Allgemeinen Grundwässer (unabhängig von der Art ihrer Erschließung) bezeichnet, die konstante Wassertemperaturen von mindestens 20 °C aufweisen (Hölting & Coldewey 2005).

Eine geothermische Ressource wird durch ihren Energieinhalt bzw. die nachhaltig zu entnehmende Energiemenge in einer bestimmten Zeiteinheit definiert. Dabei ist die Enthalpie H (Einheit: J) das Maß für die Energie eines thermodynamischen Systems.

Die gewinnbare thermische Leistung  $P_{th}$  beschreibt bei der hydrothermalen (direkten) Wärmegewinnung die zur Verfügung stehende Energie pro Zeiteinheit (Einheit: 1 W = 1 J\*s<sup>-1</sup>). Es lässt sich als Produkt von Volumenstrom  $Q$  [l/s], Dichte  $\rho$  [kg/dm<sup>3</sup>] und spezifischer Enthalpie  $h$  [kJ/kg] angeben:

$$P_{th} = Q \cdot \rho \cdot h \text{ [kJ/s bzw. kW}_{th}]$$

Die spezifische Enthalpie h definiert die Energie bzw. den Wärmeinhalt eines Körpers in Bezug zu dessen Masse (Einheit: J/kg bzw. kJ/kg).



Im Fall einer hydrothermalen Geothermieranlage stellt das Wasser den Körper bzw. Energieträger dar. Hierbei ist die thermische Leistung neben den hydraulischen und hydrogeologischen Randbedingungen auch von den Stoffeigenschaften des Thermalwassers abhängig. Die Stoffeigenschaften werden wiederum durch Temperatur, Druck und Lösungsinhalt des Wassers gesteuert.

## **8.3 Grundlagen und Nutzungsformen der Tiefen Geothermie**

### **8.3.1 Allgemeines**

Wie eingangs erwähnt, werden mit dem Begriff "Tiefe Geothermie" geothermische Nutzungen ab Tiefen von ungefähr 400 m (Definition nach VDI 4640) bezeichnet, wobei es fließende Übergänge zur oberflächennahen Geothermie gibt. Dabei werden hauptsächlich zwei geothermische Verfahren zur Energiegewinnung unterschieden:

- Hydrothermale Geothermie
- Petrothermale Systeme

Bei der hydrothermalen Geothermie werden geothermische Reservoirs, das sind Aquifere oder Lagerstätten, in Tiefen von etwa 400 m bis ca. 4.500 m genutzt, in denen Thermalwasser natürlicherweise zirkuliert bzw. im Fall von Lagerstätten stagniert. Die tiefe hydrothermale Geothermie ist Thema der gegenständlichen Studie.

Bei petrothermalen Systemen erfolgt die Gewinnung der geothermischen Energie aus dem tieferen Untergrund - unabhängig von Wasser führenden Horizonten - aus kompaktem, heißem Tiefengestein. Diese sog. EGS\*-Technologien wären zwar nahezu überall nutzbar, es sind aber weltweit - neben den technischen Herausforderungen auch aufgrund der hohen Investitionskosten - nur wenige Pilot- bzw. Demonstrationsanlagen in Betrieb, wobei die Stromerzeugung der Anlagen jeweils im Vordergrund steht. Die Projekte Bad Urach (Deutschland), Soultz-sous-Forêts und Rittershoffen (Frankreich/Elsass) können hier für Zentraleuropa exemplarisch genannt werden. Es handelt sich also dabei um eine noch nicht etablierte Technologie. Petrothermale Nutzungsformen werden daher in der Folge nicht weiter betrachtet. Fortschritte in der Umsetzung von EGS-Technologien sind aber aufgrund der Forschungen im nächsten Jahrzehnt zu erwarten.

\* Engineered bzw. Enhanced Geothermal Systems

### 8.3.2 Technologien der Hydrothermalen Geothermie

Die hydrothermale Geothermie stellt eine weithin und langjährig erprobte, zuverlässige Methode der Energiegewinnung dar.

Bei der hydrothermalen Energiegewinnung wird das natürlich vorkommende Thermalwasser zumeist mit zwei oder mehr Tiefbohrungen genutzt. Eine so genannte geothermische Dublette besteht aus einer Förder- und einer (Re)Injektionsbohrung, über die das thermisch genutzte Wasser wieder dem Entnahmehorizont zugeführt wird (siehe Abbildung 8-2). Ergänzt um eine weitere Bohrung zur Förderung oder Reinjektion spricht man von einer Triplette usw.

Bei einer Dublette können die Bohrungen vertikal abgeteuft werden. In diesem Fall müssen sie über eine Thermalwasserleitung verbunden sein. Meist werden die Bohrpfade aber von der Vertikalen abgelenkt, um das Niederbringen mehrerer Bohrungen von einem relativ kleinen Sammelbohrplatz aus zu ermöglichen, ohne einen thermischen Kurzschluss zu riskieren.

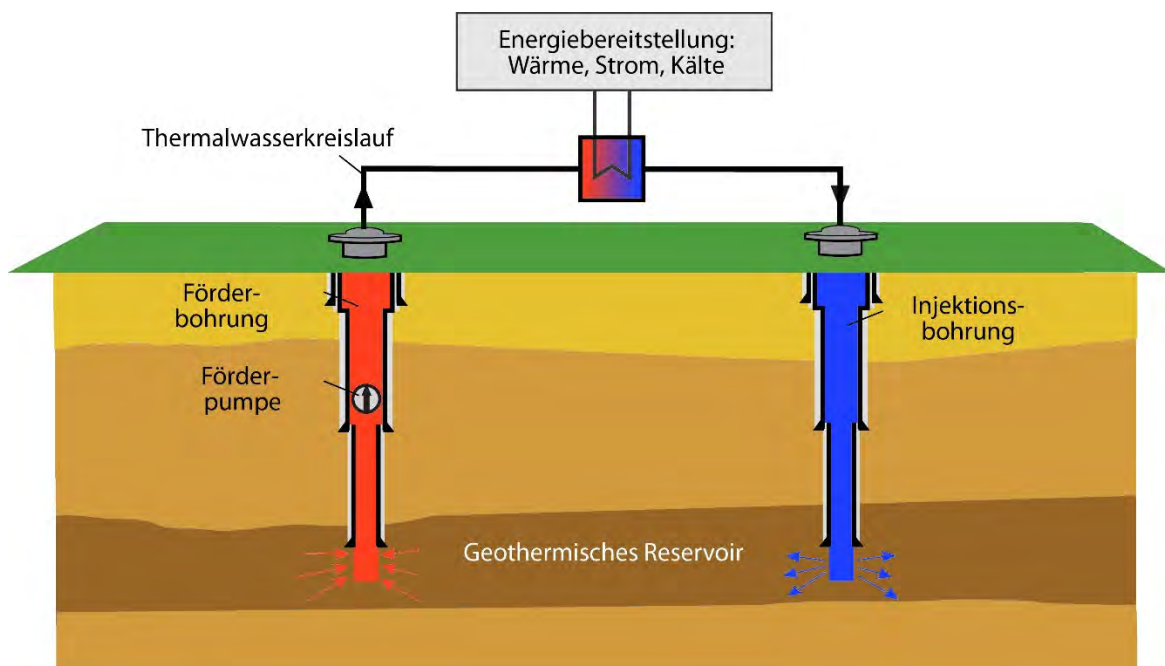


Abbildung 8-2: Schematische Darstellung der Funktionsweise einer geothermischen Dublette. (Quelle: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de))

Neben der einfacheren Manipulation der Bohrungen beinhaltet diese Methode auch eine Kostenreduktion durch eine einzige Bohrstelle. In Österreich ist dies aber mit einem Nachteil verbunden, da das Wasserrecht vorsieht, dass die an der Oberfläche gelegenen Grundstückseigentümer dem Verlauf der Bohrung unter dem jeweiligen Grundstück zustimmen müssen.

Die Nutzung erfolgt in Abhängigkeit von der Fördertemperatur als Stromgewinnung (Hochtemperaturbereich) und/oder für Heizzwecke (z.B. Fernwärme, Glashäuser etc.) sowie für die Balneologie (Kur- und Erlebnisbäder). Im Idealfall wird das Thermalwasser über eine Kaskade thermisch abgearbeitet, bevor es möglichst abgekühlt reinjiziert wird. Das Schema einer Kaskadennutzung zeigt Abbildung 8-3. Die zugehörige Tabelle 8-1 enthält Temperaturanforderungen und Beispiele bestehender Nutzungen samt Kenndaten.

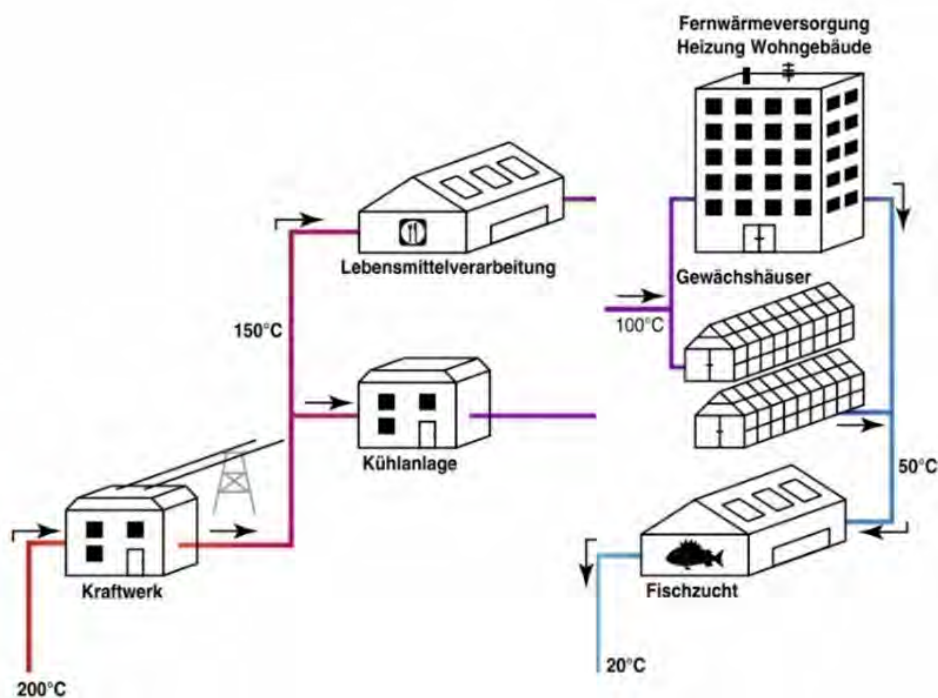


Abbildung 8-3: Kaskadenprinzip der Energienutzung (Stober & Bucher 2020).

Tabelle 8-1: Nutzungsformen der Tiefen Geothermie und ihre Anforderungen in der Übersicht (u.a. nach Stober & Bucher 2020, Geoteam-Projekte).

Nutzung	Temperatur	Beispiele
Verstromung	ab 120 °C	150 °C / 30 l/s (Soutz) 170 °C / 75-85 l/s (Rittershoffen) 110 °C / 20 l/s (Blumau Kaskade)
Fernwärme	60-90 °C	110 °C / 80 l/s (Simbach-Braunau) 105 °C / 64 l/s (Ried – Mehrnbach) 63 °C / 22 l/s (Bad Waltersdorf) 30-52 l/s (Geinberg; Kaskade)
Kühlung	ab 70 °C	---
Gewächshäuser	ab 30-60 °C	125 °C / 55 l/s (Frutur)
Fischzucht	20 – 40 °C	---

Die Tiefe Geothermie kann aber auch die Energie für Kälteanlagen liefern und so Basis für größere Kühlleistungen sein. Hier begünstigt das Vorhandensein von Abnehmern von Kühlleistung die Gesamtperformance der Anlage (Bundesverband Geothermie 2021).

Da in Österreich bisher in Geothermiebohrungen maximal rund 125 °C heiße Thermalwässer erschlossen wurden (Bohrungen der Frutura in Bad Blumau-Fürstenfeld), ist eine Stromgewinnung - auch aufgrund der relativ geringen Ökostromförderung bzw. Einspeisetarife gegenüber anderen Ländern - nur von untergeordneter Bedeutung. Bei der Verstromung ist anzumerken, dass in Niederenthalpie-Systemen (unter 170 °C) Arbeitsmedien, wie in ORC-Anlagen (z.B. Pentan) oder in Kalina-Kreisläufen (Ammoniak-Wasser-Gemisch), erforderlich sind. Der Wirkungsgrad dieser Anlagen liegt zwischen 5 – 15 %.

Die Nutzung der hydrothermalen Geothermie ist in Mitteleuropa jedenfalls weit verbreitet und stellt eine etablierte Technologie dar. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, dass ein Thermalwasser-Aquifer mit entsprechender Tiefenlage vorhanden sein muss.

## **8.4 Randbedingungen**

Die Effizienz und Wirtschaftlichkeit einer Geothermieanlage ist wesentlich von den hydraulischen, thermischen sowie stofflichen Eigenschaften des Thermalwasserleiters abhängig. Sie bestimmen die maximal mögliche thermische Leistung ( $P$ ). Damit werden die zur Leistung proportionalen Parameter Förderrate und Temperatur als Kenngrößen festgelegt.

Eine hydrothermale Wärmeversorgung erfordert aufgrund der hohen Investitionskosten für die Erschließung der Wärmequelle und für die übertägige Verfahrenstechnik eine große Anzahl an Wärmeabnehmern, die üblicherweise über ein Nah- oder Fernwärmenetz angebunden werden. Eine Geothermie-Erschließung für Heizzwecke sollte daher möglichst nachfrage- bzw. verbrauchernah erfolgen.

In der Tiefen Geothermie beträgt der Anteil der Bohrkosten am Gesamtprojektumfang bis zu 70 % (Stober & Bucher 2020). Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit werden als untere Grenze Versorgungssysteme von 5 MW Heizleistung angesehen (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Energie und Technologie 2018).

## **8.5 Bearbeitungsraum**

Zum Verständnis und zur Erfassung der komplexen geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse wurde ein sehr ausgedehntes Bearbeitungsgebiet gewählt (siehe Kapitel 3.3).

In Hinblick auf die erzielbaren Fördertemperaturen liegen im oststeirischen Becken - als westlichster Ausläufer des Pannonischen Becken – günstige geothermische Voraussetzungen vor, die in mehreren Tiefbohrungen belegt sind. Die Ursache liegt in der geophysikalisch nachgewiesenen Hochlage des Erdmantels infolge einer Ausdünnung der Erdkruste. Bei tiefenseismischen Messungen wurde durch Schmöllner et al. (1991) die Grenze zwischen der Erdkruste und dem Erdmantel (Mohorovicic-Diskontinuität) nördlich von Fürstenfeld bei 19 km festgestellt.

Dagegen wurden in Bohrungen am Beckenrand (z.B. Köflach TH 1) – infolge eines nahe gelegenen Einzugsgebietes - deutlich niedrigere geothermische Gradienten beobachtet. Somit konzentrieren sich die weiteren Untersuchungen auf den Beckenbereich im Süden von Graz und nicht auf das Bergland im Norden.

Der weitere Untersuchungsraum wurde weit nach Osten (bis hin zum Burgenland) ausgedehnt, da hier bereits erfolgreiche Geothermie-Projekte durchgeführt wurden. Speziell das ca. 50 km entfernte Fürstenfelder Becken kann dabei als Referenzgebiet herangezogen werden. Dagegen ist der Großraum Graz mangels Untergrunderkundung als Pilotgebiet anzusehen.

Wie oben (Kapitel 8.4) erwähnt, wird für Graz die Nähe zu den Wärmeabnehmern angestrebt. Mögliche Einspeisepunkte in das bestehende Fernwärmenetz von Graz sind in Abbildung 8-4 dargestellt; zugehörige Anlagendaten enthält Tabelle 8-2.

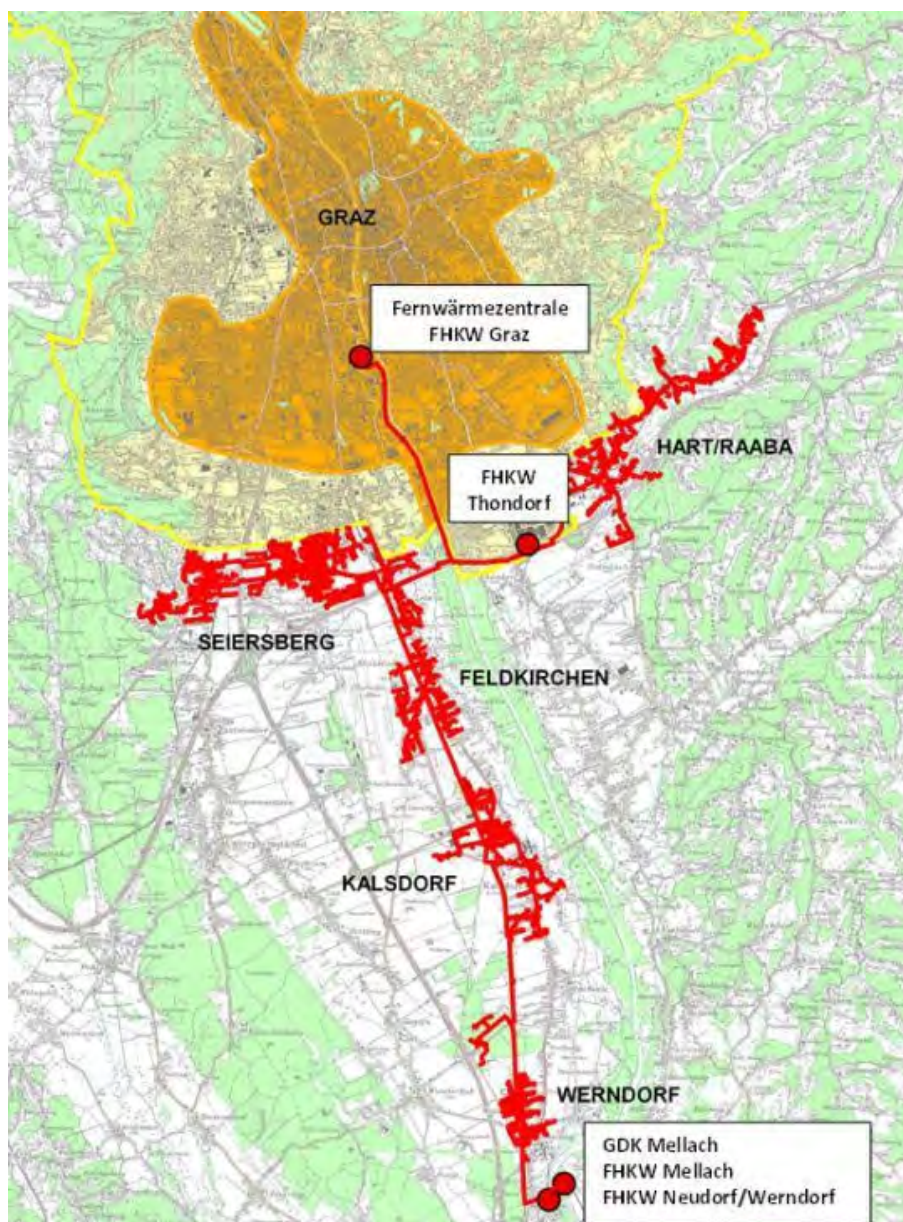


Abbildung 8-4: Übersicht Fernwärmetransportleitung Mellach-Graz und Versorgungsgebiete im Großraum Graz mit Einspeisepunkten und Anlagendaten (Grazer Energieagentur 2014).

Tabelle 8-2: Thermische Leistungen der Erzeugungsanlagen (Grazer Energieagentur 2014).

Anlage	Betreiber	Thermische Leistung [MW]
FHKW Graz Puchstraße	Steirische Gas-Wärme	280*
FHKW Thondorf	Steirische Gas-Wärme	35*
FHKW Mellach	Verbund VTP	230*
FHKW Werndorf	Verbund VTP	200*
GDK Mellach	Verbund VTP	400*
Marienhütte Abwärme	Energie Graz	15*
Sappi Gratkorn Abwärme***	Energie Graz /Sappi / Bioenergie Fernwärme BWS	k.A.
Solaranlage AEVG	solar.nahwaerme.at	3,5**
Solaranlage Stadion Liebenau	solar.nahwaerme.at	1,0**
Solaranlage Wasserwerk Andritz	solar.nahwaerme.at	2,7**

\*Maximalwerte aus bisheriger Betriebsweise    \*\* theoret. maximal mögliche Sommerleistung

\*\*\* Einspeisepunkt bei Wasserwerk Andritz    k.A. keine Angaben

## 8.6 Geologische Verhältnisse bei derzeitigem Kenntnisstand

### 8.6.1 Datengrundlagen

#### Bohrungen

Als verlässlichste Informationsquellen sind grundsätzlich Daten von Tiefbohrungen anzusehen, wobei die Qualität der Daten meist mit dem Alter abnimmt. Die Lage der verfügbaren und verwendeten Bohrungen ist in Abbildung 8-5 dargestellt. Die Bohrungen sind entsprechend der erreichten Endteufe farblich gekennzeichnet. Die Bereiche mit Bohrungen repräsentieren somit eine gute Aussagekraft in Bezug auf die lokalen Verhältnisse.

Es wurden insgesamt 41 verfügbare Bohrungen aus dem Untersuchungsgebiet ausgewählt. Die Bohrtiefen liegen zwischen 150 m und 3.256 m unter GOK bei einer Summe von 61,8 km Bohrstrecke. Abbildung 8-6 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Endteufen. Rund 75 % der Bohrungen liegen im Bereich bis 2.000 m. Die restlichen 25 % sind zwischen 2.000 und 3.500 m tief.

## Profile und Karten

Weiters ist in Abbildung 8-5 die Lage der projektrelevanten, publizierten Profilschnitte verortet. Diese sind zum Großteil Interpolationen zwischen Tiefbohrungen bzw. Extrapolationen der Oberflächengeologie; weiters basieren sie teils auf seismischen Untersuchungen. Sie sind damit - wie auch Untergrundkarten (z.B. Kröll et al. 1988) - mit Unsicherheiten verbunden. Die wichtigsten Kartengrundlagen sind in Tabelle 8-3 aufgelistet.

Die Untergrundkarte von Kröll et al. (1988) basiert im Wesentlichen auf gravimetrischen Messungen, die durch seismische Erkundungen und Ergebnisse aus Tiefbohrungen (v.a. aus der Kohlenwasserstoffexploration) ergänzt wurden. Sie stellt eine wertvolle Kartengrundlage dar, ist aber v.a. in Bereichen mit geringer Datendichte mit entsprechender Vorsicht zu betrachten. Das gilt insbesondere auch für den Raum südlich und südöstlich von Graz.

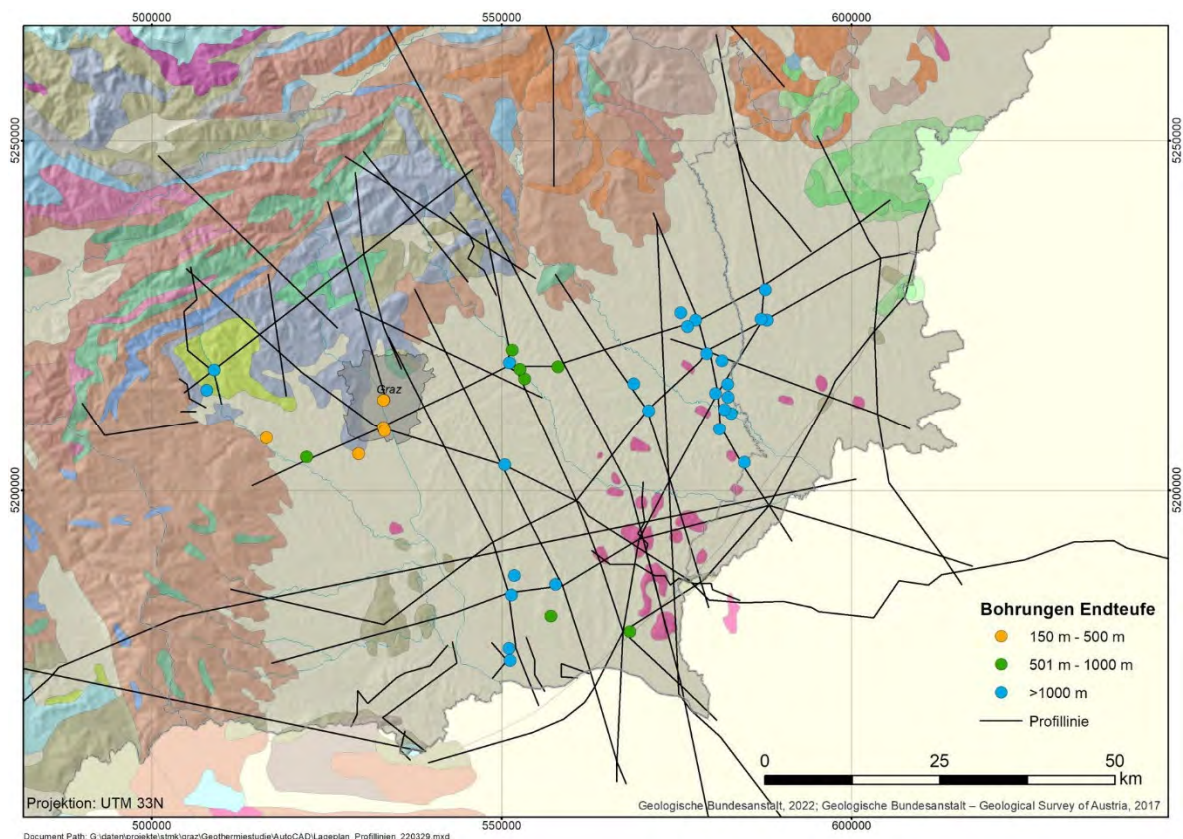


Abbildung 8-5: Lage der publizierten Profilschnitte und der verwendeten Bohrungen.



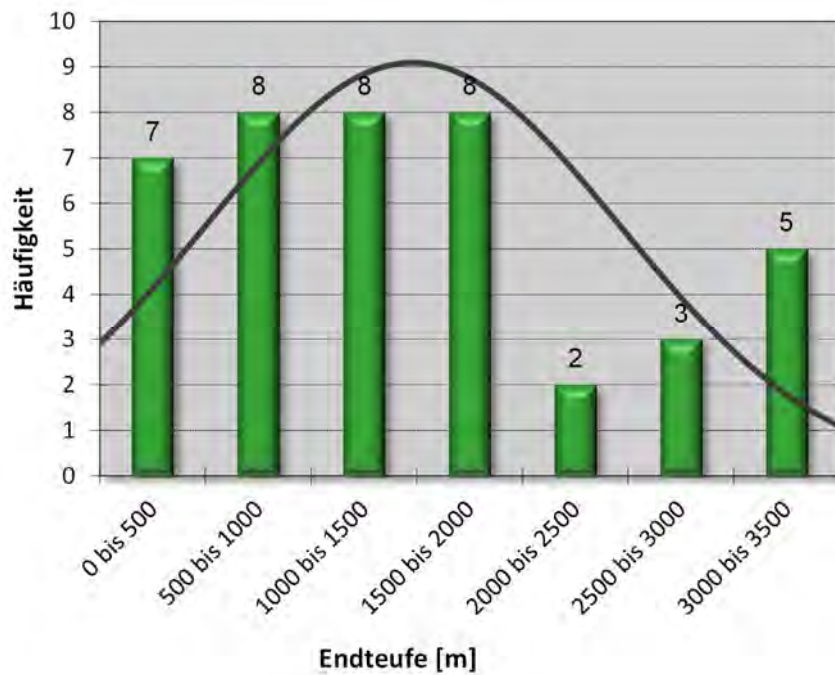


Abbildung 8-6: Häufigkeitsverteilung der Endteufen der verwendeten Bohrungen.

Tabelle 8-3: Grundlegende geologische Karten im Arbeitsgebiet.

Nr.	Kartentitel	Zitat
1	Steirisches Becken - Südburgenländische Schwelle 1:200.000	Kröll et al. (1988)
2	Geologische Karte der Republik Österreich; Blatt Nr. 164 Graz, 1:50.000	Flügel et al. (2011)
3	Structural map of the Paleozoic of Graz.	Gasser et al. (2010)
4	Karte der LANDSAT-Bildlineamente von Österreich 1:500.000	Buchroithner (1984)
5	Geologische Karte der Steiermark 1:200.000	Flügel et al. (1984)
6	Geologische Karte der Republik Österreich; Blatt Nr. 167 Güssing, 1:50.000	Herrmann et al. (1993)
7	Geologische Karte (Geofast) der Republik Österreich; Blatt Nr. 190 Leibniz, 1:50.000	Moser (2016)
8	Geologische Karte (Geofast) der Republik Österreich; Blatt Nr. 168 Eberau, 1:50.000	Moser (2016)

### **8.6.2 Geologische Einheiten im Beckenuntergrund südlich/südöstlich von Graz**

Nach Erhebung und Auswertung der verfügbaren geologisch-hydrogeologischen Daten und Informationen wurden wesentliche Informationsdefizite hinsichtlich des tieferen Untergrundes im Raum Graz und südlich davon erkannt, die sich als limitierender Faktor in Hinblick auf die Aussagesicherheit von Prognosen (Temperaturen und Volumenströme) auswirken. Zudem ist der komplexe Deckenbau der obertage auftretenden paläozoischen Einheiten noch nicht vollständig geklärt.

Die in der Untergrundkarte von Kröll et al. (1988) vorgenommene Differenzierung der an der Beckenbasis verbreiteten Einheiten basiert auf wenigen punktuellen Informationen aus Tiefbohrungen ohne genaue Kenntnis des größeren Gesteinsverbandes (wie zum Beispiel in Oberflächen-Aufschlüssen). Für die gegenständliche Fragestellung hat es sich daher als zielführender erwiesen, die obertage auftretenden Einheiten und ihre Nomenklatur heranzuziehen.

In der Beckenumrahmung treten vereinfacht folgende Gesteins-Abfolgen auf:

- Rannach Fazies des Grazer Paläozoikum im Nordwesten
- Schöckl Fazies des Grazer Paläozoikum im Nordosten
- Sausal Paläozoikum im Süden
- Paläozoikum im Bereich der Südburgenländischen Schwelle im Osten
- Austroalpines Kristallin (Radegunder Kristallin und Koralm-Kristallin)

Die paläozoischen Abfolgen wurden bereits in Kapitel 4 beschrieben und sind an dieser Stelle (Abbildung 8-7) überblicksmäßig zusammengefasst. Bei derzeitigem Kenntnisstand kann nicht ausgesagt werden, welche geologischen Einheiten im Untergrund südlich von Graz tatsächlich auftreten. Hier sind v.a. die beiden Einheiten des Grazer Paläozoikum (Rannach und Schöckl Fazies), das Sausal Paläozoikum und das kristalline Basement wesentlich. Das Paläozoikum im Südburgenland ist für den Grazer Raum aufgrund der großen Entfernung weniger bedeutend.

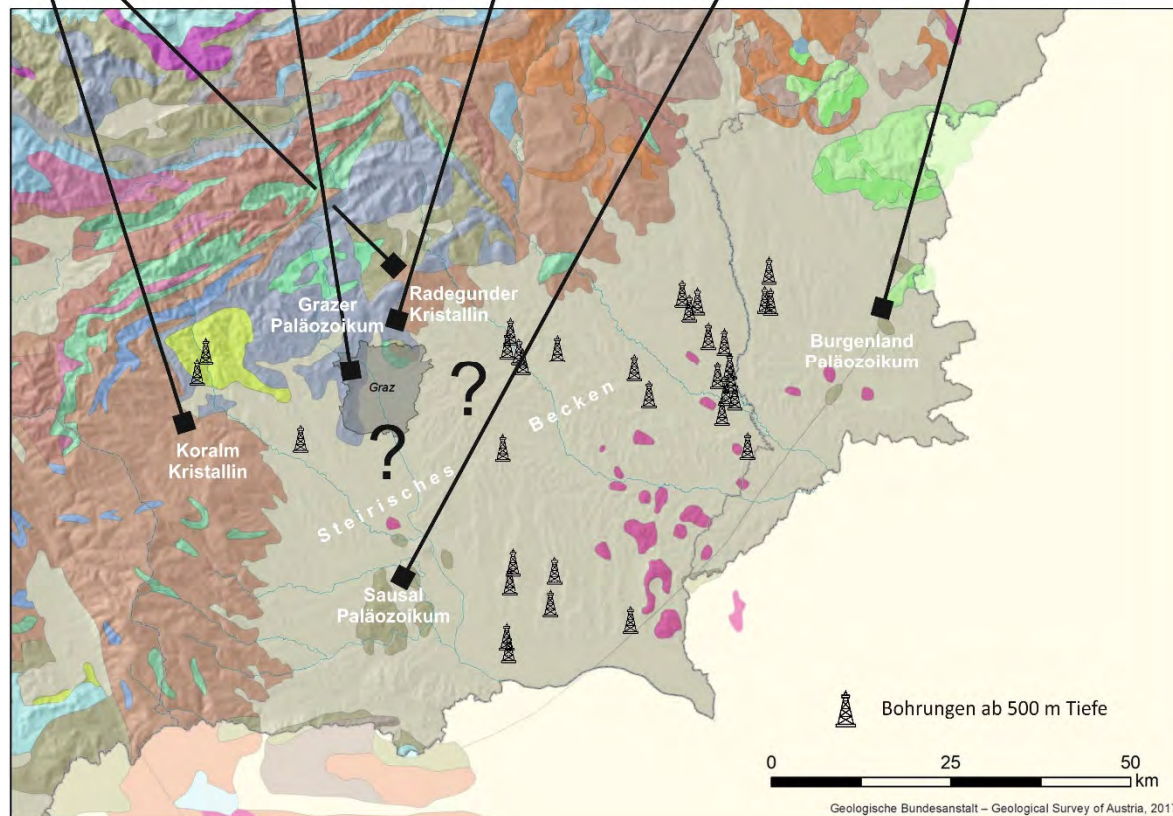
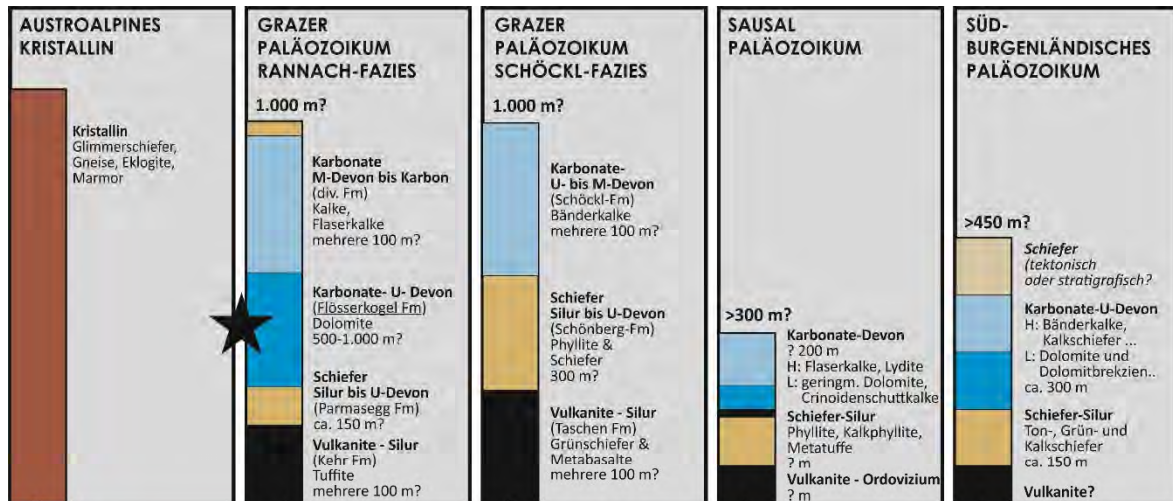


Abbildung 8-7: Paläozoische Abfolgen in der Umrahmung des Steirischen Beckens.

### 8.6.3 Störungsinventar

Generell ist in spröden Festgesteinen im Bereich von Störungszonen eine erhöhte Klüffigkeit gegeben, die das Auftreten von Grundwässern begünstigt/ermöglicht (Kluftgrundwasserleiter). Das Antreffen einer sprödetektonischen Störungszone ist damit für ein tiefes hydrothermales Geothermieprojekt essenziell.

In Abbildung 8-8 ist eine Strukturkarte des Beckenuntergrundes dargestellt - die darin ausgewiesenen Störungszonen sind in grüner Farbe hervorgehoben. Hier lässt sich, neben den SW-NE verlaufenden Störungen, vor allem im Großraum Graz eine Dominanz von N-S gerichteten Elementen erkennen.

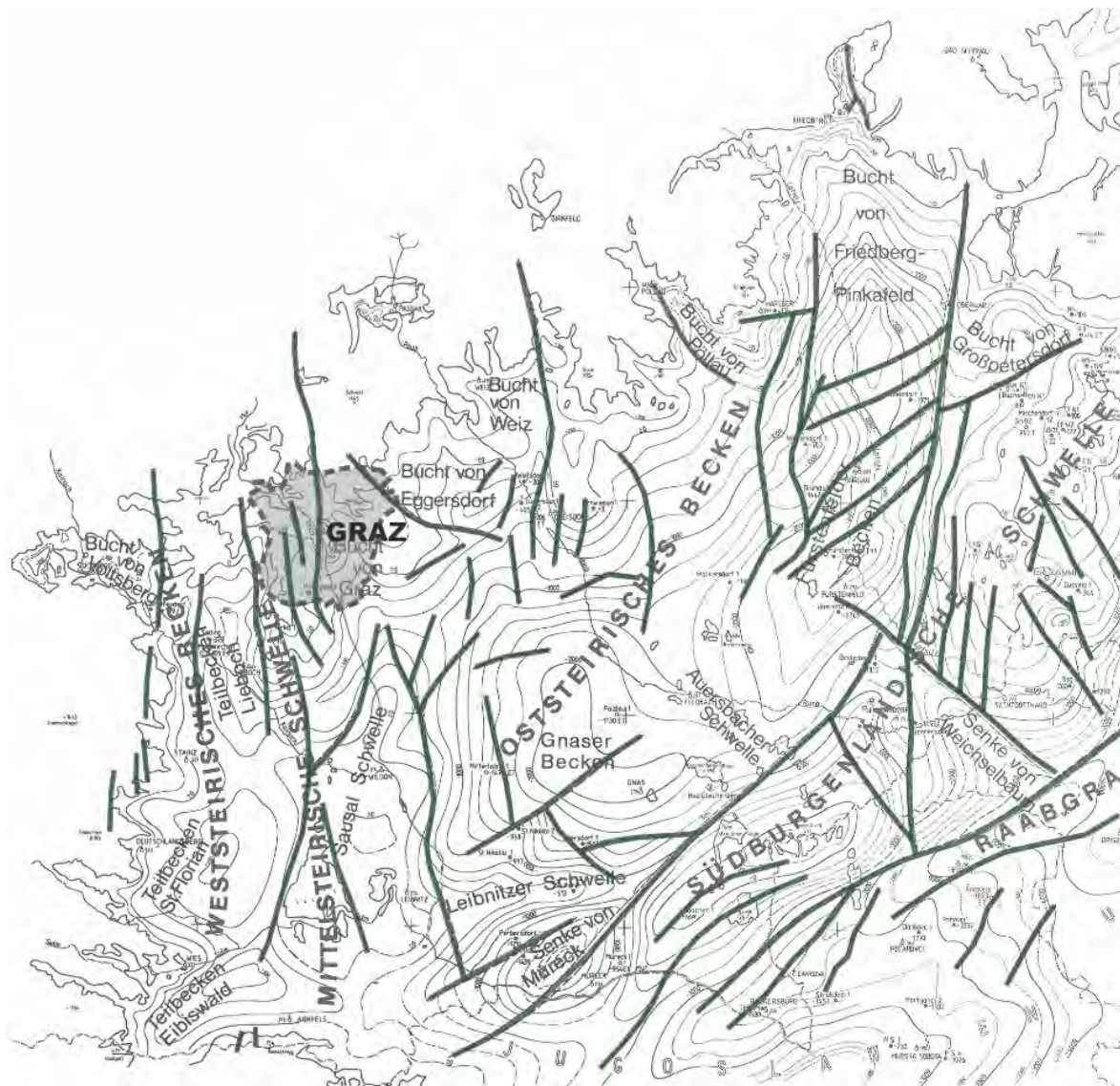


Abbildung 8-8: Störungszonen (grün hervorgehoben) in der Strukturkarte des Steirischen Becken (Kröll et al. 1988).

Ein wesentliches Element im Grazer Raum ist die N-S verlaufende Leberstörung. Nach derzeitigem Kenntnisstand war sie in den letzten 25 Mio. Jahren aktiv und versetzt das Grazer Paläozoikum, wobei hier eher die abschiebende Komponente dominiert (weniger Lateralversätze). Die Störung ist im Norden von Graz obertägig aufgeschlossen – ihre Kinematik ist noch nicht ausreichend untersucht. Eine

Fortsetzung im Untergrund im Süden von Graz ist denkbar. In der Bohrung Puntigam 2 wurde ein  $^3\text{He}/^4\text{He}$ -Wert festgestellt, der nach Zötl & Goldbrunner (1993) das Vorhandensein von Mantelheliumkomponenten im Thermalwasser anzeigt. Dies spricht für einen Aufstieg von mehreren Zehnerkilometern. Die Autoren sehen einen Zusammenhang mit der Leberstörung. Hingewiesen wurde auch auf die hohen Carbon-14 Alter der Puntigamer Wässer. Mantelkomponenten wurden auch in den Quellen von Tobelbad nachgewiesen (Zötl & Goldbrunner 1993).

Im Vergleich mit den im Zuge von Satellitenbilddauswertungen detektierten Lineamenten, die u.a. auf Störungszonen zurückzuführen sind (siehe Abbildung 8-9), ist die im Untergrund vorrangige N-S – Richtung an der Oberfläche ebenfalls - wenn auch untergeordnet – vertreten. Hier stehen v.a. SW-NE und dazu konjugierte Systeme mit einer größeren Intensität im Vordergrund.

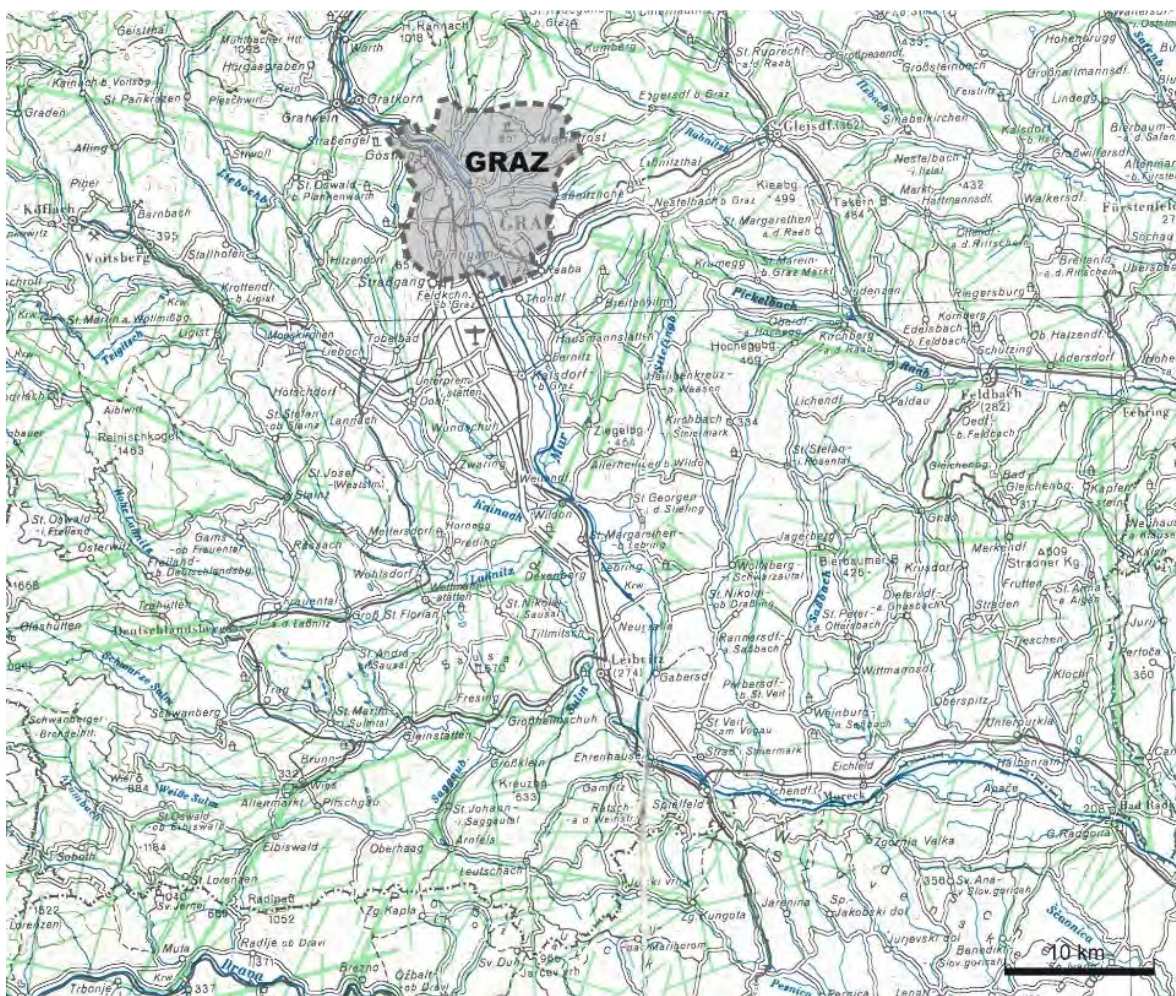


Abbildung 8-9: Landsat-Bildlineamente im Untersuchungsgebiet (Buchroithner 1984).

## 8.6.4 Zusammenfassung und Defizite

- » Als Zielgebiet für eine Tiefe (hydrothermale) Geothermie zur Wärmeversorgung für den Großraum Graz wird – aufgrund günstiger geothermischer Voraussetzungen – das Steirische Becken im Süden von Graz definiert.
  
- » Aufgrund fehlender Untergrunduntersuchungen (Seismik, Tiefbohrungen) liegen keine belastbaren Daten aus diesem Bereich vor und es stellt dieser damit ein Pilotgebiet dar.
  
- » Die Kinematik der Leber Störung, die sich wahrscheinlich nach Süden fortsetzt ist noch nicht untersucht.

## 8.7 Geothermische Körper im Untergrund und ihre Kenngrößen

### 8.7.1 Abgrenzung

Der Betrachtungsraum für die Erschließung der Tiefen Geothermie wird vertikal definiert durch:

- die Untergrundtemperatur (ab 20 °C)
- und den wirtschaftlichen Einsatz der Bohrtechnik (bis 4.000 m / 4.500 m)

#### Anmerkung:

Im Rahmen der Expertengespräche wurden die Sedimente der Beckenfüllung als mögliches Erschließungsziel ausgeschlossen. Im südlich von Graz gelegenen Beckenabschnitt sind aufgrund fazieller Überlegungen keine grobklastischen Basisentwicklungen (wie Basiskonglomerate) zu erwarten. Die weiteren Betrachtungen konzentrieren sich damit auf die Gesteine des Beckenuntergrundes.






Da somit - beim derzeitigen Kenntnisstand - keine seriösen Prognosen zur Verbreitung der lithostratigrafischen Abfolgen im tieferen Untergrund südlich von Graz möglich sind, wird die Abgrenzung der geothermischen Körper vorerst auf Basis lithologisch-petrophysikalischer Kriterien der zu erwartenden geologischen Einheiten vorgenommen.

Wie in Kapitel 8.6.2 ausgeführt, sind im Untergrund südlich von Graz vor allem vier Abfolgen möglich, die an den Beckenrändern obertage anstehen:

- Rannach Fazies des Grazer Paläozoikum im Nordwesten
- Schöckl Fazies des Grazer Paläozoikum im Nordosten
- Sausal Paläozoikum im Süden
- Austroalpines Kristallin

Unabhängig vom Faziesbereich sind diesen Entwicklungen (mit Ausnahme des kristallinen Beckenuntergrundes) ähnliche lithologische Abfolgen gemeinsam, die sich (stark vereinfacht) zusammenfassen und zu geothermischen Körpern abgrenzen lassen. Sie sind in Tabelle 8-4 definiert.

Tabelle 8-4: Definierte geothermische Körper für die Tiefe Geothermie im Steirischen Becken südlich von Graz.

Geothermischer Körper	Lithologie vorwiegend	Durchlässigkeit
1  Dolomite	Dolomite, bituminöse Dolomite, Dolomitsandsteine	hoch*
2  Kalke	Kalke, Flaserkalke, Plattenkalke, Bänderkalke	mittel bis hoch*
3  Phyllite und Schiefer	Phyllite, Ton-/Kalk-Schiefer, Kalkphyllite, Glimmerschiefer	gering
4  Vulkanische Abfolge	Metabasite, Basalte, Tuffe und Tuffite, Diabase	unterschiedlich
5  Austroalpines Kristallin	(Granat-)Glimmerschiefer, Gneise, Amphibolite, Marmor	gering bis mittel

\* im Bereich von sprödetektonischen Störungszonen

Bei einer tiefen hydrothermalen Geothermienutzung im Großraum Graz stehen spröde paläozoische Karbonatgesteine (v.a. Dolomite) als Erschließungsziel im Vordergrund. Dabei sind v.a. die Dolomite der Flösserkogelformation aufgrund ihrer petrophysikalischen spröden Eigenschaften sowie der zu erwartenden Mächtigkeiten

hervorzuheben. Von einer tiefgründigen Verkarstung kann im Grazer Raum nicht ausgegangen werden.

Dagegen werden Phyllite und Schiefer aufgrund ihrer plastischen Eigenschaften ausgeschlossen. Sie sind für eine Tiefe Geothermie Nutzung a priori nicht geeignet. Spröde Festgesteine (wie Amphibolite, Eklogite, Marmore, Quarzite ...) können in sprödetektonischen Störungszonen wasserführend sein und könnten unter Umständen als Sekundärziel fungieren.

### **8.7.2 Temperaturverhältnisse**

Die Untergrundtemperaturen im Steirischen Becken wurden bereits in mehreren Studien untersucht. So wurde z.B. beim 'Transenergy'-Projekt (Nádor et al. 2013) ein überregionales geothermisches Modell des westlichen Pannonischen Becken erstellt. Resultat daraus waren u.a. eine Wärmestromdichtekarte und Verteilungskarten mit den zu erwartenden Temperaturen in unterschiedlichen Tiefen. Die Aussagekraft dieser Karten, die im Vergleich zur Modellgebietsgröße anhand weniger Orientierungspunkte interpoliert wurden, darf jedoch nicht überschätzt werden. Daher sollen die daraus gewonnenen Werte nur als Annäherung verstanden werden.

Der terrestrische Wärmestrom, die von der Erde pro Quadratmeter abgegebene Leistung (Wärmestromdichte), liegt durchschnittlich bei  $65 \text{ mW/m}^2$  (z.B. Stober & Bucher 2020). Im Steirischen Becken (Abbildung 8-10) tritt demgegenüber ein erhöhter Wärmestrom auf, besonders östlich von Graz im Bereich Gleisdorf ( $100 - 110 \text{ mW/m}^2$ ) und in der Südsteiermark sowie im südlichen Burgenland (bis  $120 \text{ mW/m}^2$ ). Im Westen und Nordosten ist der Wärmestrom geringer ( $70 - 90 \text{ mW/m}^2$ ), liegt aber immer noch über dem durchschnittlichen Wert. Ursache für die höheren Werte ist die durch Krustendehnung bedingte Mantelhochlage im Pannonischen Becken.

Ähnlich sieht auch die Temperaturverteilung in 1.000 m Tiefe unter Gelände aus (Abbildung 8-11). Demnach werden in den wärmeren Bereichen Temperaturen von  $55$  bis  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  erreicht, in Graz liegen die Temperaturen in dieser Tiefe zwischen  $45$  und  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . In 2.500 m Tiefe wären im Raum Graz  $95 \text{ }^\circ\text{C}$ , in der Südsteiermark bis  $115 \text{ }^\circ\text{C}$  zu erwarten (Abbildung 8-12).

Die  $100^\circ$ -Isotherme (Abbildung 8-13) könnte bei Graz in Tiefen von  $2.500 - 2.700 \text{ m}$  liegen. Auch hier zeigt sich der nach Osten hin steigende geothermische Gradient anhand der geringeren Tiefenlage der  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ -Isotherme.



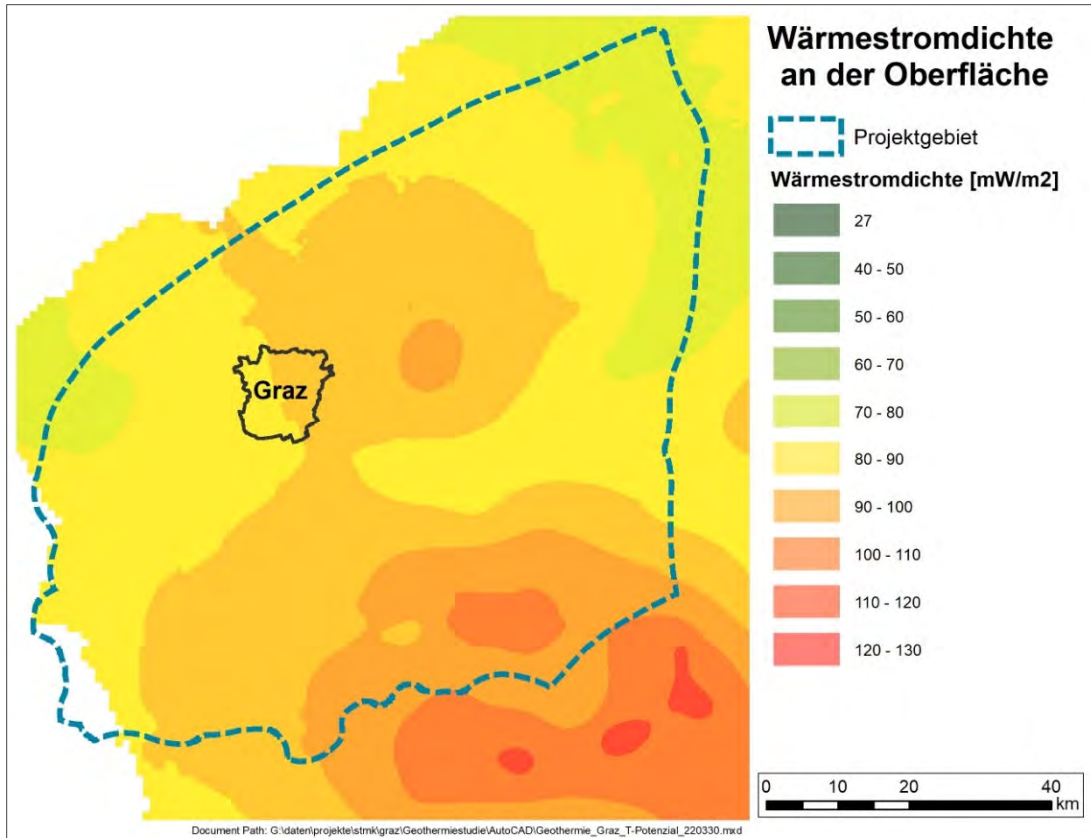


Abbildung 8-10: Darstellung des geothermischen Regimes im Steirischen Becken – Wärmestromdichte (nach Transenergy).

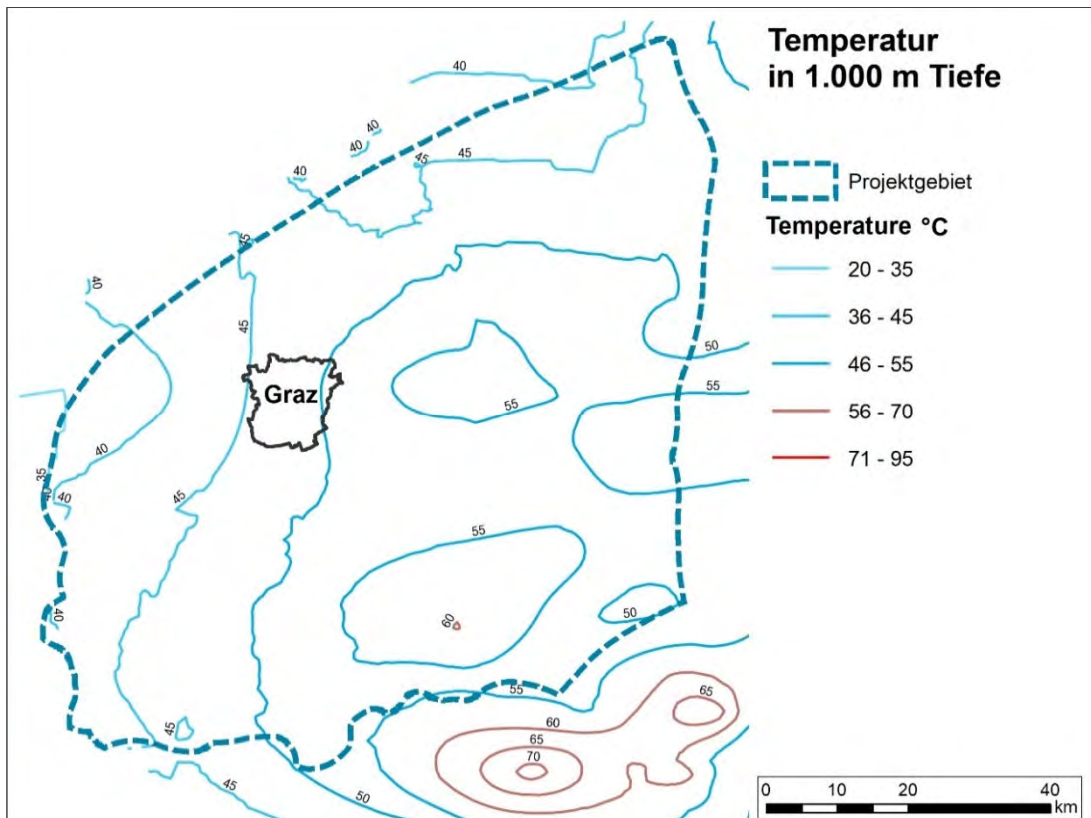


Abbildung 8-11: Temperaturverteilung im Steirischen Becken in einer Tiefe von 1.000 m (nach Transenergy)

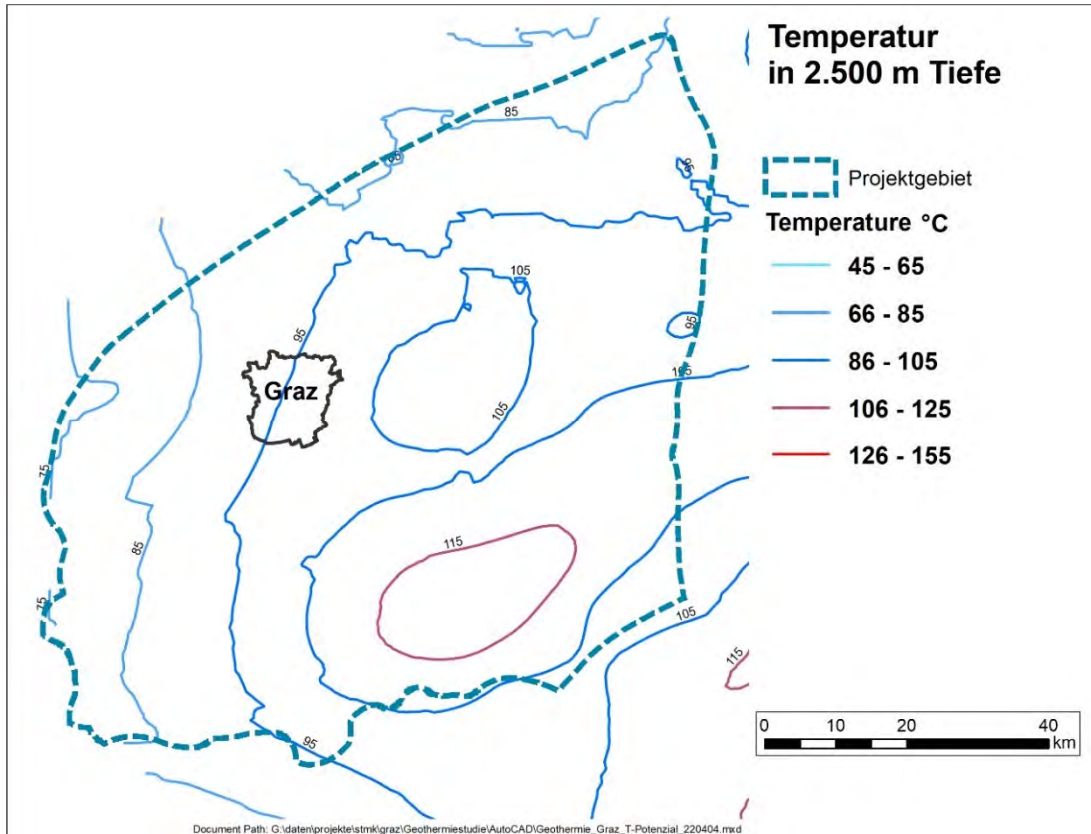


Abbildung 8-12: Temperaturverteilung im Steirischen Becken in einer Tiefe von 2.500 m (nach Transenergy)

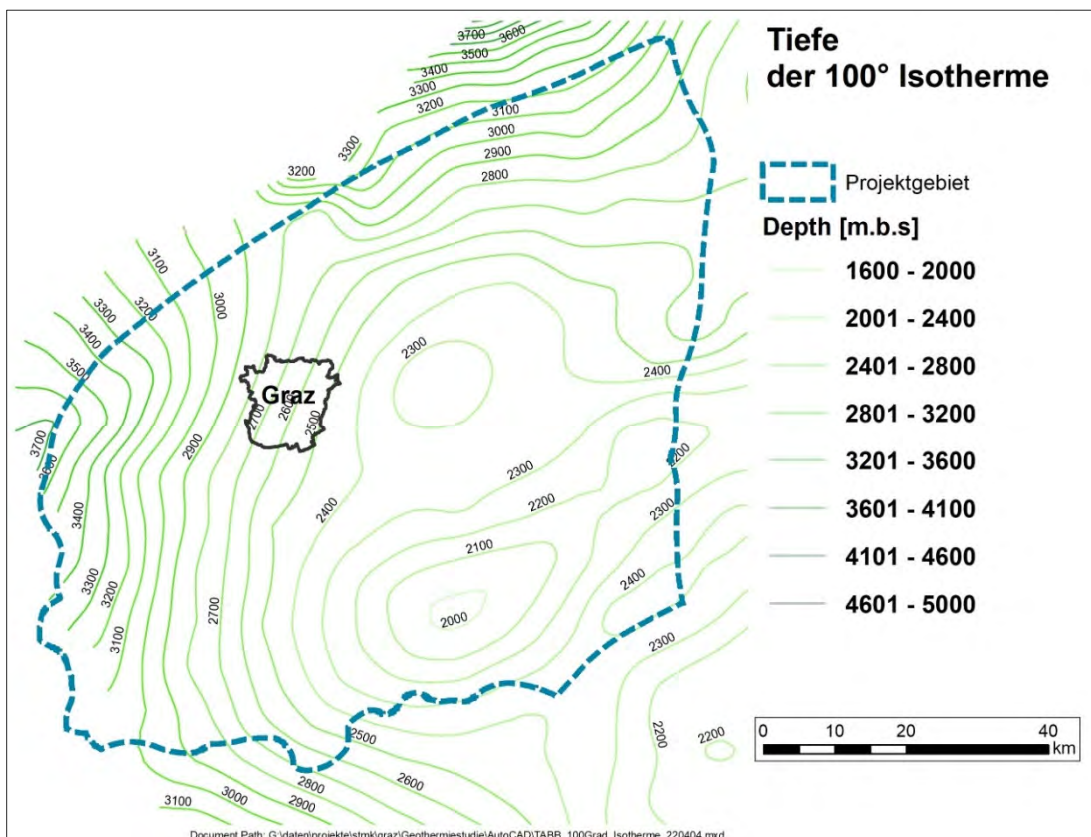


Abbildung 8-13: Tiefenverteilung der 100°-Isotherme im Steirischen Becken (nach Transenergy)

In Abbildung 8-14 sind Temperaturdaten von Bohrungen im Steirischen Becken gegen die Tiefe geplottet. Daraus können geothermische Gradienten zwischen 3 K/100 m und 5 K/100 m abgeleitet werden (Goldbrunner 2015). Der durchschnittliche geothermische Gradient in der Erdkruste beträgt etwa 2,8 – 3,0 °K/100 m (z.B. Stober & Bucher 2020).

Die bisher höchsten Wassertemperaturen wurden im Fürstenfelder Becken im Raum Blumau erschlossen. In der Bohrung Futura GT2 wurden 124,5 °C gemessen (am Wellhead, bzw. 143 °C in 3.256 m TVD, heißeste Geothermiebohrung Österreichs), in der Bohrung Blumau 2 110 °C (Goldbrunner 2020). Beide Bohrungen erschließen Wässer aus paläozoischen Karbonaten.

Zum Vergleich dazu herrschen am Westrand des Projektgebietes andere Bedingungen. Die Bohrung Köflach Th1 befindet sich an der Nordwestflanke des Köflach-Voitsberger Neogenbeckens, einem Teilbecken des Weststeirischen Beckens. Der wichtigste wasserführende Horizont im paläozoischen Schöcklkalk liegt zwischen 794 – 855 m Tiefe, die Wassertemperatur am Wellhead liegt im Mittel bei 25 °C. In dieser Bohrung wurden an der Sohle in 1.036 m Tiefe 36 °C gemessen (Eisner et al. 2000). Daraus ergibt sich ein Gradient von ca. 2,6 K/100 m. Der im Vergleich zu den Bohrungen im Oststeirischen Becken niedrigere Gradient wird mit der Nähe der Bohrung zum Einzugsgebiet erklärt.

Während die Untergrundtemperaturen im östlichen Steirischen Becken anhand der Bohrungen relativ gut untersucht sind, gibt es im näheren Umfeld von Graz weniger Informationen aus dem tieferen Beckenuntergrund. Positive Temperaturanomalien sind aus den Bohrungen Puntigam und den Thermalquellen von Tobelbad bekannt. Dabei handelt es sich um tiefer zirkulierende Wässer die nach Erwärmung wieder aufsteigen und so zu einer im Vergleich zum geothermischen Gradienten erhöhten Temperatur führen.

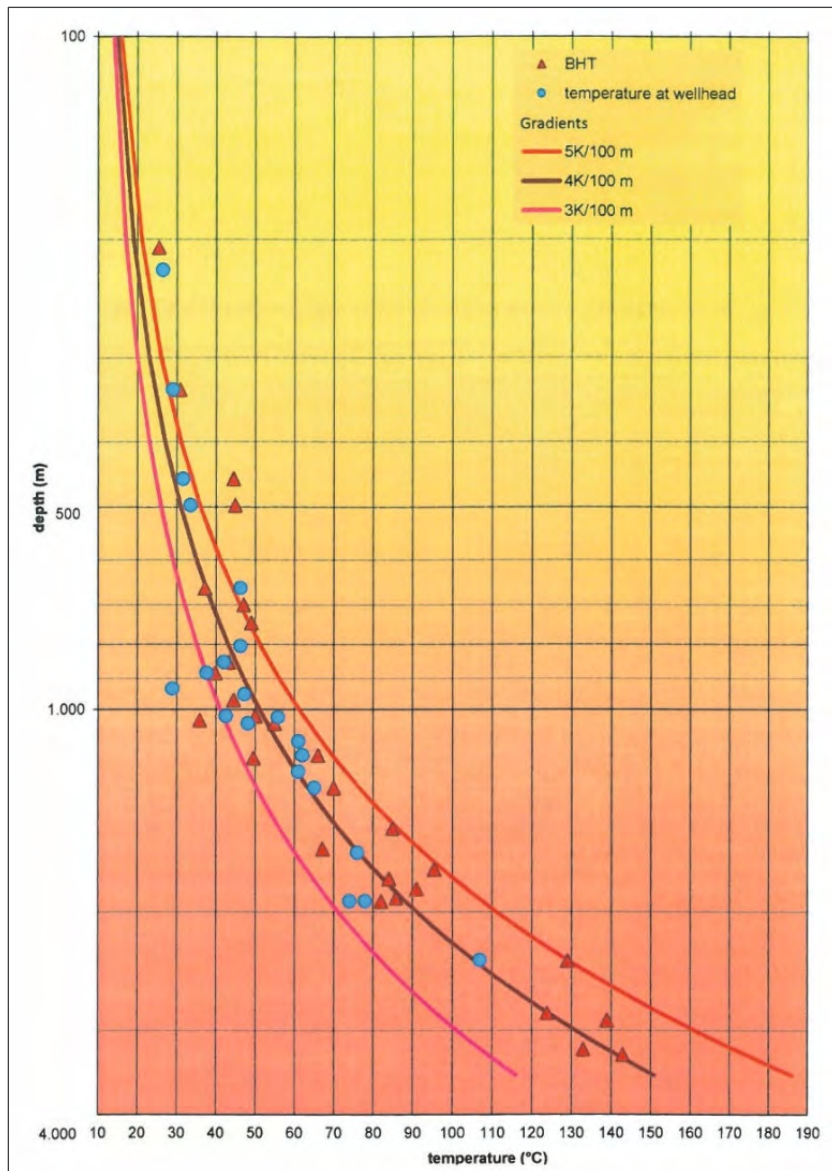


Abbildung 8-14: Bohrungen im Steirischen Becken – Teufen-Temperatur Diagramm.

Die Bohrungen Puntigam 1 ('Herrgottwiesquelle', als Heilquelle anerkannt) und Puntigam 2 fördern artesisch gespanntes Grundwasser mit Temperaturen von ca. 27 °C aus Tiefen von nur 204 (P1) bzw. 246 – 258 m (P2) zutage (Zötl & Goldbrunner 1993). Das Einzugsgebiet der Wässer wird im karbonatischen Paläozoikum des Plabutsch-Buchkogelzuges vermutet (Zötl 1976). Auch besteht – wie beschrieben - die Möglichkeit einer Verbindung zu einer Störungszone im Grundgebirge (z.B. Leberstörung) als Ursache für die Anomalie (Turner 1969, zit. nach Zetinigg 1993). Ausgehend von einem Gradienten von 3,3 K/100 m würde die Zirkulationstiefe bei mind. 500 m liegen.

Die Thermalquellen von Tobelbad liegen ebenfalls in diesem Temperaturbereich. Wasseranalysen von 1975 geben Temperaturen von 27,2 °C für die Ludwigsquelle und 24,1 °C für die Ferdinandsquelle an (Zetinigg 1993). Die Quellen entspringen aus paläozoischen, geklüfteten und verkarsteten Kalken des Plabutsch-Buchkogel-Zuges, die bei Tobelbad aufgeschlossen sind (siehe Kap. 4.2.4). Die Tiefe aus der die Wässer mit den angegebenen Temperaturen aufsteigen müsste nach Heritsch & Granigg (1911) zwischen 660 m und bis über 800 m liegen.

Ansonsten gibt es keine Hinweise auf weitere positive geothermische Anomalien im südlichen und östlichen Raum von Graz. Aus der südlich von Graz gelegenen Bohrung Pirka sind keine Temperaturdaten bekannt. Aus den Transenergy-Daten (siehe Abbildung 8-11 - Abbildung 8-13) können Gradienten von 3,3 bis 3,6 K/100 m für das Grazer Stadtgebiet und südlich von Graz abgeleitet werden. Richtung Osten kann mit weiter ansteigendem Gradienten gerechnet werden. Aus einem Temperaturprofil der Bohrung Petersdorf 1 (Elster et al. 2016), ca. 15 km südöstlich von Graz im Gnaser Becken, kann ein Gradient von ca. 4K/100 m abgeleitet werden. Dies stimmt auch annähernd mit der Lage der 100 °C Isotherme in Abbildung 8-13 überein.

### **8.7.3 Kenngrößen der paläozoischen Karbonate**

Zur Beschreibung der hydraulischen Eigenschaften der als Zielgesteine definierten paläozoischen Karbonate wurden Daten aus der Literatur und hausinternen Geoteam-Projekten erhoben. Sie sind in einer Übersichtstabelle (siehe Tabelle 8-5) zusammengefasst und fungieren als Basis für die zu prognostizierenden Kenngrößen (Entnahmemengen und Temperatur).

#### **Volumenströme**

Wie in Kapitel 8.6 ausgeführt, ist eine Extrapolation der obertage anstehenden geologischen Einheiten auf den Untergrund im Süden von Graz aufgrund fehlender belastbarer Untergrundinformationen seriös nicht möglich bzw. rein spekulativ. Deshalb können keine Prognosen hinsichtlich erzielbarer Volumenströme durchgeführt werden. Orientierend sind in Tabelle 8-6 Kenndaten von Geothermieanlagen aus dem oststeirischen Becken angegeben, die paläozoische Karbonatgesteine nutzen. Die Entnahmen liegen zwischen 22 und 56 l/s.

Tabelle 8-5: Hydrogeologische und hydraulische Daten von paläozoischen Karbonatgesteinen im Steirischen Becken aus Tiefbohrungen.

Bohrung	Lithologie	Mächtigkeit Karbonate	kf	T	Poren anteil	Volumen strom
		[m]	[m/s]	[m <sup>2</sup> /s]	%	[l/s]
Blumau 1a	Dolomit, Kalk	286	---		4,0	---
Blumau 2	Dolomit, Sandsteinlagen, Kalke	268	1,9*10 <sup>-6</sup> bis 3,8*10 <sup>-6</sup>	5-6*10 <sup>-5</sup>	---	30
Frutura GT1a	Dolomit	150	---	---	---	---
Frutura GT2	Dolomit	452	5,1-6,2*10 <sup>-6</sup>	---	---	56
Fürstenfeld Th1	Dolomit, Dolomitsandstein, Kalk	340	0,5-9,4*10 <sup>-6</sup>	8,9*10 <sup>-8</sup>	2-8	0,7
Ilz Th1	Dolomit, Kalke	441	---	1,8- 9,4*10 <sup>-5</sup>	---	14
Köflach Th1	Dolomit	931	---	4,7- 7,4*10 <sup>-4</sup>	---	6
Walkersdorf 1	Dolomit, brekziös	54	---	1-4*10 <sup>-4</sup>	2,0	---
Waltersdorf 1	Dolomit	145	3*10 <sup>-6</sup>	7,3- 9,1*10 <sup>-4</sup>	---	17
Waltersdorf 2/2a	Dolomit	158	1*10 <sup>-5</sup>	---	---	20

Tabelle 8-6: Geothermie-Projekte in paläozoischen Karbonaten des Steirischen Becken (Goldbrunner 2020; ergänzt).

Anlage	Lithologie	Nutzung	Volumen- strom [l/s]	T e m p e r a t u r e n			Leistung Therm. [MWth]
				Entnahme [°C]	Rückführ [°C]	Spreiz. [°C]	
Blumau	vorw. Dolomite (& Sande des Neogen)	E, D, B	28,5	110	50	60	7,2
Walters- dorf	vorw. Dolomite	H, B, G	21,6	63	28	35	3,2
Frutura	vorw. Dolomite, daneben Kalke	G	56,3	124	45	79	18,6

H...Fernwärme, B...Balneologie, G...Gewächshäuser, E...Stromerzeugung

## Temperaturen

Die Abschätzung möglicher Erschließungstemperaturen basiert auf folgenden Untersuchungsergebnissen:

- Im Süden von Graz können Beckentiefen von rund 1.000 m erwartet werden. Wie die Neubearbeitung der Bohrung Petersdorf 1 gezeigt hat, sind auch größere Tiefen denkbar.
- Paläozoische Abfolgen wurden in Tiefbohrungen überwiegend mit Mächtigkeiten von mehreren hundert Metern (bis hin zu fast 1.000 m in den Bohrungen Köflach Th1 und Afling 1) angetroffen. Das korreliert mit einer aus Seismikdaten abgeleiteten Schwankungsbreite der Mächtigkeiten von 300 bis 1.000 m.
- Die karbonatischen Gesteine treten dabei vorrangig in den hangenden Bereichen auf.
- Im Raum Graz und südlich davon wird - bei derzeitigem Kenntnisstand - ein geothermischer Gradient im Bereich von 3,5 K/100 m angenommen; weiter östlich (Petersdorf 1) sogar bis zu 4 K/100 m.

Daraus resultieren - bei Vorliegen von paläozoischen Karbonatgesteinen im Beckenuntergrund südlich von Graz – Erschließungstiefen zwischen 1.000 und 1.500 m (best case: 2.000 m), woraus sich Temperaturen zwischen 40 und 70 °C (best case: 90 °C) ableiten lassen.

## **Fazit**

Das geothermische Potenzial wird wesentlich von den Faktoren

- Durchlässigkeit der Gesteine
- Geothermischer Gradient
- Tiefe

gesteuert.

Bei einem geothermischen Gradienten von ca. 3,5 K/100 m sind im Grazer Raum Temperaturen von 70 °C (bei Erschließungstiefen von 1.500 m) bzw. 90 °C in 2.000 m Tiefe möglich.

Als geeignete Erschließungsziele wurden paläozoische Karbonate des Grazer Paläozoikum, wie sie im Raum Graz und nördlich davon an der Oberfläche auftreten, definiert. Sie können bei sprödetektonischer Beanspruchung Wasserwegigkeiten aufweisen (Kluftgrundwasserleiter).

Die im tieferen Untergrund von Graz und südlich davon auftretenden Gesteine sind bei derzeitigem Kenntnisstand aufgrund fehlender belastbarer Untergrundinformationen nicht bekannt bzw. prognostizierbar. Neben den potenziellen Zielgesteinen ist auch das Vorliegen von minder durchlässigen Phylliten und Schiefen bzw. kristallinen Gesteinen möglich. Detaillierte und gesicherte Aussagen sind erst nach weiterführenden Untersuchungen (Niederbringung mindestens einer tiefen Erkundungsbohrung) sowie seismischen Untergrunderkundungen (im Vorfeld der Bohrung u.a. zur optimalen Lozierung der Bohrung) seriös möglich.



## **9 Auswahl Reflexionsseismischer Profile und Bohrungsinformationen**

Für ein potentiell Folgeprojekt wurden reflexionsseismische Profile und Bohrungen der Kohlenwasserstoffindustrie (RAG und OMV) ausgewählt, welche wesentlich für die Beurteilung des tiefen-geothermischen Potentials in der näheren Umgebung von Graz sind.

### **Allgemeines über reflexionsseismische Profile und Bohrungen**

Reflexionsseismische Daten zeigen Strukturen im Untergrund wie z.B. Grenzflächen verschiedener Gesteinseinheiten oder Trennflächen (z.B. Störungen) zwischen diesen. Sichtbare Strukturen werden als Reflektor bezeichnet. Die vertikale Achse eines Seismik-Profiles liegt dabei nicht in Tiefe, sondern in Zweiweglaufzeit vor. Die Zweiweglaufzeit gibt an, wie lange ein Signal von der Oberfläche bis zu einem Reflektor und wieder zurück braucht.

Bohrungen stellen detaillierte, punktuelle Informationen über den Untergrund dar und bieten damit eine wesentliche Unterstützung bei der Auswertung von Seismik-Daten. Erst die Kombination der hochauflösenden aber punktuell begrenzten Bohrungsdaten mit den großräumigen aber weniger detailreichen Seismik-Daten ermöglicht eine ganzheitliche Interpretation der Untergrundverhältnisse.

Da Bohrungsangaben in Tiefen sind, erfordert das Integrieren von Bohrungsinformationen in ein Seismik-Datenset ein Modell der Ausbreitungsgeschwindigkeiten der seismischen Wellen im Untergrund. Solch ein Modell ermöglicht eine Umrechnung zwischen Zeit- und Tiefen-Domäne. Informationen über die Ausbreitungsgeschwindigkeiten sind im Idealfall bohrlochgeophysikalischen Messungen (Check-shots, Logs) zu entnehmen. Alternativ liefern auch refraktionsseismische Messungen und Literaturangaben Anhaltspunkte. Sind Bohrungsangaben zufriedenstellend in das Seismik-Datenset integriert, kann das resultierende Geschwindigkeitenmodell zur Berechnung von Tiefenangaben aus seismischen Zweiweglaufzeiten auch abseits der Bohrungen verwendet werden. In die Seismik-Daten integrierte Bohrungsdaten liefern zudem Informationen über die „seismische Fazies“ (charakteristisches Erscheinungsbild in Seismik-Daten) von verschiedenen Gesteinseinheiten.

## 9.1 Reflexionsseismische Profile

### 9.1.1 RAG Seismik-Profile

In einem ersten Schritt wurde die Lage aller potentiell relevanten Seismik Linien im Untersuchungsgebiet ausfindig gemacht (Abbildung 9-1 und Abbildung 9-2). Aus diesem umfangreichen Datenset wurde ein Set an Seismik Profilen ausgewählt, welches bestmöglich die Beurteilung des geothermischen Potentials im Projektgebiet ermöglicht. Anschließend besichtigte das Projektteam von Geo5 am 4.3.2022 das Headquarter der RAG Austria AG um die ausgewählten Profile des RAG Datenset einzusehen. Die Qualität und Eignung der Profile für die Beantwortung der Fragestellung wurde beurteilt. Nicht geeignete Profile wurden aus der Auswahl entfernt.

Die in Abbildung 9-1 und Abbildung 9-2 ersichtliche Auswahl der RAG Seismik Profile beruht auf folgenden Überlegungen:

- **Nähe zur Stadt Graz:** Von besonderer Bedeutung sind die Profile in der Nähe zur Stadt Graz, da diese Informationen über den bisher weitgehend unbekanntem Untergrund um Graz geben. Daher wurden die westlichsten RAG Seismik Profile
  - F127
  - F128
  - F129
  - F130
  - F131

ausgewählt.

Die Profile F9 und F10, welche südlich von Graz liegen, wurden nicht in die Auswahl aufgenommen, da deren Qualität zu gering ist um Informationen über den präneogenen Beckenuntergrund zu erhalten.

Der zentrale Bereich des Steirischen Becken (Gnaser Becken) befindet sich ebenso in relativer Nähe zu Graz und weist zudem große Tiefen des präneogenen Beckenuntergrundes auf (> 4km, siehe Sperl & Wagini 1994, Sachsenhofer et al. 1996, Dax 2021). Um das Gnaser Becken und insbesondere den präneogenen Beckenuntergrund darin zu charakterisieren wurde ein Gitter aus mehreren Seismik Profilen ausgewählt, welche ebenso die Bohrung Petersdorf 1 abdecken. Dabei handelt es sich um folgende Profile:

- F162
  - F164
  - F165
  - F166
  - F167
  - F178
  - F179
  - F182
  - F207
  - F211
  - F212
  - F213
- **„Schlüssel“-Bohrung Arnwiesen 1:** Der Bohrung Arnwiesen 1 kommt eine besondere Bedeutung in der Charakterisierung des Paläozoikums im Beckenuntergrund des zentralen Steirischen Becken zu. Die Bohrung erbohrte 610 m mächtiges Paläozoikum, bestehend überwiegend aus Karbonaten. Folgende Profile wurden ausgewählt um die Bohrungsdaten in die Seismik Profile „einzuhängen“ (integrieren):
    - F171
    - F173
    - F174
- **Berücksichtigung relevanter Tiefbohrungen:** Neben Arnwiesen 1 haben im Fürstenfelder Becken zahlreiche Bohrungen bis zu mehrere hundert Meter mächtige Abfolgen des Grazer Paläozoikum in größerer Tiefe erbohrt (z.B. Waltersdorf 1, Fürstenfeld Th 1, Blumau 1/1a, 2, Frutura GT1). Dabei wurden sowohl die karbonatischen Abfolgen, als auch die tonig-vulkanogenen Anteile erbohrt. Diese Bohrungsinformationen können in Seismik Profile „eingehängt“ (integriert) werden. Dadurch kann die seismische „Fazies“ (Charakteristik) des Grazer Paläozoikum anhand einer Vielzahl an Bohrungen bestimmt werden. Diese Information unterstützt die Interpretation des präneogenen Beckenuntergrundes auch in Profilen in anderen Teilen des Steirischen Becken. Folgende Profile wurden aufgrund der in Klammer angeführten Bohrungen ausgewählt:

- F91 (Frutur GT1, GT2)
  - F100 (Blumau 1/1a)
  - F111 (Waltersdorf 1, Waltersdorf 2/2a)
  - F132 (Ilz Th1)
  - F140 (Walkersdorf 1)
  - F145 (Blumau 2)
  - F148 (Fürstenfeld Th1)
- **Verbindungsprofile:** Um die Information aus den Tiefbohrungen des Fürstenfelder Beckens auch in den westlicheren Teilen des Untersuchungsgebiet nutzen zu können, sind verbindende, Überwiegend Ost-West verlaufende Profile notwendig. Folgende Profile wurden ausgewählt:
    - F93
    - F102
    - F105
    - F106
    - F163
- **Ausdehnung und Deckengrenze des Paläozoikum:** Nördlich der Tiefbohrungen des Fürstenfelder Becken ist am Beckenrand Kristallin aufgeschlossen. Zwischen den Tiefbohrungen, die Paläozoikum nachwiesen, und dem Beckenrand muss es daher einen Bereich geben, wo paläozoische Gesteine auskeilen oder durch eine Störung abgeschnitten werden. Mit einem Profil vom Beckenrand bis in tiefere Bereiche des Fürstenfelder Becken kann diese Grenze möglicherweise lokalisiert werden. Dadurch könnte auch die Deckengrenze in der Seismik bestimmt werden. Zur Beantwortung dieser Fragestellung wurden folgende Profile ausgewählt:
    - F90
    - F96

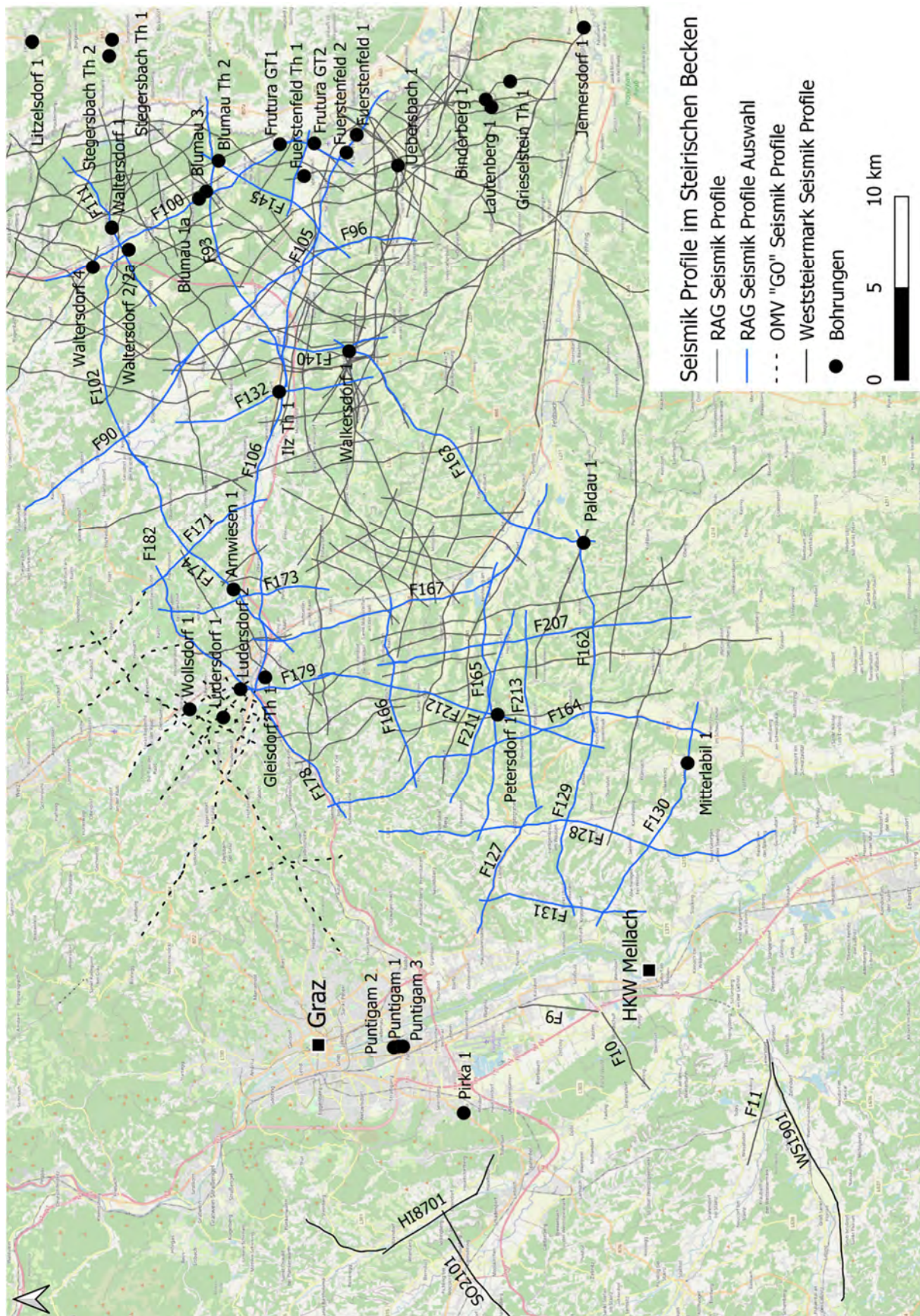


Abbildung 9-1. Position der Seismik Profile sowie relevante Bohrungen im Untersuchungsgebiet.

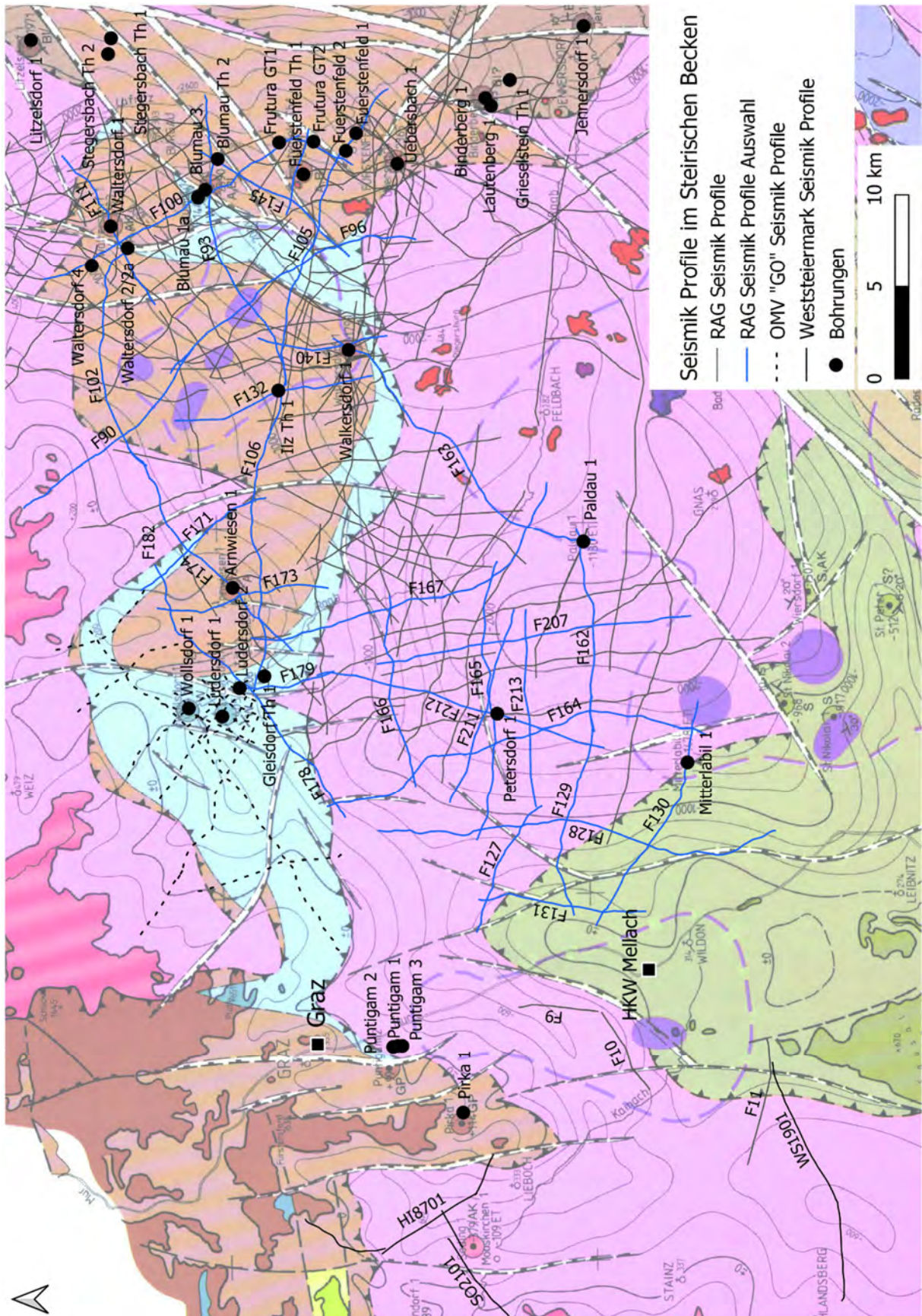


Abbildung 9-2. Position der Seismik Profile sowie relevante Bohrungen im Untersuchungsgebiet. Im Hintergrund ist die Karte des präneogenen Beckenuntergrundes von Flügel (1988) abgebildet.

### 9.1.2 OMV Seismik-Profile

Profile des OMV Datenset „GO“ (Graz Ost) konnten nicht besichtigt werden, da die OMV AG Besichtigung und Weitergabe der Daten verwehrt. Damit ist zumindest derzeit auch der Einkauf der Daten nicht möglich. Bisher war ein Dateneinkauf bei der OMV AG ähnlich wie bei der RAG Austria AG möglich. Weitere Gespräche unter Beteiligung des Landes Steiermark könnten die OMV AG jedoch eventuell umstimmen. Deshalb und der Vollständigkeit halber werden die OMV Seismik-Profile in diesem Abschnitt trotz der Unklarheit bezüglich ihrer Verfügbarkeit behandelt.

Die Lage der GO Seismik Profile ist in Abbildung 9-3 ersichtlich. Eine Einsicht in die Daten war nicht möglich. Manche der Seismik Messungen wurden jedoch im Zuge einer Diplomarbeit (Dax 2021) interpretiert. Dadurch ist bekannt, dass die Qualität zumindest bei manchen der Seismik Profile ausreicht, um daraus nützliche Informationen zur Charakterisierung des tieferen Untergrundes und des geothermischen Potentials in der Nähe von Graz abzuleiten.

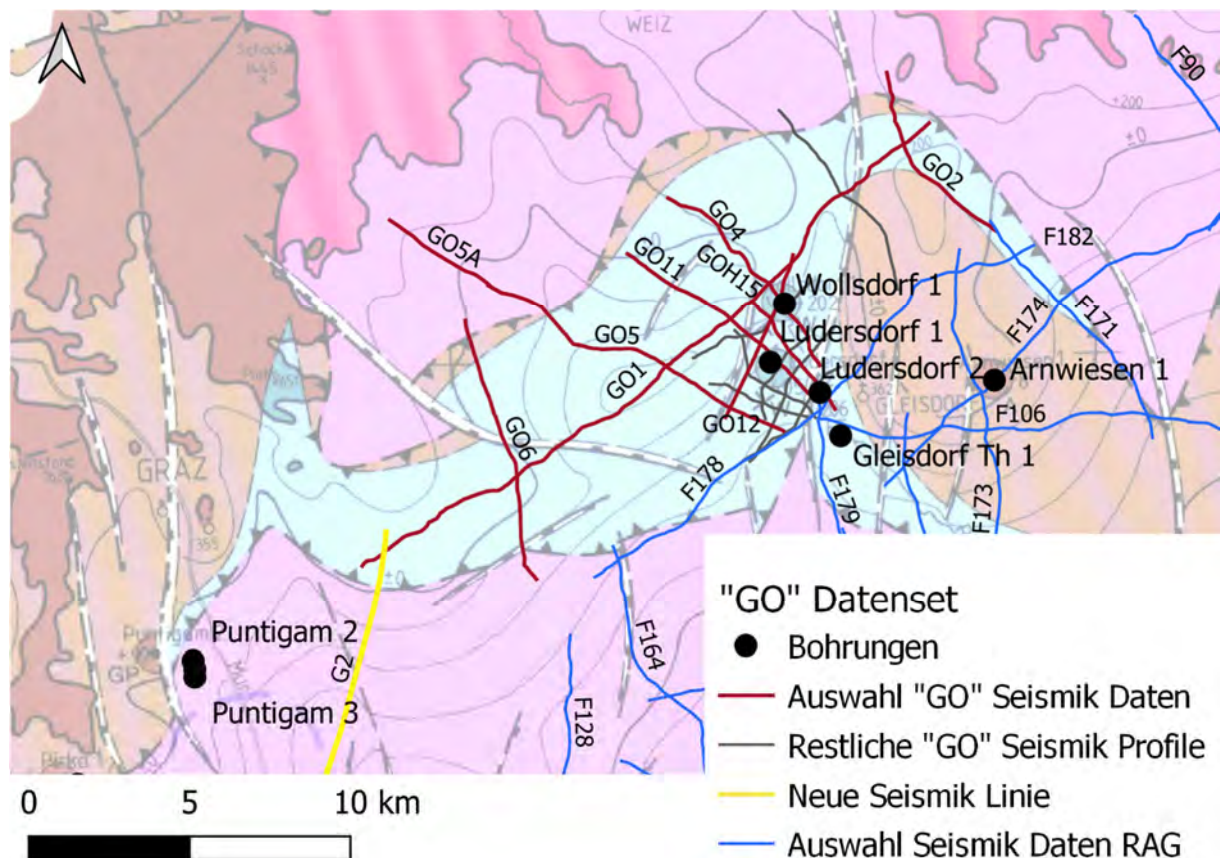


Abbildung 9-3. Position der GO Seismik Profile sowie Bohrungen nordöstlich von Graz. Im Hintergrund ist die Karte des präneogenen Beckenuntergrundes von Flügel (1988) abgebildet.

Folgende Kriterien wurden berücksichtigt um relevante OMV GO Seismik Profile auszuwählen:

- **Berücksichtigung relevanter Tiefbohrungen:**

Von besonderer Relevanz des GO Datenset sind die Seismik Profile bei den Bohrungen Ludersdorf 1 und 2 sowie Wollsdorf 1, welche gleichzeitig auch an die RAG Seismik Daten anknüpfen. Mit diesen Profilen kann die Information der Bohrungen in das restliche Gnaser Becken übertragen werden. Dabei handelt es sich um die Profile:

- GO4
- GO11
- GO12
- GOH15

- **Ausdehnung und Deckengrenze des Grazer Paläozoikum:**

Die ca. NW-SE orientierten Profile

- GO5
- GO5A
- GO6
- GO2

liefern Anhaltspunkte über die Ausdehnung des Paläozoikums im Untergrund. Besonderer Bedeutung kommt dabei den Profilen GO5 und GO5A hinzu, welche bis nahe an den Rand des Steirischen Becken reichen.

- **Verbindungsprofil/Nähe zu Graz:**

Das Profil GO1 verbindet sämtliche Profile miteinander und reicht zudem bis an den östlichen Grazer Stadtrand. Das empfohlene neue Seismik Profil G2 (siehe Kapitel 10.5) ist so geplant, dass es am nördlichen Ende an GO1 anschließt.

Die oben aufgezählten GO Seismik Profile sind in Summe etwa 77 km lang.



### 9.1.3 Puntigam Seismik-Profile

In Graz-Puntigam wurden im Auftrag der Brauerei Puntigam zwei Seismik-Profile von JOANNEUM RESEARCH aufgenommen (STB9301 und STB92302) und drei Tief-Bohrungen abgeteuft. Abbildung 9-4 zeigt einen Lageplan. Zwei der drei Tiefbohrungen erreichten den paläozoischen Beckenuntergrund in Form von Dolomiten der Flösserkogel-Formation (Kapitel 4.2.6).

Die Bohrungen und Seismik-Profile stellen den einzigen Anhaltspunkt über den präneogenen Beckenuntergrund im Süden von Graz dar. Die Auswertung der Daten liefert Informationen über die Ausbreitungsgeschwindigkeiten seismischer Wellen des Neogen, Lage und Kinematik von Störungen sowie dem Verlauf des präneogenen Beckenuntergrundes. In Kombination mit der aus der Auswertung von Luft- und Satelliten-Daten gewonnenen Lineamente, können potentiell vorhandene Lineamente Störungen zugeordnet werden und deren Ausdehnung in die Tiefe charakterisiert werden.



Abbildung 9-4. Lageplan der Seismik-Profile STB9301 (Nord) und STB9302 (Süd) sowie Bohrungen in Graz-Puntigam.

### 9.1.4 Auswahl

Tabelle 9-1 listet die ausgewählten Seismik-Profile der RAG sowie die ungefähre Profillänge. Die Lage der Profile ist in Abbildung 9-1 und Abbildung 9-2 ersichtlich. Im Falle eines möglichen Folgeprojekts empfiehlt das Projektteam den Ankauf der ausgewählten Profile.

Tabelle 9-1. Liste der RAG Seismik Profile, dessen Ankauf für ein Folgeprojekt empfohlen wird.

<b>Name</b>	<b>Länge [km]</b>	<b>Name</b>	<b>Länge [km]</b>
F90	13.0	F148	4.8
F91	4.6	F162	11.2
F93	17.0	F163	19.3
F96	16.1	F164	22.3
F100	16.2	F165	15.6
F102	12.8	F166	10.7
F105	20.0	F167	19.9
F106	15.4	F171	8.6
F111	9.8	F173	9.6
F127	8.0	F174	14.8
F128	22.5	F178	9.8
F129	12.5	F179	5.5
F130	13.8	F182	8.1
F131	9.3	F207	17.3
F132	11.2	F211	11.1
F140	7.2	F212	16.2
F145	10.1	F213	10.8
		<b>Summe</b>	<b>435.1</b>

Weiters wird die Verwendung der STB9301 und STB9302 Seismik-Profile empfohlen, die sich im Datenarchiv der Geo5 GmbH (Geophysik-Archiv Rechtsnachfolger von JOANNEUM RESEARCH, Geophysik) befinden. Beide Profile sind in Summe etwa 730 m lang.

Die GO Seismik Profile der OMV AG sind nicht gelistet, da fraglich ist ob ein Einkauf überhaupt möglich ist.

## 9.2 Bohrungen

### 9.2.1 Begründung

Für die Charakterisierung des Untergrundes nahe Graz und der potentiell auftretenden Thermalwasser-führenden, paläozoischen Gesteinseinheiten sind besonders jene Bohrungen relevant welche:

- Den präneogenen Beckenuntergrund erreicht haben
  - Anhand solcher Bohrungen lässt sich in Kombination mit Seismik-Daten die seismische Fazies der Grenzfläche zwischen den Neogenen Sedimentgesteinen und dem präneogenen Beckenuntergrund feststellen. Weiters kann anhand der Bohrungen ein Geschwindigkeitsmodell zur Umrechnung zwischen Tiefen- und Zeitdomäne erstellt werden.
  - Beispiel: Walkersdorf 1, Blumau 1 sowie die OMV Bohrungen Wollsdorf 1 und Ludersdorf 1
- Das Paläozoikum des Beckenuntergrundes in größerer Mächtigkeit durchbohrt haben
  - Diese Bohrungen liefern, zusätzlich zu den vorher aufgezählten Informationen, die seismische Fazies der paläozoischen Einheiten sowie Informationen über die Ausbreitungs-Geschwindigkeiten der seismischen Wellen innerhalb der paläozoischen Gesteine.
  - Beispiel: Arnwiesen 1, Waltersdorf 1, Blumau 1A
- Das Neogen des Steirischen Becken nahe der Stadt Graz in größerer Mächtigkeit erbohrten
  - Nahe Graz und im westlichen Bereich des Oststeirischen Becken („Gnaser Becken“) fehlen Bohrungen größerer Tiefe (>1km) welche den Beckenuntergrund erreicht haben. Dadurch ist es notwendig auf jene Bohrungen zurückzugreifen, die zumindest die neogenen Schichtfolgen weitgehend erbohrten. Dadurch kann das Neogen des Steirischen Beckens detailliert in der Seismik charakterisiert werden. Die Position des Beckenuntergrundes kann so mit größerer Sicherheit in den Seismik-Daten interpretiert werden. Zusätzlich kann das Geschwindigkeitsmodell zur Umrechnung zwischen Tiefe und Zeit zumindest für Abschnitte des Neogens verfeinert werden.
  - Beispiel: Petersdorf 1, Mitterlabil 1, Paldau 1

## 9.2.2 Auswahl

Folgende RAG Bohrungen wurden daher als relevant eingestuft um das Tiefengeothermische Potential nahe Graz zu beurteilen:

- Arnwiesen 1
- Petersdorf 1
- Waltersdorf 1
- Blumau 1/ 1A
- Mitterlabil 1
- Paldau 1
- Walkersdorf 1

Die Lage der Bohrungen ist in Abbildung 9-1 und Abbildung 9-2 dargestellt. Von besonderer Relevanz sind die Bohrungen Arnwiesen 1, Petersdorf 1 und Waltersdorf 1. Arnwiesen 1 erbohrte etwa 610 m paläozoische Gesteine, die überwiegend karbonatisch ausgebildet waren (Flügel 1988). Anhand von Arnwiesen 1 lässt sich daher die seismische Fazies des Paläozoikums bestimmen. Zusätzlich liegt die Bohrung auf der Auersbach Schwelle und damit, verglichen mit den Thermalbohrungen des Fürstenfelder Beckens, nahe an der Stadt Graz. Petersdorf 1 ist unumgänglich für die Charakterisierung des Gnaser Becken, über das es abgesehen von einer Diplomarbeit (Dax 2021) nur wenig Informationen gibt. Waltersdorf 1 durchbohrte das Paläozoikum und erreichte das unterlagernde Kristallin. Damit kann sowohl die seismische Fazies des Paläozoikums von jenem des Kristallin unterschieden werden, als auch ein solides Geschwindigkeitsmodell für das Paläozoikum erstellt werden.

Von den genannten Bohrungen werden folgende Informationen benötigt:

- Koordinaten und Seehöhe
- Tiefe und Bohrlochverlauf
- Lithologische und stratigraphische Beschreibungen
- Bohrlochgeophysikalische Messungen
  - Check-shots
  - Logs (Gamma Ray, SP, Resistivity, Sonic, Density, Neutron ...)
- Bohr-Berichte, z.B.:
  - Bohrkernberichte
  - Testprotokolle
  - Paläontologische Berichte

- Ggf. Mudlog-Berichte oder Completion Logs

Zusätzlich zu den RAG Bohrungen wird die Datennutzung der bohrlochgeophysikalischen Messungen der Bohrungen Puntigam 1, Puntigam 2 und Puntigam 3 empfohlen. Diese geophysikalischen Bohrlochmessungen befinden sich im Archiv der Geo5 GmbH.

Die OMV Bohrungen Wollsdorf 1 sowie Ludersdorf 1 sind ebenso relevant. Zumindest zum derzeitigen Zeitpunkt schließt die OMV AG jedoch eine Weitergabe von Daten aus.

## 10 Ausblick und Empfehlungen für weiterführende Arbeiten

In den folgenden Kapiteln werden Empfehlungen für weiterführende Arbeiten zur Abschätzung der Machbarkeit zur Nutzung von Wärmeenergie aus Tiefer Geothermie im Großraum Graz aufgelistet.

### 10.1 Systematische Neuaufnahme von Bohrkernen im Steirischen Becken

Ebner, F.

Die Paläozoikumsareale am N- und NW-Rand des Steirischen Becken, der Sausalschwelle, des Remschnig-Zuges, im Untergrund des Steirischen Becken und entlang der Südburgenländischen Schwelle gehören im Bauplan der Ostalpen dem oberostalpinen Drauzug-Gurktal Deckensystem an, das von kristallinen Einheiten des Koralpe-Wölz-Deckensystem, ebenfalls dem oberostalpinen Deckensystem angehörig, unterlagert werden.

Die Korrelation der o.g. Paläozoikumsvorkommen wird dadurch erschwert, dass innerhalb des Drauzug-Gurktal Deckensystems in der Umrandung des Steirischen Becken paläozoische Systeme auftreten, die unterschiedlichen tektonischen Einheiten und zwar, dem/den

- Paläozoikum von Graz (Rannach- und Schöckl Decke)
- Paläozoikum des Sausal
- Remschnig-Paläozoikum
- Paläozoika der Südburgenländischen Schwelle

angehören, die in ihrer Position zueinander und Korrelation viele Fragen offenlassen. Sie repräsentieren unterschiedliche Teile eines ehemals sehr weiten Schelfgebietes, die bei zwei Orogenesen in die heute vorliegende Deckenstruktur gebracht wurden und zuletzt bei der Bildung des Steirischen Neogenbecken durch eine intensive Bruchtektonik betroffen wurden. Es ist aber auch davon auszugehen, dass die einzelnen tektonischen Systeme Unterschiede im Stil der tektonischen Deformation und im geringen Ausmaß auch Unterschiede ihrer diagenetisch/metamorphen Überprägung aufweisen können.

Die Korrelation der paläozoischen Kernstrecken aus dem Untergrund des Steirischen Becken wird nicht nur durch ihre Zugehörigkeit zu unterschiedlichen Decken, sondern

auch dadurch erschwert, dass wie vereinzelte „Nadelstiche“, immer nur relativ weit voneinander entfernte geringmächtige Kernstrecken vorliegen, deren primäres Gesteinsmaterial unterschiedlichen Positionen auf dem paläozoischen Schelf entstammt.

Weiter liegen Informationen über den paläozoischen Beckenuntergrund nur in geringem Umfang und von unterschiedlichen Bearbeitern vor, deren Untersuchungen von unterschiedlichen Fragestellungen bestimmt waren.

Es wird daher vorgeschlagen, alle paläozoischen Kerneinheiten des Beckenuntergrundes von einem vierköpfigen Geologenteam, das auf beste regionale Kenntnisse über diese paläozoischen Einheiten verweisen kann, nach einem einheitlichen Schema durchzuführen.

Die Dokumentation der Bohrproben soll beinhalten:

- lithologische Charakterisierung (makroskopische Gesteinsansprache, Schliffbefund, Mineralbestand, Sedimentstrukturen)
- Fossilbestand (makroskopisch, im Schliff)
- Conodontentests (an etwa 10 – 15 Proben) und taxonomisch/stratigraphische Bearbeitung allfällig auftretender Conodonten
- Deformationsstil
- Metamorphosegrad
- Reifegrad allfällig auftretender kohligler/graphitischer Einschaltungen
- Mächtigkeitsverhältnisse in den dokumentierten Kernabschnitten
- Fotodokumentation

Synchron dazu soll auch eine Probennahme für petrophysikalische Gesteinsuntersuchungen durchgeführt werden.

Nach der Gesteinsbearbeitung sind nach o.g. Kriterien einander entsprechende Einheiten zu charakterisieren und in ihrer Verbreitung und Position im Beckenuntergrund darzustellen. Zuletzt soll versucht werden, diese Einheiten obertags bekannten Deckensystemen zuzuordnen und mit deren Schichtbestand zu korrelieren. Besonderes Augenmerk bei diesen Überlegungen soll einer möglichen Verbreitung mächtigerer karbonatischer Gesteinskomplexe zukommen.

Dem Untersuchungsteam sollen B. Hubmann, K. Krenn, Th. Suttner (für die Conodontentests) und F. Ebner angehören. Die durch das Team gemeinsam geplante Beprobung sollte in zwei Arbeitstagen durchzuführen sein. Nach der Bearbeitung sollte auch an eine abschließende Exkursion gedacht werden. Die labortechnischen Gesteinsaufbereitungen und Gesteinsschliffe werden am geologischen Institut der KFU durchgeführt.

Sicherzustellen ist, dass von Seiten der RAG uneingeschränkter Zugang zum Kernlager Pettenbach und eine Beprobung des paläozoischen Kernmaterials aus dem Untergrund des Steirischen Becken gewährt wird.

**Abschätzung der Gesamtkosten: €20.000 - €22.000**

## **10.2 Kinematik der Störungen am Rand des Steirischen Becken mit besonderem Augenmerk auf die Leberstörung**

Fritz, H., Krenn, K., Hubmann, B.; Institut für Erdwissenschaften, Universität Graz

Die Geometrie von Störungen determiniert oder modifiziert die Geometrie von Becken. High-Angle Normal Faults (Abschiebungen) nahe der Oberfläche und deren gering geneigte Äquivalente in der Tiefe (listrische Abschiebungen) führen zu Horst und Graben Strukturen mit charakteristischen Geometrien der auflagernden Sedimente (z.B., roll-over Strukturen). Seitenverschiebungen und deren Zweigstörungen (z.B., extensional bridges) führen zu langgestreckten, tiefen, rhomboedrigen Beckenstrukturen (pull-apart Becken). Die Kenntnis der jeweiligen Störungs kinematik und deren zeitliche Abfolge ist ein Werkzeug um Beckengeometrien prognostizieren zu können.

Die am Rand des Steirischen Neogenbecken aufgeschlossenen Störungen sind durch die Kartierungen im Paläozoikum von Graz bekannt. Die wichtigste dieser Störungen ist die Leberstörung, die im Norden von Graz Gesteine der Schöckldecke (Schöcklkalk, Schönberg-Formation, Taschenschiefer) von denen der Rannachdecke (vorwiegend Flösserkogel-Formation) abtrennt. Am nördlichen Beckenrand taucht die Störung unter die Miozänen und Quartären Sedimente ab (Eggenberg-, Gleisdorf-Formation sowie Terrassen Ablagerungen) und zieht, mit unbekannter Lage, in Richtung Mittelsteirische Schwelle nahe Wildon. Sowohl die zeitliche Abfolge der Störungsaktivitäten als auch deren Kinematik und Spannungsverhältnisse sind unbekannt und Ziel der Untersuchung. Dadurch kann der Verlauf der Störungen im Beckenuntergrund zwar



nicht genau lokalisiert werden, eine Eingrenzung des Störungsverlaufs durch das Erkennen von möglichen extensional bridges und / oder overstep Strukturen (generell verbindende Brückenstrukturen zu Störungsbereichen) ist jedoch möglich. Die Ermittlung der relativen Abfolge von Störungsereignissen und Spannungsgeometrien erlaubt die Abschätzung von zeitlich aufeinanderfolgenden Verformungsgeometrien, die für die beckenbildenden Prozesse relevant sind.

## **Methodik**

Der Abbau von Spannungen durch die Bildung von Störungszonen im weiteren Sinn ist generell inhomogen. Der „Fault Core“ bildet den zentralen Bereich einer Störungzone während randlich, in der inneren und äußeren „Damage Zone“ sowie im „Wall Rock“ störungsbezogene Strukturen untergeordnet auftreten. Dies bedingt unterschiedliche Arbeitsweisen: Fault Core und innere Damage Zone eignen sich, sofern aufgeschlossen, für topologische Untersuchungen und um Änderungen der effektiven Permeabilität durch die Aktivität von Störungen abzuschätzen (z.B. Billi et al. 2003, Woodcock et al. 2008, Peacock et al. 2017). Für kinematische Untersuchungen sind die äußere Damage Zone und Wall Rock besser geeignet, da hier die spannungsindizierten Strukturen besser erhalten sind. Zudem ist in diesen Bereichen, im weiteren Umfeld um den „Fault Core“, die Aussicht größer geeignete Aufschlüsse zu finden.

Das Arbeitsteam konzentriert sich auf die kinematische Analyse und Trennung von sukzessiven wirksamen Spannungsfeldern in der Damage Zone und im Wall Rock. Der reduzierte Stress Tensor beinhaltet 4 Komponenten, die drei Richtungen der Hauptnormal-spannungen sowie die Größenverhältnisse der Hauptnormalspannungen, genannt Formfaktor. Kenntnis dieser 4 Komponenten erlaubt es, auf beliebigen Flächen (Störungen) den „Maximum Resolved Shear Stress“, der der Orientierung eines Harnischlinears entspricht, zu berechnen. In der Strukturgeologie wird der umgekehrte Weg beschritten und die „Stress Inversion Technique“ angewandt. Aus der räumlichen Verteilung von Harnischflächen, Styolithen, Dehnungsgängen usw. wird auf den Spannungstensor geschlossen. Zusätzlich erlaubt diese Technik verschiedene wirksame Spannungsfelder zu separieren um so unterschiedliche Verformungsereignisse zu erfassen. Dazu wird der „interactive compatibility test for kinematic data separation“ angewandt, der Spannungsfelder aufgrund ihrer Kompatibilität sortiert. Für die Auswertung der Daten stehen zwei Programmpakete zur Verfügung. Das Programm WinTensor von Damien

Delvaux (Delvaux & Sperner, 2003) ist Standard-Programm das bei der Erstellung der „World Stress Map“ zum Einsatz kommt. Das zweite, am Institut für Erdwissenschaften entwickelte Programmpaket (Tectonic Data Analyser, TDA) verwendet dieselben Algorithmen und folgt derselben Logik der Stress Inversion, ist aber, im Unterschied zu WinTensor, ein interaktives Programm in dem die einzelnen Arbeitsschritte auf Plausibilität überprüft werden können.

### **Arbeitsplan**

Eingangsdaten sind Orientierungsdaten von Störungen, Harnischflächen, Lineare, Stylolithen, Dehnungsgänge usw., die im Nahbereich der Leberstörung, an Parallelstörungen und an Zweigstörungen genommen werden. Etwa 30 Lokalitäten werden bearbeitet. Eine erste Abschätzung der relativen zeitlichen Abfolge der Strukturelemente erfolgt im Gelände durch Überprägungsstrukturen. Eine zusätzliche Möglichkeit der zeitlichen Einstufung von Strukturelementen sind Störungen in Gesteinen mit bekanntem oder angenommenem Alter. Dies sind zum Beispiel Störungen und Dehnungsgänge die mit Sedimenten gefüllt sind (Beispiel Schlossbergstollen Graz, Al/Be Burial Age Data von Tom Wagner ergaben hier ein Alter von 1,1-1,5 Ma), Störungen die mit der Bildung von Beckensedimenten assoziiert sind (Beispiel Passailer Becken bei Oberreithbach) oder Störungen die Sedimente bekannten Alters durchschlagen (Beispiel Burgstall Konglomerat mit Laufnitzdorf Elementen nahe Bärenschützklamm).

### **Erwartete Ergebnisse**

Kenntnis der relativen zeitlichen / räumlichen Abfolge der Störungsaktivitäten sowie deren Spannungsgeometrien. Aus diesen Erkenntnissen werden theoretische Modelle über die Geometrien von koexistierenden Störungselementen im Beckenuntergrund generiert und mögliche Szenarien der Beckenbildung entwickelt.

**Abschätzung der Gesamtkosten: €15.000 – €16.000**

### **Ausgewählte Literatur**

- Billi, A., Salvini, F., Storti, F. 2003. The damage zone-fault core transition in carbonate rocks: implications for fault growth, structure and permeability. *Journal of Structural Geology* 25, 1779–1794.
- Delvaux, D., Sperner, B. 2003. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program, in Niewland, D.A. (ed) *New insights into structural interpretation and modelling*, Geological Society, London, Special Publications 212, 75-100.
- Peacock, D.C.P., Dimmen, V., Rotevatn, A., Sanderson, D.J. 2017. A broader classification of damage zones. *Journal of Structural Geology* 102, 179-192
- Woodcok, N.H., Sayers, N.J., Dickson, A.D. 2008, Fluid flow history from damage zone cements near the Dent and Rawthey faults, NW England. *Journal of the Geological Society*, London, 165, 829–837.

### **10.3 Auswertung und Interpretation von Luft- und Satellitenbildern sowie hoch aufgelösten Geländemodellen**

Buchroithner, M.F.

Ein wichtiger und seit Jahrzehnten bewährter Bestandteil der Exploration von Erdöl und geothermaler Energie ist die geotektonische Auswertung von Luft- und Satellitenbildern sowie – heutzutage – von ultrahoch aufgelösten Reliefmodellen. Derartige Methoden wurden bereits seit Beginn der 1980er Jahre vom Grazer Geologen Manfred Buchroithner (damals Joanneum Research) international erfolgreich für weltweit führende Erdölfirmen und für die Salzburger Landesregierung eingesetzt und weiterentwickelt. Wissenschaftlicher Hintergrund ist die Kartierung der Bereiche mit der höchsten „Wasserwegigkeit“ auf der Basis der visuellen Auswertung von steilstehenden (ca. 70° bis 90°) tektonischen Flächen in der Form von bzw. von sog. geologischen Lineamenten und von deren Oberflächenschnittpunktdichte.

Für das gegenwärtig beabsichtigte Geothermieprojekt Graz sollen nun die am besten aufgelösten digitalen Luft- und multispektralen Satellitenaufnahmen sowie die detailliertesten Reliefmodelldaten, die die Landesregierung beistellen kann, ausgewertet werden. Ideal wären hier neben den farbigen Luftbildern die Bilddaten der Pleiades-Satelliten sowie von Flugzeug-Laserscannern aufgenommene Geländereiefdaten. Diese sollten einer graphisch-statistischen Analyse, wie oben beschrieben, unterzogen werden. Hierfür gibt es Möglichkeiten am Geographischen Institut der Karl-Franzens-Universität Graz sowie am Geodätischen Institut der Technischen Universität Graz, wo entsprechende Bildanalyzesysteme vorhanden sind, bei denen ggf. noch entsprechende Software-Adaptierungen durchgeführt werden müssten. Diese könnten gemäß dem in einer Publikation von Buchroithner, Riegler & Strobl (1990) beschriebenen Vorgehensweise unter Anleitung des Erstautors von einem in Informatik geschulten Mitarbeiter der Firma Geo5 an einer der beiden Hohen Schulen innerhalb weniger Wochen durchgeführt werden. Als Ergebnis läge dann eine Art Trendflächendarstellung jener Regionen, wo sich in der Tiefe die Bereiche mit den höchsten „Wasserwegigkeiten“ befinden, vor. Eine im Jahr 1982 im Pongau, Sbg., durchgeführte Studie mit der nämlichen Methodik hat zu positiven Ergebnissen geführt.

**Abschätzung der Gesamtkosten: €30.000 – €32.000**

## 10.4 Neubearbeitung von vorhandenen Seismikdaten

Die in Kapitel 10 zusammengestellten 34 RAG Seismikprofile mit einer kumulierten Länge von ca. 435 km wurden in den 1970 – 1990er Jahren aufgenommen und bearbeitet (seismisches Processing). Der Fokus der Bearbeitung lag in den seichtliegenden neogenen Sedimenten zur Erdölexploration. Die für die Tiefe Geothermie notwendigen tiefliegenden Karbonatgesteine des Grazer Paläozoikums liegen in größeren Tiefen. Es wird daher empfohlen, die in Kapitel 9 aufgezählten Seismikprofile für eine Nutzung beim Datenbesitzer RAG Austria AG, Schwarzenbergplatz 16, A-1015 Wien, anzufordern, anzukaufen und neu zu bearbeiten (Reprocessing). Ein Reprocessing kann nicht nur den Fokus der Auswertung auf die entsprechende Tiefenlage legen, sondern mit modernsten Auswertelgorithmen (interaktive Geschwindigkeitsanalysen, curved line Processing, ...) die geologische Interpretierbarkeit wesentlich erhöhen. Bei den älteren Profilen liegen ohnedies nur Papiersektionen und die seismischen Rohdaten (Felddaten) zur Verfügung – und keine digital interpretierbaren Seismikprofile – sodass ein Reprocessing unbedingt notwendig ist.

Die Seismikprofile in Puntigam stammen aus den frühen 1990er Jahren und müssen ebenfalls neu bearbeitet werden. Mit dieser Neubearbeitung kann der Fokus auf den tiefen Untergrund gelegt werden.

Auf Basis der reprocessierten Seismikprofile kann der präneogene Untergrund in der weiteren Umgebung von Graz geologisch interpretiert werden. Damit kann das mögliche Vorhandensein von potentiell thermalwasserführenden Karbonaten des Grazer Paläozoikums in Form der Tiefenlage und Mächtigkeit abgeschätzt werden. Für die Interpretation der Seismikprofile ist das Einhängen der geologischen Bohrinformationen notwendig. Einerseits stehen bereits veröffentlichte Bohrprofile zur Verfügung und andererseits ist auch ein Ankauf der Datennutzung von Bohrinformationen der Bohrungen entsprechend der Aufzählung in Kapitel 9.2.2 notwendig, bzw. dringend empfohlen.

**Abschätzung der Gesamtkosten: €800.000 - €880.000 (ohne OMV Daten)**

*Es ist unklar ob die GO (Graz Ost) Seismik Profile der OMV AG überhaupt erworben werden können. Die eventuellen Kosten für Dateneinkauf und Bearbeitung können derzeit nur sehr grob auf etwa €200.000 geschätzt werden.*

## 10.5 Neuaufnahme von reflexionsseismischen 2D Profilen

Im unmittelbaren Bereich der Stadt Graz fehlen seismischen Daten abgesehen von kurzen Profilen in Puntigam. Für eine Geothermie-Exploration von tiefliegenden Karbonatgesteinen südlich und südöstlich von Graz wird daher dringend empfohlen, drei Seismikprofile mit einer Länge von je etwa 20 km aufzunehmen (G1, G2 und G3 in Abbildung 10-1 und Abbildung 10-2).

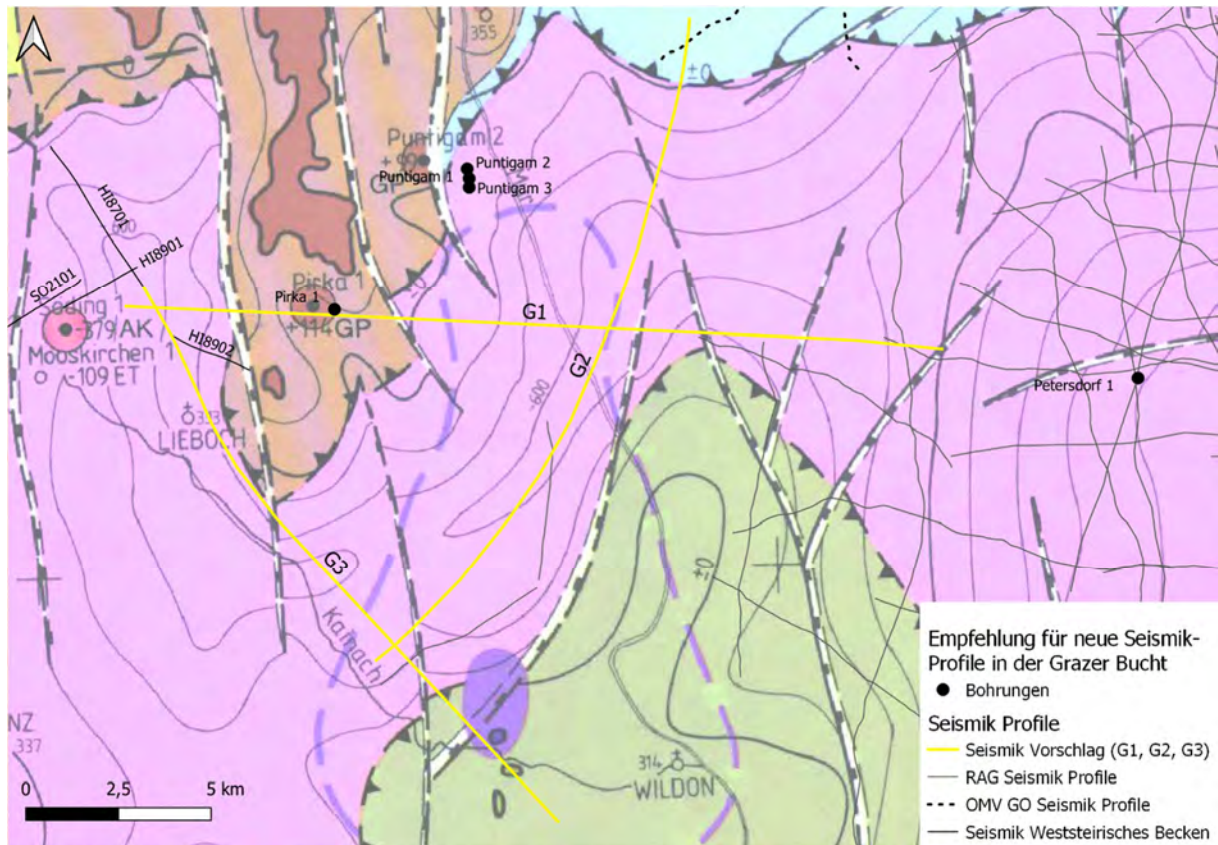


Abbildung 10-1. Karte mit Empfehlungen für Positionen neuer Seismik-Profile in der Nähe von Graz. Die eingebundene Karte ist die Karte des präneogenen Beckenuntergrundes von Flügel (1988). Isolinien zeigen die modellierte Tiefe unter Adria-Niveau.

Die Seismikprofile sollen die geologischen Tiefeninformationen der RAG-Seismik-Profile von Ost nach West übertragen. Außerdem sollen die geologischen Bohrungs- und Geländebefunde, die v.a. aus den westlichen Teilen von Graz stammen, in das vermeintlich Beckentiefste (Senke von Kalsdorf) beim A2-Knoten Graz Ost übertragen werden. Durch die neuen Seismik-Profile kann ebenso die Tiefe des präneogenen Beckenuntergrundes besser eingeschätzt werden und möglicherweise der tektonische Kontakt zwischen Grazer und Sausal Paläozoikum bestimmt werden.

Dadurch kann das mögliche Vorhandensein und die Tiefenlage von karbonatischen Reservoirgesteinen südlich bzw. südöstlich der Stadt Graz beurteilt werden. Die Tiefenlage des präneogenen Basements südlich von Graz wird in der Kröll-Karte (Kröll et al. 1988) entlang der Senke von Kalsdorf mit ca. 1.000 m unter GOK angegeben. Nach Revision der Bohrungsinformationen Peterdorf 1 sind auch Tiefen von 1.500 m oder gar mehr denkbar.

Nach Auswertung und Erstinterpretation der drei 2D Profile im Sinne der Tiefenlage und der Mächtigkeit von möglichen Karbonaten des präneogenen Basements sowie des Vorhandenseins von geologischen Störungen ist die Errichtung einer Explorationsbohrung möglich.

Sollte diese Explorationsbohrung hydrothermal nutzbare Gesteine (Karbonate) nachweisen, so ist eine Planung von 3D seismischen Aufnahmen möglich. Mit Hilfe einer 3D Seismik kann ein detailliertes geologisches Modell erstellt werden und die Planung von Produktionsbohrungen begonnen werden.

**Abschätzung der Gesamtkosten: €1.120.000 – €1.230.000**

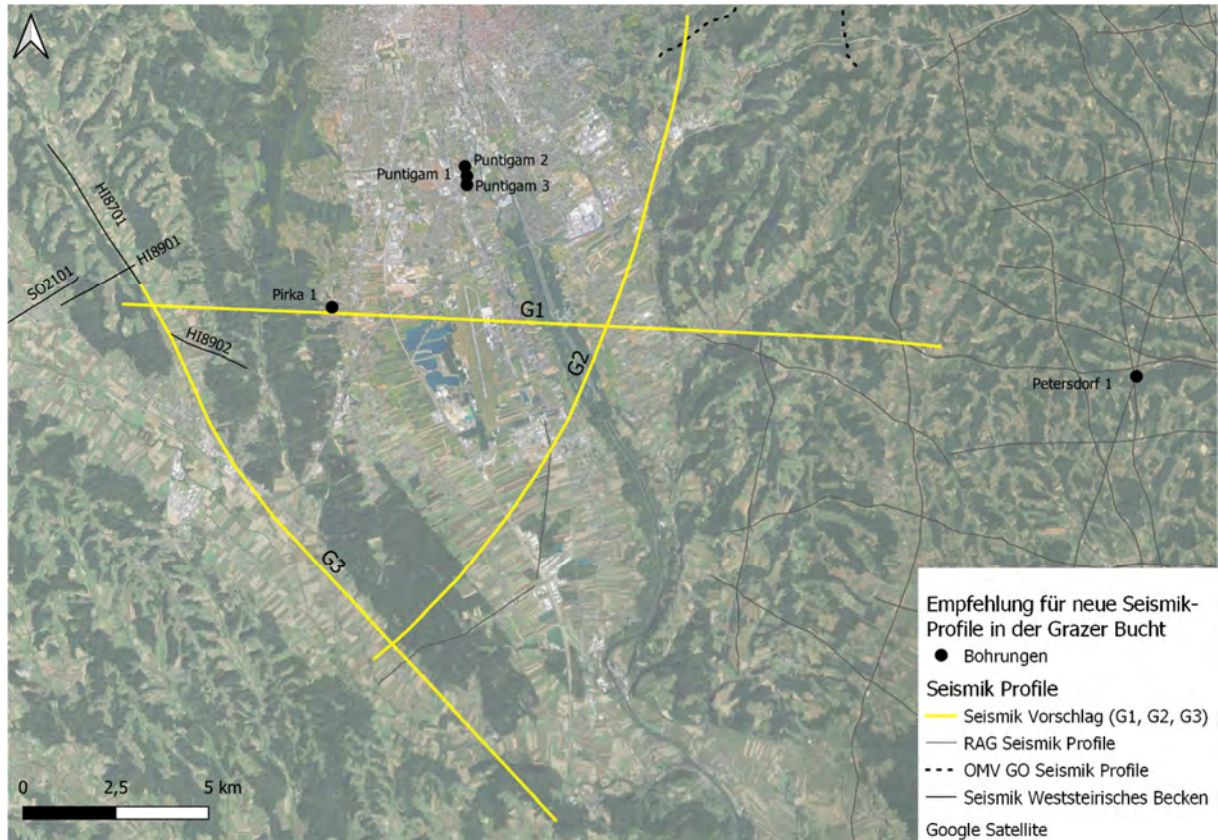


Abbildung 10-2. Orthofoto mit Empfehlungen für Positionen neuer Seismik-Profile in der Nähe von Graz.

## **10.6 Geologisch-hydrogeologisches Konzeptmodell als Basis für die Bohrplanung**

Die Untersuchungsergebnisse aus Lineament- und Störungsanalyse und insbesondere der seismischen Neubearbeitungen und Erkundungen werden in einem konzeptionellen geologisch-hydrogeologischen Modell für den Süden von Graz zusammengefasst. Das Modell dient in weiterer Folge als Grundlage für die Planung und optimierte Platzierung der Erkundungsbohrung sowie als Basis für die im Vorfeld der Bohrarbeiten erforderlichen behördlichen Genehmigungsverfahren (Wasserrechtliche und Bergrechtliche Bewilligung).

Das Modell beinhaltet folgende Schwerpunkte:

- Übernahme der digitalen Ergebnisse und Produkte der seismischen und tektonischen Untersuchungen sowie der evaluierten Bohrinformationen.
- Erarbeitung eines 3-D – Modells zur Darstellung der geologisch-tektonischen Verhältnisse im Untergrund südlich von Graz.
- Definition und Erstausweisung von hydrostratigraphischen Einheiten und deren hydraulische Bewertung unter besonderem Augenmerk auf sprödttektonische Störungszonen – potenzielle Erschließungsziele.
- Erstaussagen und Prognosen zum Chemismus der Wässer im Untergrund.
- Überprüfung und Neubeurteilung des geothermischen Potenzials anhand der neu gewonnenen Erkenntnisse.
- Textliche Zusammenfassung und Darstellung des geologisch-hydrogeologischen Konzeptmodells in Form von Kartendarstellungen (GIS-Layern) und geologisch-hydrogeologischen Schnitten.
- Standortvorschläge für die Niederbringung einer Erkundungsbohrung mit grober Vorausplanung.
- Darstellung der weiteren Arbeitsschritte für die Varianten mit Zeitschiene, Kostenschätzung und Empfehlungen.

**Abschätzung der Gesamtkosten: €25.000 – €30.000**

## 10.7 Erkundungsbohrung

Die Auswertung der reflexionsseismischen Profile der Kohlenwasserstoff-Industrie und der neu aufgenommenen Profile bilden die Grundlage für ein geologisches Untergrundmodell, mit dem eine Bewertung potentieller Tiefenaquifere in Bezug auf Tiefenlage (erzielbare Temperaturen) und erzielbare Volumenströme (Ergiebigkeit) möglich ist. Das finale Ergebnis der Auswertungen ist die Nennung möglicher Standorte für die Niederbringung einer geothermischen Erkundungsbohrung.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wird eine Bohrlokation ausgewählt, die den Kriterien des Auftraggebers in Bezug auf die Länge der Verbindungsleitung zu einem möglichen Einspeisepunkt im Raum südlich von Graz entspricht.

Für den Bohrstandort wird eine POS Studie (Probability of Success) zur Abschätzung der Erfolgswahrscheinlichkeit durchgeführt. In diese Studie fließen folgende Punkte ein:

- Tiefenlage, Mächtigkeit, gesteinsmäßige Ausbildung, primäre und sekundäre Porositäten
- Durchlässigkeit der für die Erkundung und Erschließung vorgesehenen Horizonte
- Thermische Verhältnisse
- Bohrtechnische Beurteilung in Bezug auf Bohrbarkeit der Gesteine, allfällige Problemzonen in Bezug auf die Bohrlochstabilität und das mögliche Auftreten von erhöhten Formationsdrücken.

Das Ergebnis der Studie ist eine Risikoabschätzung hinsichtlich der erzielbaren thermischen Leistung mit Angabe der maximalen Fördertemperatur am Standort der Erkundungsbohrung.

Die Erkundungsbohrung wird hinsichtlich Bohr- und Verrohrungsdurchmesser und technischer Ausstattung so konzipiert, dass einerseits die Kosten begrenzt werden können, andererseits die für die geologische und hydrogeologische Beurteilung der Fündigkeit notwendigen Bohrlochuntersuchungen (geophysikalische Bohrlochmessungen, Zwischentests) und Pumpversuche durchgeführt werden können.

Wenn auf Basis der erfolgreichen Erkundung eine geothermische Dublette, bestehend aus Förder- und Reinjektionsbohrloch, errichtet werden kann, fungiert die Erkundungsbohrung als Messpegel.



## 10.8 Zusammenfassung von weiterführenden Arbeiten – Zeitschiene und Budget

Für die oben beschriebenen Empfehlungen für weitere Untersuchungen im Sinne einer umfangreichen Machbarkeitsstudie werden in der untenstehenden Tabelle budgetäre Größenordnungen der Kosten und des Zeitbedarfs abgeschätzt. Die Kostenabschätzungen beruhen bereits auf Anfragen bei möglichen Lieferfirmen sowie aus dem Projektteam abgeleitete Erfahrungswerte der letzten Geothermieprojekte. Eine Erkundungsbohrung kann erst nach Auswertung der Seismik und Festlegung der zu erreichenden Tiefe abgeschätzt werden. Zur Zeit der Berichtslegung werden die Gesamtkosten pro Bohrmeter auf € 2.500,00 geschätzt.

Tabelle 10-1: Kosten- und Zeitabschätzung für weiterführende Arbeiten

Empfehlung		Minimalwert	Maximalwert	Zeitbedarf [Monate]
10.1	Systematische Neuaufnahme von Bohrkernen im Steirischen Becken	€ 20.000,00	€ 22.000,00	4
10.2	Kinematik der Störungen am Rand des Steirischen Beckens mit besonderem Augenmerk auf die Leberstörung	€ 15.000,00	€ 16.000,00	4
10.3	Auswertung und Interpretation von Luft- und Satellitenbildern sowie hoch aufgelösten Geländemodellen	€ 30.000,00	€ 32.000,00	4
10.4	Neubearbeitung von vorhandenen Seismikdaten (ohne OMV Daten)	€ 800.000,00	€ 880.000,00	16
10.5	Neuaufnahme von reflexionsseismischen 2D Profilen	€ 1.120.000,00	€ 1.230.000,00	10
10.6	Geologisch-hydrogeologisches Konzeptmodell als Basis für die Bohrplanung	€ 25.000,00	€ 30.000,00	2
10.7	Erkundungsbohrung	-	-	-
<b>Summe</b>		<b>€ 2.010.000,00</b>	<b>€ 2.210.000,00</b>	<b>18 Monate</b>

Die in Tabelle 10-1 empfohlenen Arbeiten können, abgesehen von der Erstellung des geologisch-hydrogeologischen Konzeptmodells, parallel durchgeführt werden. Damit kann im Sinne einer ökonomischen Zeitschiene der Bearbeitungszeitraum „kurz“ gehalten werden.

# 11 Literaturliste

## 11.1 Zitierte Literatur

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ENERGIE UND TECHNOLOGIE (2018): Energie-Atlas Bayern.- Informationsportal, <https://www.energieatlas.bayern.de>, München.

BÖCHZELT, B. & GOLDBRUNNER, J. (2000): Bohrungen Geothermie Fürstenfeld 1 und 2 auf Gst. Nr. 920/6 bzw. 1498/1 KG Fürstenfeld, Bohr- und Testphase, Abschlußbericht.- 34 S., 03.04.2000.

BÖCHZELT, B. & GOLDBRUNNER, J. (2000): Tiefbohrung Stegersbach Thermal 2, Hydrogeologisch-Technischer Abschlußbericht und Ansuchen um wasserrechtliche Nutzungsbewilligung.- Geoteam Ges.m.b.H., 21 S., 28.07.2000.

BRUNNENBAU ETSCHERL + MEYER G.M.B.H (1976): Bohrprofil Nummer II / 3B, Februar 1976

BUCHROITHNER, M. (1978): Biostratigraphische Untersuchungen im Paläozoikum der Steiermark. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 108, 77–93

BUCHROITHNER, M. (1979): Das Paläozoikum von Tobelbad bei Graz. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 109, 63-70

BUCHROITHNER, M. F., EBNER, F. & SURENIAN, R. (1979): Die Entwicklung der Steinbergkalke (Oberdevon, Grazer Paläozoikum) an ihrer Typuslokalität.- Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 109, 71-84.

BUCHROITHNER, M.F. (1984): Geologische Themakarte - Landsat-Bildlineamente von Österreich - 1:500.000.- Geologische Bundesanstalt, 1 Kte., Wien.

BUNDESVERBAND GEOTHERMIE (2021): Website.- <https://www.geothermie.de>, Berlin.

DAX, F. (2021): The central Styrian Basin (Gnas Subbasin): Structure and stratigraphy revealed by seismic and borehole data. Masterarbeit. Montanuniversität Leoben, Leoben

EBNER, F. (1976): Die Geologie der Hohen Rannach bei Graz. - 1. Die Schichten der Dult. - Alpengarten, 19, 9-15, Graz.

EBNER, F. (1978a): Stratigraphie des Karbon der Rannachfazies im Paläozoikum von Graz. - Mitt. Österr. Geol. Ges., 69, 163-196

EBNER, F. (1978b): Der paläozoische Untergrund in der Bohrung Waltersdorf 1 (S Hartberg, Oststeiermark). Mitt. Österr. Geol. Ges., 68, 5–11

EBNER, F. (1988): Das Paläozoikum in den RAG-Bohrungen Blumau 1, 1A und Arnwiesen 1 (Oststeirisches Tertiärbecken). Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, 131, 563–573

EBNER, F. (1998): Das Paläozoikum auf ÖK-Blatt 163 Voitsberg. - Mitt. Ref. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum, Sh 2, 111-136

EBNER, F., ERHART-SCHIPPEK, F. & WALACH, G. (1986): Erdgasspeicher Oststeiermark - Geologische Gebietsauswahl. Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., 7, 5–17.

EBNER, F., FRITZ, H. & HUBMANN, B. (2001): Das Grazer Paläozoikum: Ein Überblick. Ber. Inst. Geol. Paläont. K.-F.-Univ. Graz, 3, 34–58

EBNER, F., HUBMANN, B. (2000): The Rannach Facies off the Graz Palaeozoic (Eastern Alps, Austria), *Journal of Alpine Geology*, 54, 145- 187

EBNER, F., HUBMANN, B., WEBER, L. (2000): Die Rannach- und Schöckl-Decke des Grazer Paläozoikums. *Mitt. Ges. Geo. Bergbaustud. Österr.*, 44, 1–44.

EBNER, F. & SACHSENHOFER, R.F. (1991): Entwicklung des steirischen Tertiärbeckens. *Mitt. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum*, 49.

EISNER, M. & GOLDBRUNNER, J. (1998): Tiefbohrung Ottendorf Thermal 1, Wasserrechtlicher Änderungsantrag, Technischer Bericht.- 18 S., 23.10.1998.

EISNER, M., GOLDBRUNNER, J. & VASVARI, V (2000): Köflach Thermal 1 - Hydrogeologischer Abschlussbericht - Antrag auf Erteilung der wasserrechtlichen Nutzungsbewilligung.- *Geoteam Ges.m.b.H.*, 26 S., 28.07.2000.

EISNER, M. & GOLDBRUNNER, J. (2000): Sonde Ilz Thermal 1 - Hydrogeologisch-technischer Abschlussbericht.- *Geoteam Ges.m.b.H.*, 11 S., 10.11.2000.

EISNER, M. & GOLDBRUNNER, J. (2001): Bohrung Gleisdorf Thermal 1 - Hydrogeologisch-technischer Abschlussbericht, Antrag um wasserrechtliche Bewilligung.- *Geoteam Ges.m.b.H.*, 20 S., 20.11.2001, Gleisdorf.

EISNER, M. & GOLDBRUNNER, J. (2003): Tiefbohrung Waltersdorf 4, Geologisch-technischer Abschlussbericht - Ansuchen um Wasserrechtliche Nutzungsbewilligung.- 36 S., 26.09.2003.

EISNER, M. & GOLDBRUNNER, J. (2003): Tiefbohrung Ottendorf Thermal 1, Geologisch-technischer Abschlussbericht - Bericht der Wasserrechtlichen Bauaufsicht.- *Geoteam Ges.m.b.H.*, 23 S., 03.11.2003.

ELSTER, D., GOLDBRUNNER, J., WESSELY, G., NIEDERBACHER, P., SCHUBERT, G., BERKA, R., PHILIPPITSCH, R. & HÖRHAN, T. (2016): Erläuterungen zur geologischen Themenkarte Thermalwässer in Österreich. 1 : 500 000. – *Geol. Bundesanst.*, 293 S.

ELSTER, D., FISCHER, L., HANN, S., GOLDBRUNNER, J., SCHUBERT, G., BERKA, R., HOBIGER, G., LEGERER, P. & PHILIPPITSCH, R. (2018): Österreichs Mineral- und Heilwässer.- *Geologische Bundesanstalt*, 251 Abb., 128 Tab., 1 Anh., 442 S., Wien.

FENNINGER, A. & HOLZER, H.-L. (1978): Die Genese der Dolomitsandstein-Folge des Grazer Paläozoikums. - *Mitt. Österr. Geol. Ges.*, 69/1976, 109-162

FLÜGEL, H. (1975a). Das Neogen der Grazer Bucht. *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 105, 71–77

FLÜGEL, H. (1975b): Die Geologie des Grazer Berglandes. Erläuterungen zur Geologischen Wanderkarte des Grazer Berglandes 1 : 100.000, herausgegeben von der Geologischen Bundesanstalt, Wien 1960. - 2. Aufl., Mitt. Abt. Geol. Joanneum, Sh. 1, 288 S., Graz.

FLÜGEL, H. (1983): Zur neogen-quartären Morphogenese und Verkarstung des Plabutschuges westlich von Graz (Steiermark). Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 113, 15–23

FLÜGEL, H. (1984): Das Paläozoikum und Mesozoikum des Remschnigg, Sausal, von St. Anna am Aigen und des Steirischen Tertiärbeckens. In: FLÜGEL, H., NEUBAUER, F. (1984): Erläuterung zur Geologischen Karte der Steiermark 1 : 200.000, Geologische Bundesanstalt, Wien.

FLÜGEL, H. (1988). Steirisches Becken – Südburgenländische Schwelle. Geologische Karte des prätertiären Untergrundes.- Geol. Bundesanst., 1 Kte, 1:200.000.

FLÜGEL, H. (2000): Die lithostratigraphische Gliederung des Paläozoikums von Graz (Österreich). – In: FLÜGEL, H. & HUBMANN, B. (2000): Das Paläozoikum von Graz: Stratigraphie und Bibliographie. Österr. Akad. Wiss., Schriftenr. Erdwiss. Kommiss., 13. 118 S.

FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F. (1984a): Erläuterung zur Geologischen Karte der Steiermark 1 : 200.000, Geologische Bundesanstalt, Wien.

FLÜGEL, H.W. & NEUBAUER, F. (1984b) Geologische Karte der Steiermark 1 : 200.000, Geologische Bundesanstalt, Wien

FLÜGEL, H., NOWOTNY, A. & GROSS, M. (2011): Geologische Karte der Republik Österreich 1 : 50000 Blatt 164 Graz, Geologische Bundesanstalt, Wien

FRIEBE, J.G. (1990): Lithostratigraphische Neugliederung und Sedimentologie der Ablagerungen des Badenium (Miozän) um die Mittelsteirische Schwelle (Steirisches Becken, Österreich). - Jahrb. Geol. Bundesanst., 133 (2), 223–257

FRITZ, H. (1988): Kinematics and geochronology of Early Cretaceous thrusting in the Paleozoic of Graz (Eastern Alps). - Geodin. Acta, 2, 53-62

GASSER, D., STÜWE, K. & FRITZ, H. (2010): Internal structural geometry of the Paleozoic of Graz. Int. J. Earth. Sci., 99, 1067–1081

GOLDBRUNNER, J. (1988): Tiefengrundwässer im Oberösterreichischen Molassebecken und im Steirischen Becken. Steir. Beitr. z. Hydrogeologie, 39, 5–94.

GOLDBRUNNER, J. (1989): Tiefbohrung Stegersbach Thermal 1. Abschlußbericht der Projektleitung und Ansuchen um wasserrechtliche Bewilligung einer Entnahmemenge von maximal 1 l/s aus der Sonde Stegersbach Thermal 1. – 12 S., 13.12.1989.

GOLDBRUNNER, J. (1991): Abschlussbericht der Projektleitung über die Tiefbohrung Waltersdorf 2/2a.- Forschungsgesellschaft Joanneum Ges.m.b.H., 13 S., 07.02.1991.

GOLDBRUNNER, J. (2007): Entwicklungsstand, politisches Umfeld und Perspektiven der Tiefen Geothermie in Österreich.- Erdöl Erdgas Kohle, 123. Jhg., Februar 2007, Heft 2, 68-75 S., 02/2007.

GOLDBRUNNER, J. (2015): Austria – Country Update.- Proceedings World Geothermal Congress 2015, 13 S., Melbourne.

GOLDBRUNNER, J. (2020): Austria – Country Update.- Proceedings World Geothermal Congress 2020, Reykjavik, Iceland, 19 S., April 26 – May 2, 2020, Reykjavik.

GOLDBRUNNER, J. & EISNER, M. (1997): Reinjektionssonde Blumau 1a - Statusbericht (Stand: Juli 1997).- Geoteam Ges.m.b.H., 16 S., 11.07.1997.

GOLDBRUNNER, J., KRIEGL, CH. & EISNER, M. (1998): Tiefbohrung Blumau 2 - Bohr- und Testphase. Abschlußbericht.- Geoteam Ges.m.b.H., 47 S., 02.03.1998.

GOLDBRUNNER, J. & EISNER, M. (2014): Tiefbohrung Frutura GT1a (Fru GT1a) - Geologisch-technischer Abschlussbericht. BERGRECHT.- Geoteam Ges.m.b.H., 19 S., 23.10.2014.

GOLDBRUNNER, J. & EISNER, M. (2014): Tiefbohrung Frutura GT 2 (Fru GT2) - Geologisch-technischer Abschlussbericht. BERGRECHT.- Geoteam Ges.m.b.H., 28 S., 18.08.2014.

GOLDBRUNNER, J. & ZÖTL, J.G. (1985): Bohrung Fürstenfeld Thermal 1. Abschlußbericht der geologischen Bauaufsicht.- FGJ, Institut für Hydrogeologie und Geothermie, 2 Beilagen/Anhänge, 24 S., Mai 1985.

GÖTZL, G., WOLTNIG, W., DOMBERGER, G. & LIPIARSKI, P. (2007): Projekt Transthermal: Geothermie der Ostalpen - Erfassung und zusammenfassende Darstellung des geothermischen Potenzials in Datenbanken, einem Geothermieatlas und in GIS-basierten Kartenwerken im Bereich von Kärnten, Steiermark und Slowenien - Interreg IIIA Austria - Slovenia. Nationaler Abschlussbericht für Österreich. - 156 S., Nov. 2007.

GRATZER, R. (1985): Vergleichende Untersuchungen an Metabasiten im Raum Hannersdorf, Burgenland, Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, 194, 131-148.

GRAZER ENERGIEAGENTUR (2014): Wärmeversorgung Graz 2020/2030- Green Paper Teil A. Bestandsaufnahme, aktuelle Daten und Fakten mit einem Ausblick zur Entwicklung des Wärmemarkts in Graz.- 107 S., Graz.

HANSELMAYER, J. (1961): Porphyroidische Serizitschiefer vom Mandlkogel im Sausal, Steiermark. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 91, 37-48.

HASENBURGER, W. (2016): The Geothermal well Ilz Thermal1. Detailed lithological, hydrogeological and geothermal investigations for potential utilization as an alternative source of energy.- Montanuniversität Leoben, 109 S.,

HERITSCH, F. & GRANIGG B. (1911): Unveröff. Gutachten, Graz.

HERITSCH, F. (1935): Geologie des Grazer Schloßberges. - Kl. Bücherei d. naturwiss. Ver. Steiermark, 3, 1-16.

HERRMANN, P., FELLNER, D. & SCHÖNLAUB, H.P. (1993): Geologische Karte der Republik Österreich, 1:50.000, Blatt 167 Güssing, Geologische Bundesanstalt, Wien.

HILBER, V. (1878): Die Miocän-Ablagerungen um das Schiefergebirge zwischen den Flüssen Kainach und Sulm in Steiermark. In: Jahrbuch der k. k. geol. Reichsanstalt, 28 (3), 505–566

HOHENEGGER, J., RÖGL, F., CORIC, S., PERVESLER, P., LIRER, F., ROETZEL, R., SCHOLGER, R. & SRINGL, K. (2009): The Styrian Basin: a key to the Middle Miocene (Badenian/Langhian) Central Paratethys transgressions. - Mitt. Österr. Geol. Ges., 102/1, 20 S.

HÖLTING, B. & COLDEWEY, W.G. (2005): Hydrogeologie - Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie.- 6. Auflage, 326 S., 118 Abb., 69 Tab., München.

HÖNIG, H. (1983): Verhaltensweise geringdruckfester Feststeine am Beispiel der Grünschieferserie des Thalgrabens nördlich von Graz. - Verh. Geol. Bundesanst., 1982/3, 197-207

HUBMANN, B., EBNER, F., FERRETTI, A., KIDO, E., KRAINER, K., NEUBAUER, F., SCHÖNLAUB, H.-P. & SUTTNER, T.J. (2014): The Paleozoic Era(them), 2nd edition. – In: PILLER, W.E. [Hrsg.]: The lithostratigraphic units of the Austrian Stratigraphic Chart 2004 (sedimentary successions) – Vol. I – Abh. Geol. B.-A., 66, 9–133, Wien.

HUBMANN, B. & MESSNER, F. (2007): „Stein im Bild“ - Die Faziale Entwicklung der Rannachdecke (Grazer Paläozoikum). Jahrb. Geol. Bundesanst., 147, 277–299

JOANNEUM RESEARCH FORSCHUNGSGESELLSCHAFT MBH (1997): Geophysikalische Bohrlochmessungen - Steirerbrauch TB 3, 1 S., 26.05.1997

KOLLMANN, K. (1965): Jungtertiär im steirischen Becken. Mitt. Geol. Ges. Wien, 57, 479–632

KRÖLL, A. (1988): Steirisches Becken – Südburgenländische Schwelle. Reliefkarte des prätertiären Untergrundes.- Geol. Bundesanst, 1 Kte, 1:200.000.

KRÖLL, A. & HELLER, R. (1978): Die Tiefbohrung Afling U1 in der Kainacher Gosau. - Verh. Geol. Bundesanst., 2, 23-34

KRÖLL, A., FLÜGEL, H., SEIBERL, 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.

KUNTSCHNIG, A. (1937): Geologische Karte des Bergzuges Plabutsch-Kollerkogel. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 74, 114-132

LAND STEIERMARK (1998): "Braunion Österreich" vormals Steirerbrau AG, Graz, Tiefbohrung und Pumpversuch auf Gst.Nr. 16/1, KG Rudersdorf, wasserrechtliche Überprüfung.- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Rechtsabteilung 3, GZ.: 3-33.11 S 9-98/6, 7 S., 04.02.1998.

LAND STEIERMARK (2021): GIS-Steiermark, Digitaler Atlas Steiermark : Kartenportal.- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Referat für Statistik und Geoinformation, <https://gis.stmk.gv.at>, Abrufdatum: November 2021.

MOSER, M. (2015/2016): Geofast Karte 1 : 50.000 Blatt 190 Leibnitz, Geologische Bundesanstalt, Wien.

MORAWETZ, R., SCHÖN, J., SCHREILECHNER, M., WINKLER, G. (2003): Bericht Geophysik Weitendorf. Unveröff. Ber. Forsch.Ges. Joanneum, Leoben.

NÁDOR, A., SZÓCS, T., ROTÁR-SZALKAI, Á., GÖTZL, G., PRESTOR, J., TÓTH, G., CERNAK, R., ŠVASTA, J., KOVÁCS, A. & GÁSPÁR, E. (2013): Strategy paper on sustainable cross-border geothermal utilization.- Transenergy project, GeoZS, MFGI, GBA, SGUDS, 96 S., Sep. 2013, Ljubljana-Budapest-Vienna-Bratislava.

NEUBAUER, F. (1991): Stratigraphie und Struktur der Rannachdecke bei Kehr, Grazer Paläozoikum. - Jahrb. Geol. Bundesanst., 134, 101-116.

NEUBAUER, F., FRIEDL, G., GENSER, J., HANDLER, R., MADER, D., SCHNEIDER, D. (2007): Origin and tectonic evolution of the eastern Alps deduced from dating of detrital white mica: a review. Mitt. Österr. Geol. Ges., 100, 8-23.

ÖSTERREICHISCHE MINERALÖLVERWALTUNG AG (1975): Abschlussbericht über die Aufschlussbohrung "Litzelsdorf 1". – Bohrbetrieb Geol. Abt., 9 S., 05.03.1975.

ÖSTERREICHISCHE MINERALÖLVERWALTUNG AG (1978): Kurzprofil der Bohrung St. Nikolai 1. – TDG-Ressort Geologie, 1 S., 15.12.1978.

ÖSTERREICHISCHE MINERALÖLVERWALTUNG AG (1979): Kurzprofil der Bohrung Pichla 001. – TDG-Ressort Geologie, 1 S., 07.03.1979.

ÖSTERREICHISCHE MINERALÖLVERWALTUNG AG (1979): Kurzprofil der Bohrung St. Peter 001. – TDG-Ressort Geologie, 1 S., 17.08.1979.

ÖSTERREICHISCHE MINERALÖLVERWALTUNG AG (1979): Abschlussbericht zu Bohrung Wiersdorf 1. – TDG-Ressort Geologie, 11 S., 1979.

ÖSTERREICHISCHE MINERALÖLVERWALTUNG AG (1982): Kurzprofil der Bohrung Ludersdorf 1. – TDG-Ressort Geologie, 1 S., 22.09.1982.

ÖSTERREICHISCHE MINERALÖLVERWALTUNG AG (1983a): Kurzprofil der Bohrung Ludersdorf 002. – TDG-Ressort Geologie, 1 S., 24.11.1983.

ÖSTERREICHISCHE MINERALÖLVERWALTUNG AG (1983b): Kurzprofil der Bohrung Wollsdorf 001. - TDG-Ressort Geologie, 1 S., 24.11.1983

POLLAK, W. (1962): Untersuchungen über Schichtfolge, Bau und tektonische Stellung des österreichischen Anteils der Eisenberggruppe im südlichen Burgenland. Dissertation, Universität Wien, Wien

ROHÖL-AUFSUCHUNGS-GESELLSCHAFT mbH. (1960): Schichtenverzeichnis der Aufschlussbohrung Übersbach 1. – Geol. Abt., 60 S., Jänner 1960.

ROHÖL-AUFSUCHUNGS-GESELLSCHAFT mbH. (1972): Schichtenverzeichnis der Aufschlußbohrung Binderberg 1. – Geol. Abt., 49 S.

ROHÖL-AUFSUCHUNGS-GESELLSCHAFT mbH. (1976): Waltersdorf 1 (Walt 1). – Geol. Abt., 4 S., 23.08.1976.

ROHÖL-AUFSUCHUNGS-GESELLSCHAFT mbH. (1985): Arnwiesen 1 (Arn 1) Gas-Aufschlussbohrung. – Geol. Abt., 3 S., 29.01.1985.

RIEPLER, F., (1988): Das Tertiär des Thaler Beckens (Raum Thal - Mantscha - Tobelbad). Dissertation. Karl-Franzens-Universität Graz, Graz.

RÖGL, F. (1975): Die Stratigraphie der Wasserbohrungen in Puntigam. Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 105, 93–98

SACHSENHOFER R., SPERL, H. & WAGINI, A. (1996): Structure, development and hydrocarbon potential of the Styrian Basin (Pannonian Basin system, Austria). In: WESSELY, G. & LIEBL, W. (Hrsg.): Oil and Gas in Alpidic Thrustbelts and Basins of Central and Eastern Europe: European Association of Petroleum Geoscientists and Engineers, Special Publication 5, 393–414

SCHLAMBERGER, J. (1987): Zur Geologie des Sausaler Paläozoikums in der SW Steiermark. Dissertation, Karl-Franzens-Universität Graz

SCHLAMBERGER, J. (1988): Geodynamic evolution of the Sausal Paleozoic (Eastern Alps). - Sschweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 68 (3), 369–379

SCHMID, S.M., FÜGENSCHUH, B., KISSLING, E. & SCHUSTER, R. (2004): Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. - Eclogae geol. Helv., 97 (1), 93–117. DOI: 10.1007/s00015-004-1113-x.

SCHMÖLLER, R. (1991): Forschungsschwerpunkt Tiefenseismik – Berichte über eigenfinanzierte Projekte 1991 der Joanneum Research.- JR - GPH, 32-35 S., Leoben.

SCHÖNLAUB, H. P. (1984): Das Paläozoikum von Sulz bei Güssing im Südburgenland, Jahrb. Geol. Bundesanst., 127, Heft 3, 501-505

SCHÖNLAUB, H. P. (1994): Das Altpaläozoikum im Südburgenland. – In: LOBITZER, H., CSÄSZÄR, G. & DAURER, A. (Hrsg.): Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich – Ungarn, Teil 2, 365-377, Wien

SCHÖNLAUB, H.P. (2000): Das Altpaläozoikum im Südburgenland. – In: H.P. SCHÖNLAUB (Hrsg.): Erläuterungen zur Geologischen Karte des Burgenlandes 1:200.000, 31-35, Wien

SIEMENS, G. (1943): Isogammenkarte des Grazer Beckens, Maßstab 1 : 500.000 - Unveröff. Ber., Wien

SPERL, H., WAGINI, A. (1994): The Styrian Basin – A gas-prone Pannonian subbasin. European Association of Petroleum Geoscientist and Engineers – 6<sup>th</sup> Conference and Technical Exhibition, Vienna, 6-10 June 1994.



STOBER, I. & BUCHER, K. (2020): Geothermie.- Springer Verlag, 386 S., 3. Auflage, Berlin Heidelberg.

SUTTNER, T.J. (2009): An ozarkodinid conodont cluster from Kirchfidisch (Lower Devonian, Austria), *Ann. Naturhist. Mus. Wien*, 111 A, 233-244.

THURNER, A. (1975): Säuerlinge und Thermen. – In: FLÜGEL, H.: Die Geologie des Grazer Berglandes. Erläuterungen zur Geologischen Wanderkarte des Grazer Berglandes, 1:100.000. - Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmus. Joanneum, SH1, 270 – 274.

VASVARI, V. (2001): Geohydraulische und bohrlochgeophysikalische Untersuchungen in geklüfteten Grundwasserleitern.- Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft Technische Universität Graz, 38, 110 S., Graz.

WEBER, F. (1978): Vorbericht zu den geophysikalischen Messungen im Raum Pirka – Tobelbad, Leoben, Institut für Erdölgeologie und Angewandte Geophysik Montanistische Hochschule Leoben

WEBER, F. (1998): Ergebnisse eines reflexionsseismischen Profiles im Raum Wundschuh/Steiermark. *Mitt. Ref. Geol. und Paläont. Landesm. Joanneum*, SH 2, 343–354

WEBER, F. (1999): Ergebnisse eines reflexionsseismischen Profiles bei Kalsdorf/Steiermark. *Joannea Geol. Paläont.*, 1, 91–102.

WEBER, F., SCHMID, C. & SCHMÖLLER, R. (1999): Ein Beitrag zum Bau der Mittelsteirischen Schwelle aufgrund geophysikalischer Messungen – Raum Pirka-Tobelbad. *Joannea Geol. Paläont.*, 1, 103–121

WEBER, F. (2002): Ergebnisse eines reflexionsseismischen Profiles in der Florianer Bucht. *Joannea Geol. Paläont.* 4, 83–90.

WINKLER, A. (1927): Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Republik Österreich - Blatt Gleichenberg, Geologische Bundesanstalt, Wien

WINKLER-HERMADEAN, A. (1939): Aufnahmebericht für 1938 des Chefgeologen Dr. Artur Winkler-Hermaden über das Blatt Wildon-Leibnitz (5255). *Verh. Geol. Bundesanst.*, 101 – 102.

ZETINIGG, H. (1992/93): Die Mineral- und Thermalquellen der Steiermark.- Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmuseum Joanneum, 50/51, 364 S., Graz.

ZÖTL, J., GOLDBRUNNER J. (1993): Die Mineral- und Heilwässer Österreichs. Geologische Grundlagen und Spurenelemente, Springer Verlag Wien New York, Wien

## 11.2 Weiterführende Literatur

HUBMANN, B. (1991): Alveolitidae, Heliolitidae und Helicosalpinx aus den Barrandeikalken (Eifelium) des Grazer Devons. - *Jahrb. Geol. Bundesanst.*, 134/1, 37-51.

ANGEL, F. (1929): Dolomitsandsteine des Grazer Paläozoikums. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 64/65, 136-149

ANGEL, F. (1965): Petrographisch-petrochemische Berichte über einige Gesteinstypen der Umgebung von Graz. - Mitteilungsbl. Abt. Min. Landesmus. Joanneum, 1965/1, 1-11

BLÜMEL, O. W. (1956): Über Sandsteine der Grazer Umgebung. - Festschr. F. Angel, 13-18

BROSCH, F. J., KLIMA, K. & PÖLSLER, P. (1984): Baugeologische Erfahrungen beim Ausbruch des Plabutschunnel-Sondierstollens der A9 Pyhrnautobahn. - Felsbau 2/3, 151-165

BROSCH, F. J. (1985): Kleintektonische Beobachtungen aus dem Plabutschunnel-Sondierstollen (Grazer Paläozoikum, Steiermark). - Jahrb. Geol. Bundesanst., 127/4, 525-549

CLAR, E. (1930): Zur Transgression des Karbons bei Gratkorn (nördl. Graz). - Verh. Geol. Bundesanst., 1930/7, 172-173

CLAR, E. (1933): Der Bau des Gebietes der Hohen Rannach bei Graz. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 70, 24-47

CLAR, E. (1935): Geologische Wanderungen im Gebiete der Hohen Rannach bei Graz. - Kl. Bücherei d. naturwiss. Ver. Steiermark, 2, 1-16

EBNER, F. (1972): Haltepunkt 3: Steinbruch Dennig (Barrandeikalk, Kanzelkalk). - In: FLÜGEL, H. W.: Führer zu den Exkursionen der 42. Jahresversammlung der Paläontologischen Gesellschaft in Graz. - 136-137

EBNER, F. (1976): Die Schichtfolge an der Wende Unterkarbon/Oberkarbon in der Rannach-Fazies des Grazer Paläozoikums. - Verh. Geol. Bundesanst., 1976, 65-93

EBNER, F. (1976): Bericht 1975 über stratigraphische Untersuchungen im Paläozoikum von Graz auf den Blättern 163, Voitsberg und 164, Graz. - Verh. Geol. Bundesanst., 1976, A154-A156

EBNER, F. (1977): Die Transgression der Folge der Dult (Oberkarbon, Paläozoikum von Graz). - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 107, 35-53,

EBNER, F. (1977): Bericht 1976 über stratigraphische Untersuchungen im Paläozoikum von Graz auf Blatt 163, Voitsberg. - Verh. Geol. Bundesanst., 1977, A137-A138, Wien.

EBNER, F. (1977): Bericht 1976 über stratigraphische Untersuchungen im Paläozoikum von Graz auf Blatt 164, Graz. - Verh. Geol. Bundesanst., 1977, A139-A141

EBNER, F. (1978): Die sedimentäre Entwicklung des Unterkarbons in Österreich. - Österr. Akad. Wiss. Schriftenreihe d. Erdwiss. Komm., 3, 179-190

EBNER, F. (1980): Steinbergkalke und Sanzenkogel-Schichten im Kalvarienbergzug W von Gratwein. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 110, 47-53

EBNER, F. (1985): Bemerkungen zur Rannachgruppe am Westrand des Grazer Paläozoikums. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 115, 53-61

EBNER, F., FENNINGER, A. & HOLZER, H.-L. (1980): Die Rannach-Fazies des Grazer Paläozoikums. - Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, 41, 49-65

EBNER, F., FENNINGER, A. & HOLZER, H.-L. (1980): Führer zu ausgewählten Profilen in der Rannach-Fazies des Grazer Paläozoikums. - Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum, 41, 93-105

EBNER, F. & GRÄF, W. (1978): Die erdgeschichtliche Entwicklung des Grazer Raumes. - 850 Jahre Graz, 19-47

EBNER, F., HUBMANN, B. & WEBER, L. (2000): Die Rannach- und Schöckl-Decke des Grazer Paläozoikums. Mitt. Ges. Geo. Bergbaustud. Österr., 44, 1-44.

EBNER, F., KOVACS, S. & SCHÖNLAUB, H. P. (1991): Das klassische Karbon in Österreich und Ungarn - ein Vergleich der sedimentären fossilführenden Vorkommen. - Jubiläumsschrift 20 Jahre Geol. Zusammenarbeit Österreich-Ungarn, Teil 1, 263-294

EBNER, F., NÖSSING, L. & FLÜGEL, H. W. (1977): Zur Geologie des Eichkogels bei Rein nordwestlich von Graz. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 107, 81-88

EBNER, F. & PROCHASKA, W. (1989): Geochemical characterization of Carboniferous sedimentary rocks within the Rannach-Group of the Paleozoic of Graz (Eastern Alps, Austria). - Geol. Soc. Greece, Spec. Publ., 1, 23-33

FLÜGEL, H. (1952): Kinematik einer Großfalte des Grazer Paläozoikums. - N. Jahrb. Geol. Paläont., Monatsh., 1952, 169-180

FLÜGEL, H. (1953): Das sedimentäre Gefüge der Dolomitsandsteine (Grazer Paläozoikum). - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 83, 31-42

FLÜGEL, H. (1954): Das tektonische Gefüge von Kher bei Rein (Beiträge zur Kenntnis des Grazer Paläozoikums. - Mitt. Geol. Ges. Wien, 45

FLÜGEL, H. (1961): Die Geologie des Grazer Berglandes. - Mitt. Mus. Bergb. Geol. Technik, Landesmus. Joanneum, 23, 1963, 5-212

FLÜGEL, H. (1963): Das Paläozoikum in Österreich. - Mitt. Geol. Ges. Wien, 56, 401-453

FLÜGEL, H. (1984): Beiträge zur Geologischen Karte des Paläozoikums von Graz. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 114, 63-65, Graz.

FLÜGEL, H. & HAFNER, F. (1982): Oberkarbone Spalten im Mitteldevon der Hohen Rannach bei Graz (Steiermark). - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 114, 69-76

FLÜGEL, H. & MAURIN, V. (1961): Paläozoikum, Kreide und Tertiär westlich von Graz. - Mitt. Geol. Ges. Wien, 53, 347-349

FRITZ, H. (1991): Stratigraphie, Fazies und Tektonik im nordwestlichen Grazer Paläozoikum (Ostalpen). - Jahrb. Geol. Bundesanst., 134/2, 227-255

FRITZ, H. (1992): Stop No. 4: Devonian sedimentation of the Schöckl Group and Early Alpine thrusting in the Graz Thrust Complex. - In: NEUBAUER, F., DALLMEYER, R. D., DUNKL, I., EBNER, F., FRITZ, H., HANDLER, R., HUBMANN, B., KOLLER, F., MÜLLER, W., PEINDL, P., WALLBRECHER, E., KIESL, W., TAKASU, A., & WEINKE, H. H.: Excursion to the eastern central alps: description of stops. - In: NEUBAUER, F. (Hrsg.): The Eastern Central Alps of Austria, ALCAPA-Field Guide, IGP/KFU Graz, 212-213

FRITZ, H., EBNER, F. & NEUBAUER, F. (1992): The Graz Thrust-Complex (Paleozoic of Graz). - In: NEUBAUER, F. (Hrsg.): The Eastern Central Alps of Austria, ALCAPA-Field Guide, IGP/KFU Graz, 83-92, Graz. FRITZ, H., GSELLMANN, H., GOLLNER, J., HUBAUER, N., NEUBAUER, F., RATSCHBACHER, L., & TSCHELAUT, W. (1985): Bericht über strukturgeologische Arbeiten im Grazer Paläozoikum auf den Blättern 133 Leoben, 134 Passail, 135 Birkfeld, 162 Köflach, 163 Voitsberg und 164 Graz. - Jahrb. Geol. Bundesanst., 128/2

FRITZ, H., NEUBAUER, F. & RATSCHBACHER, L. (1991): Compression versus extension in the Paleozoic of Graz (Eastern Alps, Austria). - Zentralbl. Geol. Paläont., Teil 1, 1991, 55-68

GOLLNER, H., THALHAMMER, O., TSCHELAUT, W. & ZIER, Ch. (1982): Die Laufnitzdorf-Gruppe - eine pelagische Fazies im Grazer Paläozoikum. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 112, 63-73

GOLLNER, H. & ZIER, C. (1985): Zur Geologie des Hochlantsch (Grazer Paläozoikum, Steiermark). - Jahrb. Geol. Bundesanst., 128/1, 43-73

GRÄF, W. (1971): Geologisches vom Hochlantsch. -Alpengarten, 14, 6-8

HANSELMAYER, J. (1952): Petrographie und Chemismus der Dolomite des Plabutsch-Buchkogel-Bergzuges bei Graz. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 81/82, 117-133

HANSELMAYER, J. (1954): Die bunten Flaserkalke (unteres Oberdevon) vom Gaisberg und Kollerkogel. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 84, 50-59

HANSELMAYER, J. (1957): Beiträge zur Sedimentpetrographie der Grazer Umgebung VIII. Der devonische Illit-Schieferton vom Kollerkogel bei Graz. - Anz. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., 95, 127-139

HANSELMAYER, J. (1957): Beiträge zur Sedimentpetrographie der Grazer Umgebung IX. Die Chonetenschiefer des Grazer Paläozoikums. - Sitzungsber. Akad. Wiss., Math.-naturwiss. Kl. (I), 1956, 19-24

HANSELMAYER, J. (1960): Petrographie und Chemismus der devonischen grünen Diabastuffe vom Plabutsch-Bergzug (Graz). - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 90, 25-40

HILBER, V. (1924): Geologie von Gösting. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 60, 114-139

HOHENEGGER, J., PERVESLER, P., RÖGL, F., SCHOLGER, R. & ČORIĆ, S. (2009): The Styrian Basin: A key to the middle miocene (Badenian/Langhian) Central Paratethys transgressions. *Aus. J. Earth. Sci.*, 102, 102–132.

HOLZER, H. (1972): Haltepunkt 1: Steinbruch Punkt 399, Göstingbachtal (Dolomitsandsteinfolge, Unterdevon). - In: FLÜGEL, H. W.: Führer zu den Exkursionen der 42. Jahresversammlung der Paläontologischen Gesellschaft in Graz. - 131-135, Graz.

HÖNIG, H. (1978): Refraktionsseismische Erkundung der verdeckten Felsoberfläche im Bereich des Murtales zwischen Judendorf und Gösting nördlich Graz. - *Mitt. Inst. Baugeol.*, 1, 154 S

HUBMANN, B. (1992): Stop No. 1: Upper part of the Barrandei Limestone Formation, Graz Thrust Complex. - In: NEUBAUER, F., DALLMEYER, R. D., DUNKL, I., EBNER, F., FRITZ, H., HANDLER, R., HUBMANN, B., KOLLER, F., MÜLLER, W., PEINDL, P., WALLBRECHER, E., KIESL, W., TAKASU, A., & WEINKE, H. H.: Excursion to the eastern central alps: description of stops. - In: NEUBAUER, F. (Hrsg.): *The Eastern Central Alps of Austria, ALCAPA-Field Guide, IGP/KFU Graz*, 201-204, Graz.

HUBMANN, B. (1992): Stop No. 2: Platform carbonates of the Rannach Group: Dolomitsandstein Fm., Barrandei Limestone and Platzkogel Limestone. - In: NEUBAUER, F., DALLMEYER, R. D., DUNKL, I., EBNER, F., FRITZ, H., HANDLER, R., HUBMANN, B., KOLLER, F., MÜLLER, W., PEINDL, P., WALLBRECHER, E., KIESL, W., TAKASU, A., & WEINKE, H. H.: Excursion to the eastern central alps: description of stops. - In: NEUBAUER, F. (Hrsg.): *The Eastern Central Alps of Austria, ALCAPA-Field Guide, IGP/KFU Graz*, 204-208

HUBMANN, B. (1993): Ablagerungsraum, Mikrofazies und Paläoökologie der Barrandekalk-Formation (Eifelium) des Grazer Paläozoikums. - *Jahrb. Geol. Bundesanst.*, 136/2, 393-461

HUBMANN, B. (1995): Middle Devonian shallow marine deposits of the Graz Paleozoic: fact and fiction for deposition under ecological stress. - *Beitr. Paläont.*, 20, 107-112

HUBMANN, B. & GROSS, M. (2015): The vicinity of Graz: Upper Silurian to upper Carboniferous of the Graz Palaeozoic, upper Cretaceous of the Kainach Gosau and middle Miocene of Gratkorn. *Ber. Geol. Bundesanst.*, 111, 41-74

KNEBEL, R. (1938): Geologisches Profil der Antiklinale von Kehr. - *Anz. Österr. Akad. Wiss., mathem.-naturwiss. Kl.*, 75, 113-114

MENSINK, H. (1953): Eine tektonische Detailuntersuchung im Raum nördlich Gratkorn. - *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 83, 123-129

NEUBAUER, F. (1982): Untersuchungen zur Tektonik, Metamorphose und Stellung des Grazer Paläozoikum-Ostrandes. - *Jahresbericht 1981, Hochschulschwerpunkt S 15*, 3, 93-101

NEUBAUER, F. (1989): Lithostratigraphie und Strukturen an der Basis der Rannachdecke im zentralen Grazer Paläozoikum (Ostalpen). - *Jahrb. Geol. Bundesanst.*, 132, 459-474

NÖSSING, L. (1975): Die Sanzenkogelschichten (Unterkarbon), eine biostratigraphische Einheit des Grazer Paläozoikums. - *Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark*, 105, 79-92

NÖSSING, L., EBNER, F. & FLÜGEL, H. W. (1977): Zur Geologie des Eichkogels bei Rein nordwestlich von Graz. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 107, 81-88

PAPP, A. (1953): Fossilien aus der Bohrung Pirka bei Voitsberg und Bemerkungen über die Alterstellung der durchteufften Schichten. Verh. Geol. Bundesanst., 220-226

PLESSMANN, W. (1954): Die geologischen Verhältnisse am Westrand der Grazer Bucht. - N. Jahrb. Geol. Paläont. Monatsh., 295-310

RANTITSCH, G., EBNER, F., RUSSEGGER, B. & WEBER, L. (1998): Kohlenstoff-Schwefelbeziehungen in Schwarzschiefern der Schönberg Formation (Obersilur/Unterdevon des Grazer Paläozoikums, Österreich): ein Produktivitätsmodell zur Entstehung altpaläozoischer Schwarzschiefer. - Mitt. Ref. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum, Sh 2, 303-314

SCHÖNLAUB, H. P. (1979): Das Paläozoikum in Österreich. Verbreitung, Stratigraphie, Korrelation, Entwicklung und Paläogeographie nichtmetamorpher und metamorpher Abfolgen. - Abh. Geol. Bundesanst., 33, 124 S.

SCHÖNLAUB, H. P. (1992): Stratigraphy, Biogeography and Paleoclimatology of the Alpine Paleozoic and its Implications for Plate Movements. - Jahrb. Geol. Bundesanst., 135, 381-418

SCHÖNLAUB, H. P. & OBERHAUSER, R. (1980): Das Bergland um Graz sowie Remschnigg und Sausal. - In: OBERHAUSER, R. (Hrsg.): Der geologische Aufbau Österreichs. - 396-403, Wien - New York (Springer).

SIEMENS, G. (1943): Isogammenkarte des Grazer Beckens; Maßstab 1 : 500.000. - Unveröff. Ber.

STATTEGGER, K. (1982): Tektonische Rekonstruktion von Bohrprofilen aus dem Grazer Paläozoikum (Schönberg-Bohrungen, Passailer Gruppe) mit Hilfe von Zeitreihenanalysen. - Jber. 1981, Hochschulschwerpunkt S15, 3, 103-132

THALHAMMER, O. & TSCHELAUT, W. (1983): Some Remarks on the Northern Parts of the Graz Palaeozoic (Austria, Geotraverse B). - IGCP-Project Nr. 5, Newsletter, 5, 187-190

WEBER, F. (1969): Die refraktionsseismischen Messungen im Murtal zwischen Peggau und Eggenfeld (Mittelsteiermark) und ihre Bedeutung für die hydrogeologische Erforschung der quartären Schotterbecken, - Steir. Beitr. Hydrogeol., 21, 5-25

ZIER, Ch. (1981): Nachweis von Oberdevon und Karbon in der Hochlantschfazies nördlich des Röthelstein bei Mixnitz (Grazer Paläozoikum). - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 111, 65-74

ZIER, Ch. (1983): Die Devon-Karbon-Grenze in der Hochlantsch-Fazies des Grazer Paläozoikums. - Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 113, 39-42

### Liste der verwendeten Abkürzungen:

Abh. Geol. B.-A.

Ann. Naturhist. Mus. Wien

Mitt. Geol. Ges. Wien

Mitt. Österr. Geol. Ges.

Aus. J. Earth. Sci.

Int. J. Earth. Sci.

Jahrb. Geol. Bundesanst.

Ber. Geol. Bundesanst.

Verh. Geol. Bundesanst.

Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark

N. Jahrb. Geol. Paläont.

Mitt. Abt. Geol. Joanneum

Mitt. Mus. Bergb. Geol. Technik, Landesmus. Joanneum

Mitt. Abt. Geol. Paläont. Bergb. Landesmus. Joanneum

Mitt. Ref. Geol. Paläont. Landesmus. Joanneum

Mitt. Abt. Geol. und Paläont. Landesmus. Joanneum

Joannea Geol. Paläont.

Österr. Akad. Wiss. Erdwiss. Komm.

Ber. Inst. Geol. Paläont. K.-F.-Univ. Graz

Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A.

Mitt. Ges. Geo. Bergbaustud. Österr.

Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt.

Steir. Beitr. z. Hydrogeologie

## 12 Anhang

### 12.1 Aufarbeitung vorhandener Bohrungsinformationen

Die Abkürzung UD bezeichnet das untere Deckensystem („Rannach Decke“); OD das obere Deckensystem („Schöckl Decke“).

#### 12.1.1 Afling U1

##### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung (nicht fündig)

Jahr: 1976

Tiefe: 1.826 m (1.828,9 in Elster et al. 2016)

Status: liquidiert (verfüllt)

##### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum (OOA) / Kristallin (OOA)  
(siehe Tabelle 12-1)

Zitate: Elster et al. 2016; Götzl et al. 2007; Kröll & Heller, 1978

Tabelle 12-1: Präneogenes Basement in der Bohrung Afling U1.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt		1.826 (ET)	1.108		
Paläozoikum		1.700	982		
	Silur	Grünschiefer	1.067	Kehr Fm (OD) oder Taschen Fm (UD)	
	Devon	Kalk	1.629	Schöckl Formation (UD)	
	-	Marmor	1.700	71	
Kristallin	Granatglimmer-schiefer	1.826 (ET)	126		



## 12.1.2 Arnwiesen 1

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: RAG-Aufschlussbohrung (nicht fündig)

Jahr: 1984

Tiefe: 951 m

Status: liquidiert (verfüllt)

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum (siehe Tabelle 12-2)

Zitate: RAG, 1985

Kommentar: Die Zuordnung zum Grazer Paläozoikum lässt Fragen offen (siehe Kapitel 6.1.1)

Tabelle 12-2: Präneogenes Basement in der Bohrung Arnwiesen 1.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie		Basis (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt					
	Paläozoikum		951,7 (ET)	611,1 m	Arnwiesen Gruppe
	Oberdevon	Flaserkalk	409,0	68,4 m	Steinberg Formation (OD)?
	Obersilur- Unterdevon	graphitischer Tonschiefer	497,2	88,2 m	Vermutlich Schönberg Formation (UD) / bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
	Devon	Kalk-Dolomit	951,7	454,5 m	Schöckl Formation (UD) oder Flösserkogel Formation (OD)? / bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
Kristallin			-	-	

Kernfotos:



Abbildung 12-1. Arnwiesen 1, Kern 5 (349 - 353.5 m): Kalkstein der Steinberg Formation (OD)



Abbildung 12-2. Arnwiesen 1, Kern 6 (448 - 466 m): Karbonatische Tonschiefer. Möglicherweise Hahngraben Formation („Schiefer der Dult“, OD) oder Schönberg Formation (UD).



Abbildung 12-3. Arnwiesen 1, Kern 8 (947 - 951 m), Kiste 1 und 2: Dolomit. Vermutlich Flösserkogel Formation (OD). Alternative Zuordnung zur Schöckl Formation (UD).



Abbildung 12-4. Arnwiesen 1, Kern 8 (947 - 951 m): Dolomit. Vermutlich Flösserkogel Formation (OD). Alternative Zuordnung zur Schöckl Formation (UD).

### 12.1.3 Binderberg 1

#### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: RAG-Aufschlussbohrung (thermalwasserfündig)

Jahr: 1972

Tiefe: 1.727,7 m

Status: Im Besitz des Landes Steiermark und der umliegenden Gemeinden, Nutzung durch die Therme Loipersdorf.

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-3)

Zitate: RAG, 1972

Tabelle 12-3: Präneogenes Basement in der Bohrung Binderberg 1.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt					
	Paläozoikum	1.728,7 (ET)	83,3		
	---	1.728,7	83,3	Sausal Paläozoikum? Bzw. Blumau-Karbonat- Phyllit-Formation	
	Kristallin	-	-		

Kernfotos:



Abbildung 12-5. Binderberg 1, Kern 8 (1696 - 1701m), Kiste 1 bis 5: Kataklastisches Störungzonengestein sowie Phyllit



Abbildung 12-6. Binderberg 1, Kern 8 (1696 - 1701m): Kataklastisches Störungzonengestein.

### 12.1.4 Blumau 1/1a

Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: RAG-Aufschlussbohrung (nicht fündig)

Jahr: 1979

Tiefe: 3.046,3 m (2.929 m TVD)

Status: Nutzung als Reinjektionssonde für die geothermische Dublette Blumau (balneologisch, Produktionssonde Blumau 2/2a)

Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-4 und Tabelle 12-5)

Zitate: Goldbrunner & Eisner, 1997

Kommentar: Die hangenden Dolomite in Blumau 1a lassen sich am ehesten der Rannach Fazies (OD) zuordnen. Eine Zuordnung der liegenden Kalkphyllite sowie Dolomite mit Tonschieferlagen zu obertägig aufgeschlossenen Formationen ist nicht möglich, da keine Aufschlüsse solcher Gesteine bekannt sind.

Tabelle 12-4. Präneogenes Basement in der Bohrung Blumau 1 nach TVD.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt		1.908 (ET)	192		
	Paläozoikum				
	---	Grünschiefer, Chloritschiefer	1.908	192	Wollsdorfer-Metabasit-Fm
	Kristallin		-	-	

Tabelle 12-5: Präneogenes Basement in der Bohrung Blumau 1a nach TVD.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt					
	Paläozoikum (? Oberes Ordovici- um, Unterdevon)	2.929,0	366,0	Arnwiesen Gruppe & Blumauer-Pyhlit-Karbonat Fm	
	---	Dolomit	2.646,0	52,0	Rannach Fazies bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
		Phyllit Tonschiefer	2.751,5	32,0	
		Dolomit, Kalkstein	2.881,0	234,0	
		(Kalk)Phyllit	2.929,0	48,0	
	Kristallin	-	-	-	

Kernfotos:



Abbildung 12-7. Blumau 1, Kern 5 (1845 - 1852m): Grünschiefer. Möglicherweise Kehr Formation (OD) oder Sausal Paläozoikum.



Abbildung 12-8. Blumau 1a, Kern 8 (2666 - 2672 m): Dolomit



Abbildung 12-9. Blumau 1a, Kern 9 (2752 - 2757 m): „Dolomit mit Tonschieferlagen“ (Beschreibung nach Bohrprofil)



Abbildung 12-10. Blumau 1a, Kern 10 (2945 - 2949m): Tektonisiertes Gestein



## 12.1.5 Blumau 2

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: Thermalwasserbohrung

Jahr: 1995/96

Tiefe: 2.843 m

Status: Nutzung als Förderbohrung durch die geothermische Dublette Blumau (balneologisch, Reinjektionssonde Blumau 1/1a).

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-6)

Zitate: Goldbrunner et al. 1998

Tabelle 12-6: Präneogenes Basement in der Bohrung Blumau 2.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt					
	Paläozoikum	2.843(ET)	480,5	Arnwiesen Gruppe	
	---	Dolomit, Sandstein	2.630	267,5	Rannach-Fazies (OD) bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
		Kalk	2.843	213,0	
	Kristallin	-	-	-	

### 12.1.6 Frutura GT1/1a

Eckdaten:

Art/Zweck: Geothermiebohrung (Frutura GmbH)  
 Jahr: 2014  
 Tiefe: GT1: 3.256 m (TVD), 3.278,5 m (MD)  
 GT1a: 2.993 m (TVD), 3.000 m (MD)  
 Status: Nutzung zur Wärmeversorgung von Gewächshausanlagen in der geothermischen Dublette Frutura als Reinjektionssonde.

Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja  
 Art: Paläozoikum (siehe Tabelle 12-7 und Tabelle 12-8)  
 Zitate: Goldbrunner & Eisner, 2014

Tabelle 12-7: Präneogenes Basement in der Bohrung Frutura GT1.

Basement					
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie		Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt					
	Paläozoikum		3.278,5 (ET)	404,0	Arnwiesen Gruppe & Blumauer-Phy.-Kar.-Fm
	Devon	Dolomit, Sandstein	3.098,2	223,7	Rannach Fazies bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
		Kalk, Dolomit, Phyllit	3.278,5	180,3	Blumauer Phyllit-Karbonat Fm
	Kristallin		-	-	

Tabelle 12-8: Präneogenes Basement in der Bohrung Frutura GT1a.

Basement					
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie		Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt					
	Paläozoikum		3.000 (ET)	149,8 m	Arnwiesen Gruppe
	Devon	Dolomit	3.000 m	149,8 m	Rannach Fazies bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
		Kristallin	-	-	

## 12.1.7 Frutura GT2

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: Geothermiebohrung (Frutura GmbH)

Jahr: 2014

Tiefe: 3.188 m TVD (3.300 m MD)

Status: Nutzung zur Wärmeversorgung von Gewächshausanlagen in der geothermischen Dublette Frutura als Produktionssonde.

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-9)

Zitate: Goldbrunner & Eisner, 2014

Tabelle 12-9: Präneogenes Basement in der Bohrung Frutura GT2.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt					
	Paläozoikum	3.188 (ET)	451,5 m	Arnwiesen Gruppe	
	Devon	Dolomit	3.188	Rannach Fazies bzw. Südburgenländisches Paläozoikum	
	Kristallin	-	-		

### 12.1.8 Fürstenfeld 1 (FF1)

#### Eckdaten:

Alias: -  
Art/Zweck: Geothermiebohrung (fündig)  
Jahr: 1999  
Tiefe: 1.950 m  
Status: derzeit ungenutzt

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Nein  
Endet in: Badenium (Lagenidenzone)  
Zitate: Böchzelt & Goldbrunner, 2000

### 12.1.9 Fürstenfeld 2 (FF2)

#### Eckdaten:

Alias: -  
Art/Zweck: Geothermiebohrung (fündig)  
Jahr: 1999  
Tiefe: 1.800 m  
Status: derzeit ungenutzt

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Nein  
Endet in: Badenium (Lagenidenzone)  
Zitate: Böchzelt & Goldbrunner, 2000

## 12.1.10 Fürstenfeld Th 1

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: Geothermiebohrung

Jahr: 1984/85

Tiefe: 3.145 m

Status: derzeit ungenutzt

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-10)

Zitate: Goldbrunner & Zötl, 1985

Kommentar: Im Paläozoikum nicht wirtschaftlich fündig, heißwasserfündig im Badenium (Sandschalerzone).

Tabelle 12-10: Präneogenes Basement in der Bohrung Fürstenfeld Th 1.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie		Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt					
	Paläozoikum		3.145 (ET)	399,5	Arnwiesen Gruppe & Blumauer-Phyl.-Karb.-Fm
	? Oberes Ordovizium - Unterdevon	Dolomit, Dolomitsandstein, Kalk	3.085,5	340	Rannach Fazies bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
		Serizitschiefer, Tonschiefer, Karbonatschiefer	3.145	59,5	Blumauer Phyllit-Karbonat Fm
	Kristallin		-	-	

### 12.1.11 Gleisdorf Th 1

#### Eckdaten:

Alias: -  
Art/Zweck: Geothermiebohrung (fündig)  
Jahr: 1990  
Tiefe: 700 m  
Status: derzeit ungenutzt

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Nein  
Endet in: Badener Serie (Oberbaden – Unterbaden)  
Zitate: Eisner & Goldbrunner, 2001

### 12.1.12 Ilz Th 1

#### Eckdaten:

Alias: -  
Art/Zweck: Thermalwasserbohrung (fündig)  
Jahr: 1998  
Tiefe: 1.906 m  
Status: derzeit ungenutzt

Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-11)

Zitate: Eisner & Goldbrunner, 2000

Tabelle 12-11: Präneogenes Basement in der Bohrung Ilz Th 1.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt				
Paläozoikum		1.906 (ET)	441	Arnwiesen Gruppe
	Dolomit	1.906	441	Rannach-Fazies? (OD?)
Kristallin		-	-	

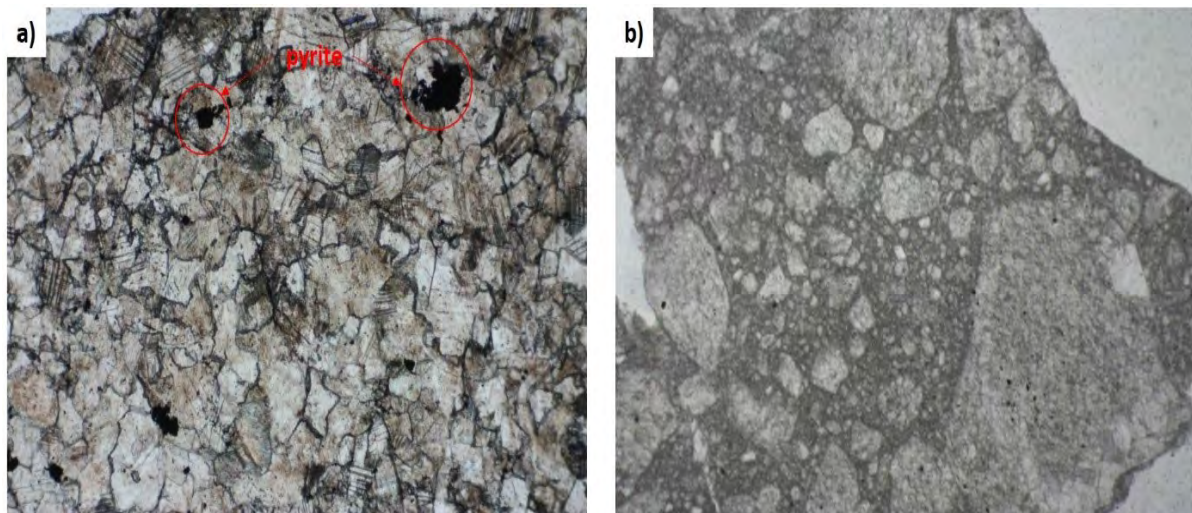


Abbildung 12-11. Ilz Th1 – Dünnschliffphotos von Dolomiten aus Spülproben / Tiefe von 1.635 m (Hasenburger 2016). links: Dolomite mit Pyrit; rechts: Breckie.

### 12.1.13 Köflach Th 1

Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: Thermalwasserbohrung (fündig)

Jahr: 1999

Tiefe: 1.039,7 m

Status: Nutzung durch die Therme NOVA Köflach.

Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-12)

Zitate: Eisner et al. 2000

Kommentar: Bei Extrapolation der liegenden Abschnitte der Bohrung Afling U1 unter Voraussetzung einer ähnlichen Mächtigkeit ist die Basis des Schöcklkalkes in der Bohrung Köflach Thermal 1 235 m unter Endteufe (entsprechend ca. 1.270 m) zu erwarten.

Tabelle 12-12: Präneogenes Basement in der Bohrung Köflach Th 1.

Basement					
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt					
Paläozoikum		1.039,7 (ET)	930,5		
	Kalk, Marmor	1.039,7	930,5	Schöcklkalk	
Kristallin		-	-		



### 12.1.14 Krottendorf 1

#### Eckdaten:

Alias: GKB 1  
 Art/Zweck: Kohlebohrung (Alpine Montan AG)  
 Jahr: 1951  
 Tiefe: 254 m  
 Status: liquidiert (verfüllt)

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja  
 Art: Koralmkristallin  
 (siehe Tabelle 12-13)  
 Zitate: Kollmann, 1964; Kröll, 1988; Ebner & Sachsenhofer 1991  
 Kommentar: Die Bohrung erreichte das Kristalline Basement, Paläozoische Gesteine wurden nicht angetroffen.

Tabelle 12-13: Präneogenes Basement in der Bohrung Krottendorf 1.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt		254,0 (ET)	30,2	
	Paläozoikum	-	-	
	Kristallin	Granatglimmerschiefer, Gneis	254,0 (ET)	30,2

### 12.1.15 Litzelsdorf 1

Eckdaten:

Alias: -  
 Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung (nicht fündig)  
 Jahr: 1974  
 Tiefe: 2.441,2 m  
 Status: Bohrloch konserviert

Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja  
 Art: Paläozoikum  
 (siehe Tabelle 12-13)  
 Zitate: OMV, 1975  
 Kommentar: Wegen Wasserfündigkeit in neogenen Horizonten wurde das Bohrloch für eine evt. spätere Verwendung konserviert.

Tabelle 12-14: Präneogenes Basement in der Bohrung Litzelsdorf 1.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt				
Paläozoikum		2.441,2 (ET)	198,2	
	Tonschiefer (phyllitisch)	2.441,2 (ET)	198,2	
Kristallin		-	-	

### 12.1.16 Ludersdorf 1

#### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung (gasfündig)

Jahr: 1982

Tiefe: 1.148 m

Status: liquidiert (verfüllt)

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum ?  
(siehe Tabelle 12-15)

Zitate: OMV, 1982; Ebner, 1988

Kommentar: Die an der Basis angetroffenen Grüngesteine sind nicht eindeutig dem Paläozoikum zuzuordnen. Laut Ebner, 1988 gehören diese möglicherweise dem vulkanogenen Basiskomplex des oststeirischen Beckenuntergrundes an.

Tabelle 12-15: Präneogenes Basement in der Bohrung Ludersdorf 1.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt					
	Paläozoikum ?	(ET)		Wollsdorfer Metabasit Fm	
	Grünschiefer	1.148	373	Kehr Formation (OD) oder Sausal Paläozoikum	
	Kristallin	-	-		

### 12.1.17 Ludersdorf 2

#### Eckdaten:

Alias: -  
Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung (gasfündig, unwirtschaftlich)  
Jahr: 1983  
Tiefe: 557,5 m  
Status: liquidiert (verfüllt)

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Nein  
Endet in: Badenium (Leithakalk)  
Zitate: OMV, 1983a

### 12.1.18 Ottendorf 1

#### Eckdaten:

Alias: -  
Art/Zweck: Thermalwasserbohrung (fündig)  
Jahr: 2002  
Tiefe: 970 m  
Status: derzeit ungenutzt

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Nein  
Endet in: Badenium (Sandschalerzone)  
Zitate: Eisner & Goldbrunner, 1998; Eisner & Goldbrunner 2003

## 12.1.19 Perbersdorf 1

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: KW-Forschungsbohrung

Jahr: 1953

Tiefe: 1.477 m

Status: liquidiert (verfüllt)

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-16)

Zitate: Hohenegger et al. 2009

Tabelle 12-16: Präneogenes Basement in der Bohrung Perbersdorf 1.

Basement					
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie		Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt					
	Paläozoikum		1.477 (ET)	7	
		Phyllit	1.477	7	Sausal Paläozoikum
	Kristallin		-	-	

## 12.1.20 Petersdorf 1

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: RAG-Aufschlussbohrung

Jahr: 1995

Tiefe: 3.084 m

Status: liquidiert (verfüllt)

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Unklar. Vermutlich nein.

Art: siehe Kommentar und Tabelle 12-17

Zitate: Hohenegger et al. 2009

Kommentar: In einer stratigraphischen Tabelle in Hohenegger et al. (2009) wird von 2901 – 3084 m paläozoischer, glimmerreicher Tonschiefer angegeben. Ein Bohrkern aus einer Tiefe von 3028 – 3031 m zeigt jedoch einen miozänen (?) Tuffit.

Tabelle 12-17: Präneogenes Basement in der Bohrung Petersdorf 1.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt				
	Paläozoikum	3.084 (ET)	183	
		3.084	183	Der stratigraphischen Tabelle aus Hohenegger et al. (2009) zufolge
	Miozäner (?) Tuffit	3028 – 3031	3	Bohrkern
	Kristallin	-	-	

Kernfotos:



Abbildung 12-12. Petersdorf 1, Kern 2 (3028 - 3031 m), Kiste 1 - 4: Miozäner (?) Tuffit.



Abbildung 12-13. Petersdorf 1, Kern 2 (3028 - 3031 m): Miozäner (?) Tuffit

## 12.1.21 Pichla 1

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung (nicht fündig)

Jahr: 1978

Tiefe: 1.817,7 m

Status: liquidiert (verfüllt)

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum / Kristallin  
(siehe Tabelle 12-17)

Zitate: OMV, 1979

Tabelle 12-18: Präneogenes Basement in der Bohrung Pichla 1.

Basement					
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt		1.817,7 (ET)	119,7		
	Paläozoikum		1.795,0	97,0	
		Phyllit	1.795,0	97,0	Sausal Paläozoikum
	Kristallin	Granatglimmer-schiefer	1.817,7 (ET)	22,7	



## 12.1.22 Pirka 1

### Eckdaten:

Alias: GKB 3  
 Art/Zweck: Kohlebohrung (Alpine Montan AG)  
 Jahr: 1951  
 Tiefe: 277,7 m  
 Status: liquidiert (verfüllt)

### Präneogenes Basement:

Erreicht: fraglich  
 Art: Paläozoikum oder Neogen ?  
 (siehe Tabelle 12-19)  
 Zitate: Flügel, 1983; Ebner & Sachsenhofer, 1991  
 Kommentar: Möglicherweise wurde nicht das anstehende Basement erreicht, sondern grobkörnige Neogene Ablagerungen bestehen aus paläozoischen Komponenten. Beim spärlich vorhandenen Kernmaterial handelt es sich um frühdiagenetische, bioklastische Dolomite der Flösserkogel Formation.

Tabelle 12-19: Präneogenes Basement (?) in der Bohrung Pirka 1.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt					
	Paläozoikum ? Neogen ?	(ET)			
	Kalk	277,7	22,5	Flösserkogel	Formation (OD)
	Kristallin	-	-		

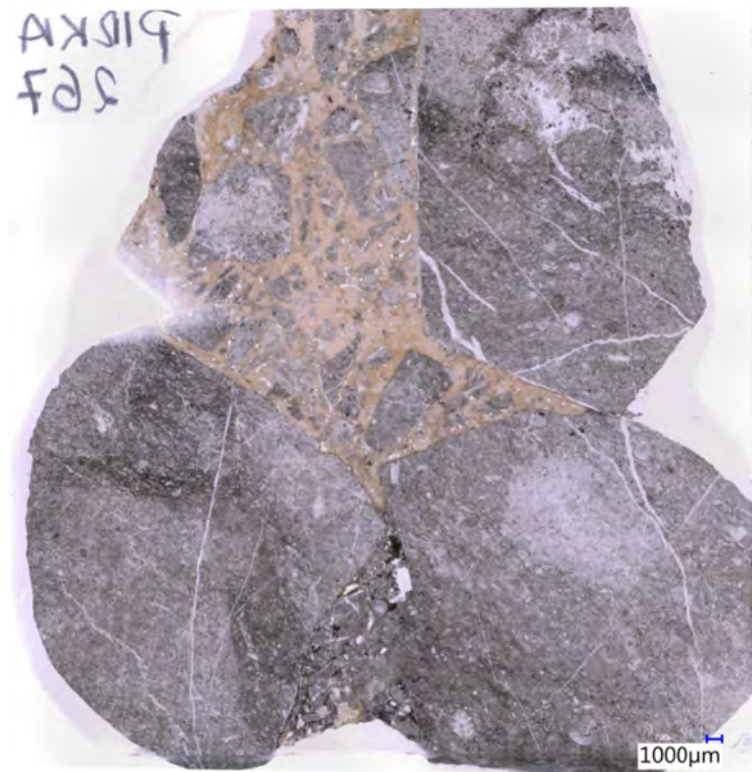


Abbildung 12-14. Pirka 1, Dünnschliff (ca 267 m Tiefe): Frühdiagenetischer Dolomit der Flösserkogel Formation.

### 12.1.23 Puntigam 1

#### Eckdaten:

Alias: Herrgottwiesquelle, Filterrohrbrunnen I  
Art/Zweck: Brunnenbohrung  
Jahr: 1968  
Tiefe: 204 m  
Status: Nutzung durch die Brauunion Österreich AG – Brauerei Puntigam.

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Nein  
Endet in: Badenium (Leithalkalk)  
Zitate: Rögl, 1975

## 12.1.24 Puntigam 2

### Eckdaten:

Alias: Filterrohrbrunnen II

Art/Zweck: Brunnenbohrung

Jahr: 1972

Tiefe: 269 m

Status: Nutzung durch die Brauunion Österreich AG – Brauerei Puntigam.

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-20)

Zitate: Rögl, 1975; Flügel 1975a

Kommentar: Die stratigraphische Zuordnung der angetroffenen Kalke ist unsicher, wird aber im Paläozoikum vermutet (Flügel 1975a)  
(auch in Hinblick auf die Bohrung Puntigam 3).

Tabelle 12-20: Präneogenes Basement (?) in der Bohrung Puntigam 2.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt				
	Paläozoikum	269 (ET)	17,5	
		269	17,5	Hellblaue bis weiße Kalke (evt. Schöckl- oder Kanzel-Kalk)
	Kristallin	-	-	

### 12.1.25 Puntigam 3

#### Eckdaten:

Alias: Tiefbrunnen 3  
 Art/Zweck: Brunnenbohrung  
 Jahr: 1997  
 Tiefe: 301,3 m  
 Status: Nutzung durch die Brauunion Österreich AG – Brauerei Puntigam.

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja  
 Art: Paläozoikum  
 (siehe Tabelle 12-21)  
 Zitate: Wasserrechtsbescheid Land Steiermark, 1998  
 Kommentar: Ein Schliff von Cuttings aus einer Tiefe von etwa 300 m zeigt fröhdiagenetischen, bioklastischen Dolomit der Flösserkogel Formation

Tabelle 12-21: Präneogenes Basement in der Bohrung Puntigam 3.

Basement					
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie		Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt					
	Paläozoikum		302 (ET)	80	
	Devon	Karbonat	302	80	Flösserkogel Formation (OD)
	Kristallin		-	-	

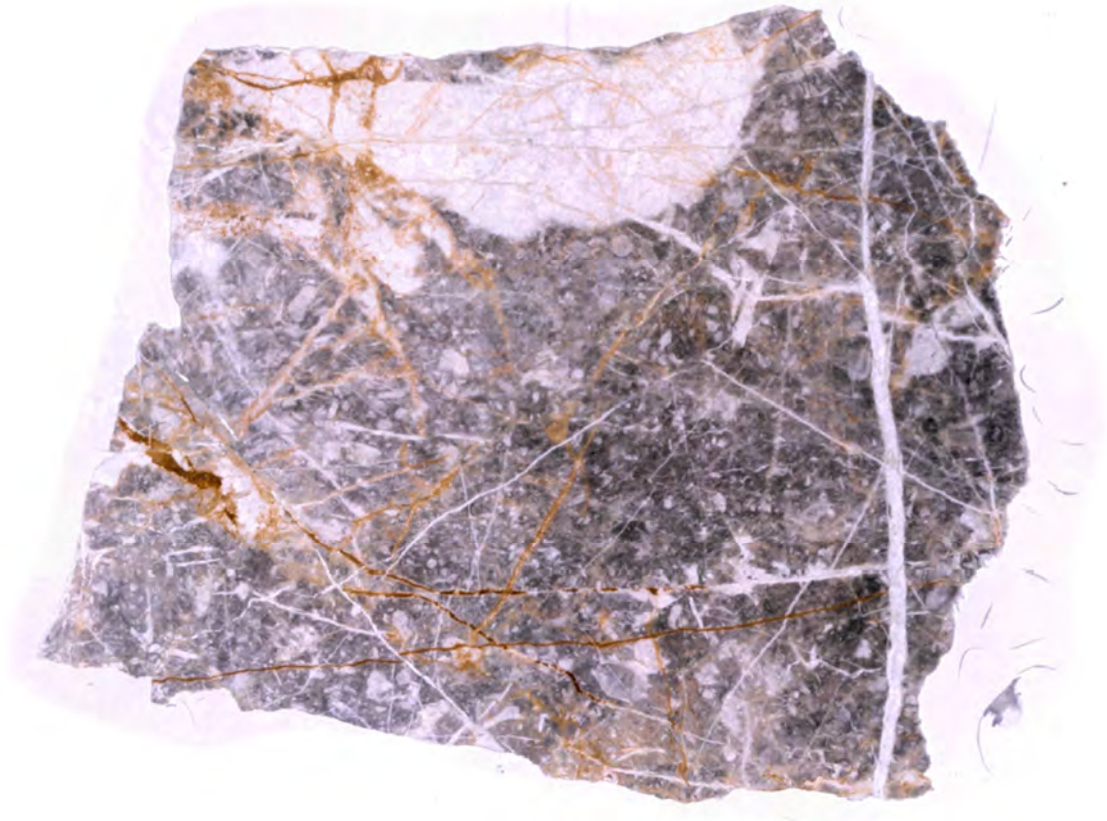


Abbildung 12-15. Puntigam 3, Dünnschliff (ca 300 m Tiefe): Frühdiagenetischer Dolomit der Flösserkogel Formation.

## 12.1.26 Radochen 1

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung (nicht fündig)

Jahr: 1981

Tiefe: 997,4 m

Status: liquidiert (verfüllt)

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-23)

Zitate: OMV, 1981

Tabelle 12-22: Präneogenes Basement in der Bohrung Radochen 1.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt				
Paläozoikum		997,4 (ET)	826,4	
	Tonschiefer	997,4 (ET)	826,4	
Kristallin		-	-	

## 12.1.27 St. Nikolai 1

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung (nicht fündig)

Jahr: 1978

Tiefe: 1.274 m

Status: liquidiert (verfüllt)

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-23)

Zitate: OMV, 1978

Kommentar: Im Hangenden des Basements wurden vulkanische Gesteine (Karpat) mit einer Mächtigkeit von 1.036 m erbohrt.

Tabelle 12-23: Präneogenes Basement in der Bohrung St. Nikolai 1.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt				
	Paläozoikum	1.278,4 (ET)	52,8	Sausal Paläozoikum
	Phyllit	1.278,4 (ET)	52,8	
	Kristallin	-	-	



## 12.1.28 St. Nikolai 2

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung

Jahr: ?

Tiefe: 1.360,7 m

Status: liquidiert (verfüllt)

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-24)

Zitate: Ebner & Sachsenhofer 1991; Elster et al. 2016

Tabelle 12-24: Präneogenes Basement in der Bohrung St. Nikolai 2.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt				
	Paläozoikum	1.360,7 (ET)	63,7	Sausal Paläozoikum
	Phyllit	1.360,7	63,7	
	Kristallin	-	-	

## 12.1.29 St. Peter 1

### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung (nicht fündig)

Jahr: 1978

Tiefe: 992,6 m

Status: liquidiert (verfüllt)

### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-25)

Zitate: OMV, 1979

Kommentar: Über dem Basement liegt 130 m mächtiger vulkanischer Tuff, darüber, vermischt mit Tonmergel, weitere Tuffite (348 m Mächtigkeit).

Tabelle 12-25: Präneogenes Basement in der Bohrung St. Peter 1.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt				
	Paläozoikum	992,6 (ET)	159,6	
	- Graphitphyllit, Dolomit	992,6	159,6	Sausal Paläozoikum?
	Kristallin	-	-	

### 12.1.30 Söding 1

#### Eckdaten:

Alias: GKB 2  
 Art/Zweck: Kohlebohrung (Alpine Montan AG)  
 Jahr: 1951  
 Tiefe: 736,5 m  
 Status: liquidiert (verfüllt)

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja  
 Art: Koralmkristallin (Austroalpines Kristallin)  
 (siehe Tabelle 12-26)  
 Zitate: Kollmann, 1964; Ebner & Sachsenhofer, 1991  
 Kommentar: Die Bohrung erreichte das Kristalline Basement, Paläozoische Gesteine wurden nicht angetroffen.

Tabelle 12-26: Präneogenes Basement in der Bohrung Söding 1.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt		736,5 (ET)	12,2	
	Paläozoikum	-	-	
	Kristallin	Gneis	736,5 (ET)	12,2

### 12.1.31 Stegersbach Th1

#### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: Thermalwasserbohrung

Jahr: 1989

Tiefe: 3.200 m

Status: Nutzung als Produktionssonde durch die Therme Stegersbach

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-28)

Zitate: Goldbrunner, 1989

Tabelle 12-27: Präneogenes Basement in der Bohrung Stegersbach Th1.

Basement					
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie		Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt					
	Paläozoikum		3.200,0 (ET)	123,0	
	Ordovicium - Devon	Phyllit	3.200,0 (ET)	123,0	Blumauer Phyllit-Karbonat Fm
	Kristallin		-	-	

### 12.1.32 Stegersbach Th2

#### Eckdaten:

Alias: -  
Art/Zweck: Thermalwasserbohrung  
Jahr: 1999  
Tiefe: 1.201 m  
Status: Nutzung als Produktionssonde durch die Therme Stegersbach

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Nein  
Endet in: Sarmat  
Zitate: Böchzelt & Goldbrunner, 2000

### 12.1.33 Übersbach 1

#### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: RAG-Aufschlussbohrung (nicht fündig)

Jahr: 1958/59

Tiefe: 2.692 m

Status: liquidiert (verfüllt)

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-28)

Zitate: RAG, 1960

Kommentar: Kollmann (1965) ordnet die Karbonate der Schöckl Formation zu. Hubmann und Ebner sahen nach Betrachtung des Bohrkernmaterials sowie eines Dünnschliffs Ähnlichkeiten mit Karbonaten der Schönberg Formation. Jegliche Zuordnung sollte aber aufgrund fehlender Fossilien oder anderer Charakteristika mit Vorsicht betrachtet werden.

Tabelle 12-28: Präneogenes Basement in der Bohrung Übersbach 1.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt					
	Paläozoikum	2.692,0 (ET)	36		
	Devon	Bänderkalk, Dolomitschiefer	2.692,0	36	Kollmann 1965: Schöckl Formation (UD). Evtl. auch Schönberg Formation (UD). Bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
	Kristallin		-	-	

Kernfotos:



Abbildung 12-16. Übersbach 1, Kern von 2666 - 2692 m: Kalkstein; teilweise mit feiner Bänderung. Das weiße Bruchstück ist eine calcitische Klufffüllung.



Abbildung 12-17. Übersbach 1, Kern von 2666 - 2692 m: Kalkstein mit feiner Bänderung.



Abbildung 12-18. Dünnschliff eines paläozoischen Dolomitschiefer aus der Bohrung Übersbach 1.



### 12.1.34 Walkersdorf 1

Eckdaten:

Alias: -  
 Art/Zweck: RAG-Aufschlussbohrung (nicht fündig)  
 Jahr: 1964  
 Tiefe: 2.143 m  
 Status: liquidiert (verfüllt)

Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja  
 Art: Paläozoikum  
 (siehe Tabelle 12-29)  
 Zitate: RAG, 1973; Eisner & Goldbrunner, 1998  
 Kommentar: Die Bohrung durchörterte in einer Tiefe von 1.046 m den karpatischen "Vulkanit von Ilz" (150 km<sup>2</sup> Ausdehnung) im Randbereich des Schildvulkans in seinem Verzahnungsbereich mit den Sedimenten (Wechselfolge von Vulkaniten und Sedimenten mit einer Mächtigkeit von 110 m).

Tabelle 12-29: Präneogenes Basement in der Bohrung Walkersdorf 1.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt					
	Paläozoikum	2.143 (ET)	54	Arnwiesen Gruppe	
	Dolomit	2.143	54	Rannach Fazies? (OD?) bzw. Südburgenländisches Paläozoikum	
	Kristallin	-	-		

Kernfotos:



Abbildung 12-19. Walkersdorf 1, Kern 14 (2125 - 2131 m), Kiste 3 und 4: Dolomitbrekzie



Abbildung 12-20: Walkersdorf 1, Kern 14 (2125 - 2131 m): Dolomitbrekzie

### 12.1.35 Waltersdorf 1

Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: RAG-Aufschlussbohrung (thermalwasserfündig)

Jahr: 1975

Tiefe: 1.553 m

Status: Nutzung durch die Heiltherme Bad Waltersdorf

Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum / Kristallin  
(siehe Tabelle 12-30)

Zitate: RAG, 1976; Ebner, 1978b

Tabelle 12-30: Präneogenes Basement in der Bohrung Waltersdorf 1.

Basement					
Ära / Periode / Epoche / ...		Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt			1.551,8 (ET)	457,8	
Paläozoikum			1.514,5	420,5	Arnwiesen Gruppe/ Blumauer-Phyl.-Karb.-Fm
	Unter-Mitteldevon	Dolomit, kalkiger Dolomit	1.239,0	145	Rannach Fazies (OD) bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
	? Ob. Ordovicium - Unterdevon	Phyllit, Diabas	1.514,5	275,5	Kehr Formation (OD) oder Sausal Paläozoikum bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
Kristallin		Marmor, Granatgneis, Amphibolit	1.551,8 (ET)	37,3	Kristallin der Raabalpen

Kernfotos:



Abbildung 12-21. Waltersdorf 1 Kern 8 (1168 - 1170.5 m): Dolomit



Abbildung 12-22. Waltersdorf 1, Kern 10 (1247 - 1254 m): Kalkphyllit

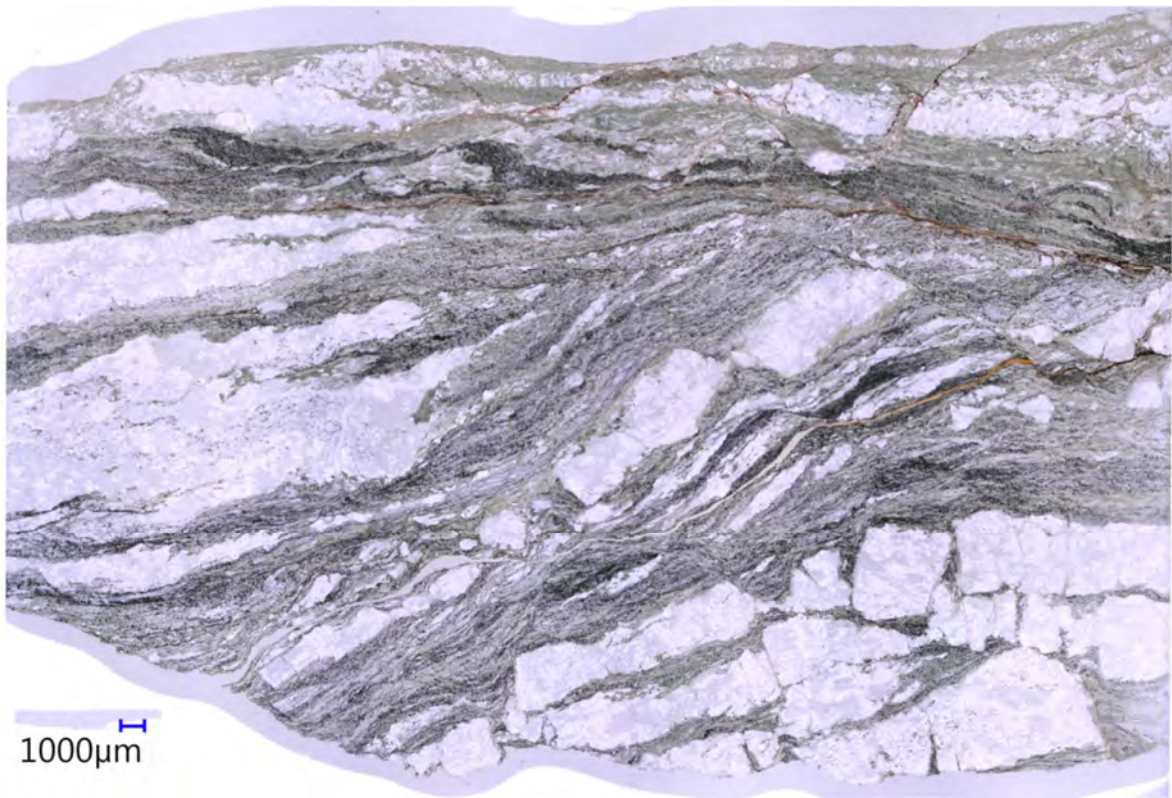


Abbildung 12-23. Dünnschliff des Kalkphyllits von Kern 10 (1247 - 1254 m) der Bohrung Waltersdorf 1.



Abbildung 12-24. Waltersdorf 1, Kern 11 (1303 - 1309 m): Grünschiefer

### 12.1.36 Waltersdorf 2/2a

#### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: Thermalwasserbohrung (fündig)

Jahr: 1990

Tiefe: 1.420,8 m

Status: Nutzung durch die Heiltherme Bad Waltersdorf

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum  
(siehe Tabelle 12-31)

Zitate: Goldbrunner, 1991

Tabelle 12-31: Präneogenes Basement in der Bohrung Waltersdorf 2/2a.

Basement					
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie		Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt					
	Paläozoikum		1.420,8 (ET)	268,6	Arnwiesen Gruppe & Blumauer-Phyl.-Karb-Fm.
	Unterdevon	Dolomit	1.310,2	158,0	Rannach Fazies (OD) bzw. Südburgenländisches Paläozoikum
		Phyllit	1420,8 (ET)	110,6	Blumauer Phyllit-Karbonat Formation
	Kristallin		-	-	

### 12.1.37 Waltersdorf 4

#### Eckdaten:

Alias: -  
Art/Zweck: Thermalwasserbohrung (fündig)  
Jahr: 2002  
Tiefe: 1.061 m  
Status: Nutzung durch die Heiltherme Bad Waltersdorf

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Nein  
Endet in: Badenium (Obere Lagenidenzone)  
Zitate: Eisner & Goldbrunner, 2003

### 12.1.38 Wiersdorf 1

#### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung (nicht fündig)

Jahr: 1978

Tiefe: 1.939 m

Status: liquidiert (verfüllt)

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum / Kristallin  
(siehe Tabelle 12-32)

Zitate: OMV, 1979

Kommentar: In dieser Bohrung wurden im Hangenden des Basements 1.062 m mächtige Gesteine des Vulkanmassiv von Laudorf (Karpat) durchörtert.

Tabelle 12-32: Präneogenes Basement in der Bohrung Wiersdorf 1.

Basement				
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung
gesamt		1.939 (ET)	147	
	Paläozoikum		1.808	
	-	Phyllit	1.808	Sausal Paläozoikum
	Kristallin	Granatglimmerschiefer	1.939 (ET)	131



### 12.1.39 Wollsdorf 1

#### Eckdaten:

Alias: -

Art/Zweck: OMV-Aufschlussbohrung (gasfündig, unwirtschaftlich)

Jahr: 1983

Tiefe: 800 m

Status: liquidiert (verfüllt)

#### Präneogenes Basement:

Erreicht: Ja

Art: Paläozoikum ?  
(siehe Tabelle 12-33)

Zitate: OMV, 1983b; Ebner, 1988

Kommentar: Die an der Basis angetroffenen Grüngesteine sind nicht eindeutig dem Paläozoikum zuzuordnen. Laut Ebner, 1988 gehören diese möglicherweise dem vulkanogenen Basiskomplex des oststeirischen Beckenuntergrundes an.

Tabelle 12-33: Präneogenes Basement in der Bohrung Wollsdorf 1.

		Basement			
Ära / Periode / Epoche / ...	Lithologie	Basis bzw. err. Teufe (m u. GOK)	Mächtigkeit (m)	Anmerkung	
gesamt					
	Paläozoikum ?	800,0 (ET)	232		
	Grünschiefer, Chloritphyllit	800,0	232	Kehr Formation (OD) oder Sausal Paläozoikum. / Wollsdorfer Metabasit Fm	
	Kristallin	-	-		



**GEOPHYSICAL SERVICES**  
RESEARCH & DEVELOPMENT



**Geoteam**

Technisches Büro für Hydrogeologie, Geothermie und Umwelt Ges.m.b.H.

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