



MASTERARBEIT/MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

„Gipskarst in Niederösterreich – Verbreitung und Formen“

verfasst von / submitted by

Irene Winkler, BSc

angestrebter akademischer Grad/in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc)

Wien, 2019 / Vienna, 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt / degree programme code as it appears on the student record sheet: A 066 855

Studienrichtung lt. Studienblatt / degree programme code as it appears on the student record sheet: Masterstudium Geographie

Betreut von / Supervisor: PD Dr. Martin Mergili

Mitbetreut von / Co-Supervisor: Mag. Dr. Lukas Plan

Inhaltsverzeichnis

1.	EINLEITUNG	1
2.	FORSCHUNGSZIEL (FORSCHUNGSFRAGEN & HYPOTHESEN)	3
3.	GESCHICHTE UND STAND DER KARSTFORSCHUNG	5
3.1	Karst	6
3.2	Entstehung von Evaporiten	6
3.3	Löslichkeit von Evaporiten	8
3.4	Oberflächenformen im Karst	11
3.4.1	Karren.....	11
3.4.2	Dolinen.....	11
3.5	Entstehung der Oberflächenformen im Gips	12
3.5.1	Unbedeckter Gipskarst	13
3.5.2	Bedeckter Gipskarst	13
3.6	Hydrologie und Höhlenbildung in Sulfatgesteinen	14
3.7	Mensch als formbildender Faktor	14
3.8	Stratigraphische Eingliederung der Gipsvorkommen in Österreich	15
3.9	Ostalpen	16
3.9.1	Oberostalpin (der Nördlichen Kalkalpen)	17
3.9.2	Unteralpin	20
4.	METHODIK	21
4.1	Datengrundlage	21
4.2	Datenerhebung im Gelände	22
4.3	GIS-basierte Analyse von Geodaten	24
4.4	GIS-basierte Analyse von Karstformen	26
4.5	Geländekartierung	27
4.6	Messung der elektrischen Leitfähigkeit und Probenahme	29

4.7	Laboranalytik	31
5.	ERGEBNISSE	33
5.1	Räumliche und zeitliche Eingliederung der Gipsvorkommen in Niederösterreich	33
5.2	Oberflächenformen im Niederösterreichischen Gipskarst.....	43
5.3	Unterschiede zwischen Gips- und Karbonatkarst.....	77
6.	DISKUSSION	81
6.1	Verbreitung der Gipsvorkommen in Niederösterreich.....	81
6.2	Oberflächenformen im Gipskarst von Niederösterreich.....	85
6.3	Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Gips- und Karbonatkarst	95
6.4	Gefahren in Gipskarstlandschaften	97
7.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	99
8.	LITERATURVERZEICHNIS	101

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schema der Evaporitabfolge (nach BÖGL 1986: 84).	7
Abb. 2: Lösungsversuch von Gips und Anhydrit (PAVUZA 2019).....	9
Abb. 3: Sättigungsgehalt von Gips und Anhydrit (Vergleich mit STRANZL 2007)- (PAVUZA 2019)	10
Abb. 4: Die sechs Haupttypen von Dolinen (nach FORD und WILLIAMS 2007: 341)	12
Abb. 5: Oberflächliche Lösungsformen im bedeckten und unbedeckten Gipskarst (nach HERMANN 1966: 106)	13
Abb. 6: Querschnitt der NKA (LEITNER und SPÖTL 2017:471).....	18
Abb. 7: Screenshot aus LocusGIS in der Kartieransicht	23
Abb. 8: Flächenhafte Ausdehnung von Sulfatkarst im Süden Niederösterreichs ©Irene Winkler. Hintergrund: 10-m-DGM (kagis), pink= Gipsvorkommen der geologischen Karte, grün= Gipsvorkommen aus dem Bergbaukataster (GBA).	25
Abb. 9: Gipskarstgebiet bei Annaberg (Reidlhütte) ©Irene Winkler ...a) Schummerungskarte 1-m- DGM (nögis). b) Hintergrundkarten (Schummerungs- und Hangneigungskarte mit überlagerter ÖK50), pinke Polylinien stellen 1-m-Höhenschichtlinien (NÖ-Karst) innerhalb von geschlossenen Hohlformen dar.	26

Abb. 10: Gipskarstverbreitung bei Annaberg ©Irene Winkler, Hintergrundkarte: Schummerungskarte 1-m-DGM (nögis), violett: Gipsvorkommen der GK, grün: Gipsbergbaue (GBA), pink: sink contours (NÖ-Karst), gelber Punkt: potentielle Gipskarsterscheinungen, die überprüft werden sollen.	28
Abb. 11: Überblick der Standorte von den Wasserproben ©Irene Winkler. Hintergrundkarten: 10-m-DGM (kagis) und geologische Karte (WEBER 1997), blaue Punktsignatur= Wasserprobe.	30
Abb. 12: Gipsvorkommen in Niederösterreich ©Irene Winkler, Hintergrundkarte: GK (WEBER 1997) mit dem 10-m DGM (kagis), Gipsvorkommen nach dem Ursprung der Information über Gipsvorkommen (orange= Gipsbergbau, pink= Gips GK (GBA), grün= Gips kartiert).	35
Abb. 13: Haselgebirgsvorkommen entlang der Deckengrenzen ©Irene Winkler, Hintergrundkarte: GK (WEBER 1997) mit dem 10-DGM (kagis), Gipsvorkommen nach dem Ursprung der Information über Gipsvorkommen (orange= Gipsbergbau, pink= Gips (Haselgebirge)(GBA), Linien= Deckengrenzen (WEBER 1997).....	36
Abb. 14: Sulfatgehalt (ELF) und Seehöhe von Quellen (PAVUZA 2019).....	37
Abb. 15: ELF der gemessenen Quellen ©Irene Winkler, Hintergrundkarte: GK (WEBER 1997) mit dem 10-m DGM (kagis).....	38
Abb. 16: Erdfälle in Hinterbrühl (links: zwei kleine Löcher im Asphalt, rechts: zuerst verfüllter und wieder offengelegter Erdfall ©Irene Winkler.....	44
Abb. 17: Gipsdoline bei Füllenberg ©Irene Winkler.....	45
Abb. 18: Gipsbergbau bei Puchberg/Schneeberg ©Irene Winkler.....	46
Abb. 19: wellige Wiese beim Schneidergraben/Schneeberg ©Irene Winkler.....	47
Abb. 20: Gipskarstmorphologische Karte vom Schneeberggebiet ©Irene Winkler, Schummerungs- und Hangneigungskarte des 1-m-DGM (nögis).....	49
Abb. 21: trübe hochmineralisierte Quelle beim Ötscher ©Irene Winkler.....	50
Abb. 22: Gipskarstmorphologische Karte vom Ötschergebiet ©Irene Winkler, Schummerungs- und Hangneigungskarte des 1-m-DGM (nögis).....	53
Abb. 23: anstehender Gips in einer Einsturzdoline (links: Lösungsformen und Höhleneingang, rechts: grauer Gips) ©Irene Winkler	55
Abb. 24: Doline Annaberg ©Irene Winkler	56
Abb. 25: Dolinen am Westhang des Ahornberges ©Irene Winkler.....	57
Abb. 26: Gipskarstmorphologische Karte von Annaberg ©Irene Winkler, Schummerungs- und Hangneigungskarte des 1-m-DGM (nögis)	58
Abb. 27: Hohlformen bei Grub (Blickrichtung W) ©Irene Winkler	59
Abb. 28: Dolinen einer Weide beim Salriegl ©Irene Winkler	60
Abb. 29: Gipskarstmorphologische Karte von Göstling ©Irene Winkler, Schummerungs- und Hangneigungskarte des 1-m-DGM (nögis)	61
Abb. 30: Doline im Wald bei Vorderleiten ©Irene Winkler.....	62
Abb. 31: 6 m große Doline hinter dem Bauernhaus bei Furthenreith ©Irene Winkler.....	63
Abb. 32: Gipskarstmorphologische Karte von Opponitz ©Irene Winkler, Schummerungs- und Hangneigungskarte des 1-m-DGM (nögis)	64
Abb. 33: Pinge im Bereich des Katharinalagers ©Irene Winkler.....	65
Abb. 34: Plan der Schrattensteinhöhle (HERRMANN und HÄUSLER 1987).....	68

Abb. 35: Plan der Trübenbach- und Froschhöhle (MAYER et al. 1963)	70
Abb. 36: Aktueller Plan der Froschhöhle (MACHE et al. 1996)	71
Abb. 37: Plan der Kohlerhöhle (KÖRNER et al. 1985)	72
Abb. 38: Plan Gipshöhlenruine (HARTMANN et al. 1980)	73
Abb. 39: Plan Erdfall Schneebergdörfel (HÖLLERER 1958)	74
Abb. 40: Sulfatabtrag im Untergrund mit der Schüttung der Quelle (PAVUZA 2019)	75
Abb. 41: Höhenverteilung der Gipsdolinen in Niederösterreich	77
Abb. 42: a) frischer Erdfall und b) Doline im Gipskarst bei Annaberg © Irene Winkler, c) und d) Dolinen im Karbonatkarst auf der Rax ©Lukas Plan	79
Abb. 43: Dolinen mit 50 m Durchmesser im Gips- und im Karbonatkarst (Schneeberg) ©Irene Winkler. 1-m-DGM (nögis), sink contours (NÖ-Karst).....	80
Abb. 44: Gipskarstmorphologische Karte (FINK 1999).....	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Löslichkeit von Evaporiten in reinem Wasser bei 18°C (nach ZEPP 2017: 91)	8
Tabelle 2 : Löslichkeit von Gips und Anhydrit (STRANZL 2007) umgerechnet in mg/l.....	8
Tabelle 3: direkt und indirekt anthropogen geschaffene Landschaftsformen in Gipskarstgebieten (nach ZEPP 2017: 301).....	15
Tabelle 4: Datengrundlage	22
Tabelle 5: Übersicht der Gipskarstgebiete in NÖ	24
Tabelle 6: Übersicht der Methoden zur Bestimmung der Ionenkonzentration in den Wasserproben	31
Tabelle 7: Gipsvorkommen- und Lagerstätten in Niederösterreich (nach WESSELY 2006: 293f.).	34
Tabelle 8: Gesamtmineralisation der Wasserproben ©Irene Winkler.....	38

Ich versichere:

- dass ich die Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Publikationen entnommen sind, als solche kenntlich gemacht sind.
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift

Kurzfassung

Gips kommt in den Ostalpen in unterschiedlichen tektonischen Schichtgliedern vor, wobei die räumliche Ausdehnung nur sehr begrenzt ist. Die wichtigsten Gipsvorkommen in Niederösterreich findet man in den Nördlichen Kalkalpen (Teil des Oberostalpins) im permischen Haselgebirge, in der untertriasischen Werfen Fm. und kleinräumig in der Obertrias der Opponitz Fm. Der niedriggradig metamorphe „Bunte Keuper“ (Obertrias) des Unterostalpins im Semmeringgebiet beinhaltet ebenfalls Gips.

Ziel dieser Arbeit ist es, (i) die räumliche Verbreitung der Gipsvorkommen in Niederösterreich, (ii) die oberflächliche Karstmorphologie und (iii) die Unterschiede von Gips- und Karbonatkarst auszumachen. Die Standorte für die Geländekartierung wurden mittels geologischen Karten, Bergbauregister und einem digitalen Geländemodell analysiert. Die Geländearbeit bestand zum einen aus einer geomorphologischen Kartierung und der Messung der elektrischen Leitfähigkeit (0,6 bis 2,7 mS/cm) in Quellen und Gerinnen. Weiters wurden 15 Wasserproben genommen und im Labor auf den Sulfatgehalt getestet (bis zu 1,3 g/l SO₄), um auf gelösten Gips im Untergrund schließen zu können.

Aufgrund der stratigraphischen Stellung, der Gesteinseigenschaften von Gips und den umlagernden Ton- und Sandsteinen, findet man den äußerst erosionsanfälligen Gips vor allem in Tälern und an steilen Hängen alpiner Gebiete in Niederösterreich. Die dominanteste Geländeform im Gipskarst sind Dolinen, deren Morphologie meist auffallend rund und trichterförmig ist. Das Besondere an Gipsdolinien ist, dass sie sich in Steilhängen ausbilden und mehrere Zehner Meter Durchmesser erreichen können. Dolinen ähnlicher Größe im Karbonatkarst Niederösterreichs sind weitestgehend auf die Altflächen der Karstplateaus beschränkt und weisen eine weniger runde, abgegrenzte Form auf. Weiters wurden im Gipskarst einige Ponordolinien kartiert, die in Grenzbereichen von Gips und nicht verkarstungsfähigen Gesteinen ausgebildet werden. Aufgrund der Lage der Gipskörper in Steilhängen, treten die Lösungserscheinungen oft zusammen mit Massenbewegungen auf. Diese verändern die Form der Dolinen so dass es

oft nicht leicht ist auszumachen, ob die Depression auf Lösung oder auf eine Rutschung zurückzuführen ist. Natürliche Gipsaufschlüsse sind in Niederösterreich sehr selten, weshalb kaum Karrenformen zu finden sind. Unter den knapp über 4000 Höhlen in Niederösterreich werden lediglich sechs mit Gipslösung in Verbindung gebracht. Diese Höhlen sind alle relativ klein, instabil und verändern ihre Form und Größe recht schnell.

Gips ist als Rohstoff sehr gefragt und wurde in Niederösterreich vielerorts in kleinen Bergwerken abgebaut. Heute ist davon lediglich eines noch intakt (Puchberg am Schneeberg). In den Abbaugeländen (Untertagsbau) ist das Gelände mit einer Vielzahl an Pingen übersät. Das Gefahrenpotential, das Gipslösung im Untergrund mit sich bringt, und die Schäden, die in der Infrastruktur entstehen können, sind kaum jemanden bekannt. Die schnelle Lösung des Gesteins wird durch anthropogen eingebrachte Wässer, wie beim Ausleeren von Swimming Pools, beschleunigt und die Hohlraumbildung wird begünstigt. Beim Verbruch der Hohlräume entstehen Senken an der Oberfläche, die erhebliche Schäden verursachen können und durch bauliche Maßnahmen verschlossen werden müssen.

Abstract

In the Eastern Alps gypsum occurs in a number of tectonic units but is only distributed locally, in rather small patches. The most important evaporitic units in Lower Austria lie within the Northern Calcareous Alps (NCA; part of the Upper Austroalpine) in the Upper Permian Haselgebirge Formation, the Lower Triassic Werfen Fm., and to a smaller extent in the Upper Triassic Opponitz Fm. The low grade metamorphic stratigraphic sequence of the Lower Austroalpine Semmering area also contains evaporites („Bunter Keuper“; Upper Triassic).

However, in detail (i) the spatial distribution, (ii) the surface morphology and (iii) to distinguish between the differences in morphology and distribution from gypsum karst to carbonate karst. This study aims to shed light on these aspects. Based on geological maps, the mining register, and field studies including morphologic mapping occurrences of gypsum are located. In addition, water analysis concerning enhanced electric conductivity (0.6 to 2.7 mS/cm) and sulphate content (up to 1.3 g/l SO₄) are utilised to testify dissolved gypsum.

Due to the stratigraphic position and the fact that the comparatively soft gypsum and associated silt- and sandstones are prone to erosion, most gypsum occurs on mountain slopes and in valleys. The most common landforms of gypsum karst in Lower Austria are dolines. Most of them are particularly round and funnel shaped, develop on steep slopes, and can reach diameters of several tens of metres. In limestone, dolines of these sizes only occur on elevated karst plateaus but rarely show round outlines. Some of the dolines in gypsum karst, especially at the contact with non-karstic rock, act as ponors and show an asymmetric shape. Due to the location on steep slopes and the high solubility, subsurface gypsum bodies are often associated with landslides and it is often hard to distinguish the dominant process for the development of depressions (i.e. dissolution or landslide). The interplay of both processes results in asymmetrically shaped dolines. Natural outcrops of gypsum are rare but in most cases at least small karren features were detected. Among ca.

4000 registered caves in Lower Austria, only six are related to gypsum dissolution. They are relatively small, unstable and change their shape quite rapidly.

There were numerous smaller and bigger gypsum mines and quarries but only one of them is still active. As a result of mining, artificially induced sinkholes above mines have developed and are hard to distinguish from natural ones. Despite its high importance as a natural resource, gypsum can cause hazards to infrastructure. The constant and rapid dissolution by natural or human induced water (mining waters, emptying of swimming pools etc.) can cause fast-developing cavities and subsequently collapse features. In some regions reports of fresh sinkholes are frequent and sometimes infrastructure is damaged. In these areas special protective measures are necessary for construction sites etc.

Danksagung

Ich möchte mich in erster Linie bei meinen beiden Betreuern Dr. Martin Mergili (Institut für Geographie und Regionalforschung – Universität Wien, Institut für Angewandte Geologie – BOKU) und Dr. Lukas Plan (Karst und Höhlenarbeitsgruppe am NHM-Wien) für die kompetente, geduldige und freundliche Betreuung während meiner Masterarbeit bedanken. Sie haben mir beide bei jeglichen Fragen und Problemstellungen zur Seite gestanden und mit ihrer fachlichen Kompetenz, sowie wissenschaftlicher Erfahrung ausgeholfen.

Einen besonderen Dank möchte ich noch Dr. Lukas Plan aussprechen, der es mir ermöglicht hat an dem Projekt NÖ-Karst mitzuarbeiten und mir durch das FEM-Tech Praktikum eine finanzielle Unterstützung sicherte.

An dieser Stelle möchte ich mich auch herzlich bei Dr. Rudolf Pavuza (Karst und Höhlenarbeitsgruppe am NHM-Wien) für die Hilfe bei den Laboranalysen, etlichen diskussionsreichen Stunden, sowie fachlicher Nachhilfe bedanken.

Ein großes Dankeschön geht an meinen Freund, Alexander Schwaighofer, der sehr viel Geduld und Verständnis während meiner Masterarbeit aufbrachte und mir einige Tage im Gelände motiviert zur Seite stand.

Danke auch an meinen lieben Studienkollegen Martin Hampl, der in der stressigsten Zeit mein „Leidenspartner“ war und meine Studienzeit bereichert hat.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meiner Familie bedanken, die während meiner gesamten Studienzeit für mich da war und mich in meinen Vorhaben unterstützte.

1. EINLEITUNG

Das Besondere an Karstlandschaften ist die einzigartige ober- und unterirdische Geomorphologie, die durch die charakteristischen hydrologischen Eigenschaften der Karstgesteine entsteht (FORD und WILLIAMS 2007: 1).

„Es ist in der Geomorphologie nicht üblich, bei einem einzigen formenbildenden Prozess, der auf verschiedene Gesteine wirksam ist, für jedes dieser Gesteine eine andere Nomenklatur zu verwenden. Was den Geomorphologen beim Verkarstungsprozess interessiert, ist die Gesteinslösung und ihr geomorphologischer Effekt, d.h. letztlich der Übergang festen Gesteins in den gelösten Zustand und seine Fortführung in flüssiger Phase“ (PRIESNITZ 1968: 431).

Die leicht löslichen Karstgesteine bilden an der Oberfläche geschlossene Hohlformen, sowie lineare Lösungsformen aus und im Untergrund entstehen entlang diverser Trennflächen oft kilometerlange Höhlengänge.

In Karstgebieten ist es üblich, dass der oberflächliche Abfluss fehlt, da das Wasser in das zerklüftete Gestein eindringen kann und seinen Weg in ausgeprägten Höhlensystemen fortsetzt, bis es schließlich als große Quelle wieder zutage tritt (FORD und WILLIAMS 2007: 1).

Das Hauptaugenmerk der Karstforschung widmet sich dem Themengebiet des Karbonatkarsts, da dieser am weitesten an der Erdoberfläche verbreitet ist und zudem eine große Rolle in der globalen Trinkwasserversorgung (20-25% der Weltbevölkerung) einnimmt (FORD und WILLIAMS 2007: 1). Evaporite, wie Gips und Steinsalz, sind aufgrund ihrer hohen Löslichkeit seltener an der Erdoberfläche zu finden und deswegen wurde ihnen in der Karstforschung auch ein geringerer Stellenwert zugewiesen. Der Aufschwung der Evaporitkarstforschung kam in den 1970er Jahren, da man erkannte, dass Evaporite, die anderen Sedimentschichten unterlagert sind, großflächige Karsterscheinungen an der Oberfläche erzeugen können. Der Eingriff des Menschen in das natürliche Karstsystem und das Ausbeuten wichtiger Ressourcen macht Karstgebiete zu schützenswerten Gebieten. Evaporitkarst ist besonders gefährdet, da Gips ein wichtiger

Rohstoff ist (GUNN 2004: 344) und es durch die kontinuierliche Auslaugung von Gips im Untergrund, durch Oberflächenwässer oder anthropogen eingebrachte Wässer, zur Hohlraumbildung kommt. Bei Verbruch dieser Hohlräume entstehen Senken an der Oberfläche, was vor allem in Siedlungsgebieten ein hohes Risikopotential mit sich bringt (POSCH-TRÖZMÜLLER et al. 2017: 42).

In Österreich machte Hubert TRIMMEL (1978) auf die Problematik der Karstgefährdung, die durch das Eingreifen des Menschen in die Landschaftsökologie, aber vor allem durch die (wirtschaftliche) Nutzung der unterirdischen Wässer, aufmerksam. Das Karstgebiete schützenswerte Gebiete sind, war schon früh bekannt, aber um auch die Öffentlichkeit darauf aufmerksam zu machen wurde das Projekt der Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten im Maßstab 1:50.000 vom Verband Österreichischer Höhlenforscher ins Leben gerufen. Die Karten sollen dem Bund, Land oder Gemeinden bei raumplanerischen Vorhaben dienen und eine Entscheidungshilfe darstellen.

Im heutigen digitalen Zeitalter ist es von großem Interesse, alle möglichen Daten und Informationen auch in digitaler Form vorzufinden. Aus diesem Grund wurde 2016 das NÖ-Karst-Projekt von Dr. Lukas PLAN (Karst und Höhlenarbeitsgruppe des Naturhistorischen Museum Wien) ins Leben gerufen, wo versucht wird eine einheitliche und flächendeckende digitale karstmorphologische Karte von Niederösterreich zu erstellen. In Niederösterreich sind für die Ausbildung von Karstformen vor allem Karbonatgesteine der Trias relevant. Die Gipsvorkommen in den Nördlichen Kalkalpen (NKA) sind nur sehr kleinräumig verbreitet und ihnen wurde bisher als Karstphänomen nur relativ wenig Beachtung geschenkt.

Gips wurde in Niederösterreich vielerorts als Rohstoff gewonnen, aber dass durch die schnelle Verkarstungsfähigkeit ein großes Gefahrenpotential ausgeht, ist kaum bekannt. Die Gipsgesteine sind relativ gut wasserlöslich, was die Hohlraumbildung im Untergrund begünstigt und sehr rasch Wasserwegigkeiten bildet (PLAN 2016). Diese Aspekte und die Relevanz der Kenntnis über die Gipsverbreitung in Niederösterreich dienen als Motivation für die vorliegende Arbeit.

2. FORSCHUNGSZIEL (FORSCHUNGSFRAGEN & HYPOTHESEN)

Ziel dieser Masterarbeit ist es, im Zuge des Projekts NÖ-Karst, alle Gipsvorkommen in Niederösterreich ausfindig zu machen und die Karstformen durch Geländebegehungen zu kartieren und in ein Geographisches Informationssystem (GIS) zu integrieren.

Fragestellung und Hypothesen 1:

- Wo ist Gipskarst in Niederösterreich zu finden? In welchen stratigraphischen Einheiten ist Gips zu finden?
 - Das Gipsvorkommen ist an tektonische Abscherhorizonte (detachments) gebunden.
 - Die Gipsvorkommen in Niederösterreich sind vorwiegend an das Haselgebirge gebunden.

Der Frage, wo man überall Gipskarst in Niederösterreich findet, wird vor allem mittels *Literaturrecherche* nachgegangen. Zudem werden im *GIS* die *geologischen Karten* und die *Bergbau-und Haldenkataster* von Niederösterreich auf Gipsvorkommen überprüft. Da Gips in den Alpen nur selten an der Oberfläche ansteht, wird bei *Geländebegehungen* die *elektrische Leitfähigkeit* der Quellen überprüft und bei ausgewählten Standorten *Wasserproben* entnommen, um später im *Labor* die gelösten Ionen und deren Konzentration im Wasser zu analysieren.

Fragestellung und Hypothesen 2:

- Welche Oberflächenformen gibt es im Gipskarst?
 - Die Oberflächenformen sind die gleichen wie im Karbonatkarst (Dolinen, Karren, Ponore).

Auch hier wird durch *Literaturrecherche* ermittelt, welche gipskarstmorphologischen Erscheinungen bereits erhoben wurden. In den Gebieten, wo Gips ausfindig gemacht wurde (Literatur, geologische Karte und die Bereiche der Gipsbergbaureviere) wird im *GIS* anhand eines 1m-DGM nach charakteristischen karstmorphologischen Oberflächenformen gesucht. Diese Bereiche werden bei den *Geländebegehungen* aufgesucht und die Formen kartiert.

Fragestellung und Hypothesen 3:

- Wie lässt sich der Gipskarst vom Karbonatkarst unterscheiden?
 - Die Morphologie und die Verbreitung der Oberflächenformen im Gipskarst unterscheiden sich von jenen im Karbonatkarst.
 - Karren sind im Gipskarst seltener zu finden.

In der *Literatur* wird nach Hinweisen zur Auflösung dieser Fragestellungen gesucht. Die eigentliche Methode ist aber die Erkenntnisgewinnung, die aus den *Geländetagen* hervorgegangen ist, um die Fragestellung beantworten zu können.

3. GESCHICHTE UND STAND DER KARSTFORSCHUNG

Der Ursprung der heutigen Karstmorphologie lag im Mittelmeerraum, wo man die ältesten dokumentierten Aufzeichnungen (1100 und 852 v.Chr.) über die Erforschung der Höhlen im Tigris-Tal fand. Das Interesse und die ersten Erklärungsansätze der Karsthydrologie begannen im alten Griechenland (624-45 v.Chr.) und bis zum Ende des 18. Jahrhunderts war das System der Säurelöslichkeit von Karbonatgesteinen weitestgehend geklärt (FORD und WILLIAMS 2007: 1ff.). Im 19. Jahrhundert wurden große Fortschritte in der Karstforschung gemacht und eine ganz besondere Rolle wird Jovan CVIJIC (1893) zugeschrieben, der mit seiner Arbeit „Das Karstphänomen“ den Anstoß zur Erläuterung von Oberflächenformen und ihrer Verbreitung in Karstlandschaften gegeben hat.

Das Wort „Karst“ stammt ursprünglich aus dem Slowenischen (kras) und bedeutet steinig oder karger Untergrund. Während der Römerzeit verwendete man das Wort „Carsus“ oder „Carso“. Als das römische Reich dann Teil von der Österreichisch-Ungarischen Monarchie wurde, hat man das Wort endgültig eingedeutscht und an der Universität Wien versucht es einheitlich als *Karst* in der Wissenschaft zu etablieren (FORD und WILLIAMS 2007: 1ff.).

Das Besondere an Karstlandschaften ist das Entwässerungssystem. Die Löslichkeit der Gesteine verursacht nicht nur außergewöhnliche Oberflächenformen, sondern schafft auch kilometerlange Höhlensysteme im Untergrund (FORD und WILLIAMS 2007: 1ff.).

Das Forschungsfeld der Geomorphologie beschäftigt sich mit dem Verständnis der Entstehung von Oberflächenformen, dem Prozess, der dahintersteckt und dem Untergrund auf dem die Form entstanden ist. Verkarstungsfähige Gesteine machen ungefähr 20% der eisfreien Landoberfläche weltweit aus, unabhängig von Längen- und Breitengraden. Die Palette an Prozessen, die im Karstgestein wirksam sein können, reicht von Wind-, Küsten-, Fluss- und Gletschererosion, bis hin zu physikalischer und chemischer Verwitterung. Man muss also, um Karstsysteme wirklich zu verstehen, alle formschaffenden Prozesse in unterschiedlichen Landschaftsräumen berücksichtigen, unter anderem auch Klimawandel und Plattentektonik. Unter den Prozessen muss

trotzdem die Lösung als Hauptprozess herangezogen werden, da sie im Karstgestein, im Gegensatz zu anderen Gesteinen, eine wichtige Rolle spielt (FORD und WILLIAMS 2007: 1ff.).

3.1 Karst

Als Karst bezeichnet man Landschaftsformen, die durch die hohe Löslichkeit der Gesteine (Kalkstein, Dolomit, Gips und Steinsalz) einen charakteristischen Formenschatz *an der Oberfläche*, sowie *im Untergrund* aufweisen (ZEPP 2017: 239). Der formgestaltende Prozess der Korrosion schafft ausgedehnte Höhlensysteme, die ein kompliziertes Entwässerungssystem besitzen (FORD und WILLIAMS 2007: 1).

Eine weitere Besonderheit der Karstlandschaften ist, dass oftmals trotz hoher Niederschlagsraten der oberflächliche Abfluss fehlt. Ganze Flüsse verschwinden im Untergrund, durchfließen den Karststock und kommen als große Quelle (oft +10.000 m³/s) wieder hervor (PFEFFER 2010: 2).

3.2 Entstehung von Evaporiten

Zu den wichtigsten Evaporitvorkommen zählen Steinsalz, Gips und Anhydrit. Evaporite sind chemische Sedimente, die bei der Eindampfung von Meerwasser unter ariden Klimabedingungen ausgefällt werden (GROTZINGER et al. 2008: 143).

Die Evaporitbildung erfolgt in Buchten oder Meeresarmen, wo das Meerwasser schneller verdunsten kann und die Zufuhr von Wasser aus dem offenen Ozean nur eingeschränkt möglich ist. Diese abgeschnittenen Bereiche werden unter dem arabischen Begriff *Sabkha* zusammengefasst.

Die typische Ausfällungsreihenfolge der Evaporite kann durch die „Barrentheorie“ erklärt werden. Der Randmeerbereich ist durch eine Barre vom offenen Meer getrennt und es erfolgt kein ungehinderter Wasseraustausch. Zusätzlich kann dieser Prozess durch Meeresspiegelsenkung oder durch die Hebung des Landes verstärkt werden (BÖGL 1986: 83ff., FORD und WILLIAMS 2007: 24). Durch die Verdunstung des Meerwassers steigt die Konzentration der darin enthaltenen Ionen und es kommt zur Ausfällung unterschiedlicher Minerale in einer bestimmten Abfolge. Die Evaporitabfolge ist weltweit ca. dieselbe, da alle Ozeane eine ähnliche Zusammensetzung aufweisen. Durch konstante Verdunstungsverhältnisse und eingeschränkter Wasserzufuhr erhöht sich der Mineralgehalt im Evaporitbecken, da die schwerer löslichen Carbonate zuerst ausfällen.

Die Basis der Evaporitabfolge bildet Calcit (CaCO_3) und in weiterer Folge, durch den Magnesiumüberschuss in der Lösung, Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Danach fallen die Calciumsulfate, wie der wasserhaltige Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) und Anhydrit (CaSO_4) aus. Bei anhaltender Verdunstung lagert sich das Mineral Halit oder Steinsalz (NaCl) ab. Den Abschluss der Evaporitreihe bilden die leicht löslichen Magnesium- und Kaliumchloride bzw. -sulfate (GROTZINGER et al. 2008: 143f.). Nach diesem Idealbild einer Salzlagerstätte können Calcit und Dolomit ebenfalls zu den Evaporitmineralen gezählt werden. Üblicherweise werden aber besser lösliche Minerale, wie Gips und Steinsalz gemeint, wenn man von Evaporiten spricht (GUNN 2004: 343).

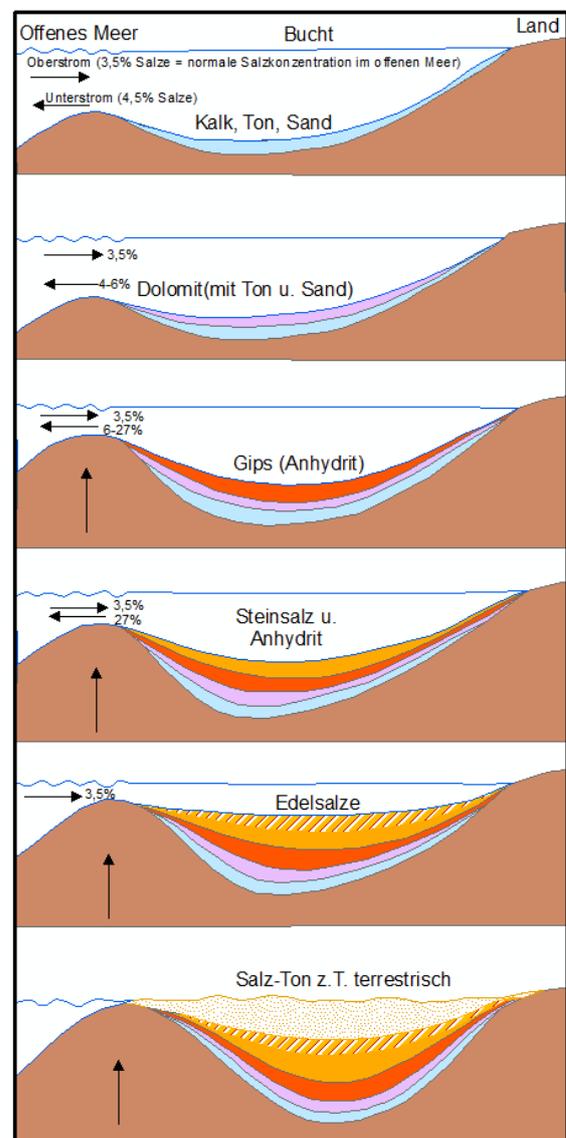


Abb. 1: Schema der Evaporitabfolge (nach BÖGL 1986: 84).

3.3 Löslichkeit von Evaporiten

Die Löslichkeit verschiedener verkarstungsfähiger Gesteine variiert sehr stark. Zu den leicht löslichen Mineralen zählt Steinsalz, gefolgt von Gips und Anhydrit (ZEPP 2017: 90). Der Vorgang der Lösung durch Hydratation wird auch Laugung genannt und kann durch das Vorhandensein von Fremdionen im Wasser noch einmal beschleunigt werden.

In einem Liter reinen Wassers bei 18°C können 2,6 g Gips gelöst werden. Eine 3,5 %ige Kochsalzlösung löst bei 21°C bereits 6,4 g Gips/l Wasser und eine 17,5 %ige Kochsalzlösung bei 17°C 9,3 g Gips/l Wasser (PFEFFER 2010: 52).

Tabelle 1: Löslichkeit von Evaporiten in reinem Wasser bei 18°C (nach ZEPP 2017: 91)

Gestein	chem. Formel	Löslichkeit
Steinsalz, Kalisalz	NaCl, KCl	356 g/l
Gips	CaSO ₄ * 2H ₂ O	2,6 g/l
Kalk, Dolomit	CaCO ₃ , CaMg(CO ₃) ₂	1,5-13 mg/l

Gips ist die hydratisierte Form von Anhydrit, aber es gibt in der Literatur nur wenige Vergleichswerte zum Lösungsverhalten beider (natürlicher) Minerale. Einen Ansatz zur Vergleichbarkeit macht STRANZL (2007), wo er die Löslichkeit von Gips und Anhydrit bei unterschiedlichen Temperaturen gegenüberstellt.

Tabelle 2: Löslichkeit von Gips und Anhydrit (STRANZL 2007) umgerechnet in mg/l

Löslichkeit in H ₂ O	Gips (3°C)	Anhydrit-II (3°C)	Gips (50°C)	Anhydrit-II (50°C)
[mg/l]	1810	3770	2038	1840

Ein eigener Lösungsversuch (bei weitgehend stationären hydrodynamischen Bedingungen und bei Raumtemperatur (20-25°C)) soll einerseits Aufschluss über die Lösungskinetik von Gips und Anhydrit geben, andererseits auch überprüfen, ob die erhaltenen Werte mit jenen der Tabelle 2 konsistent sind.

Dazu wurde Gips (Gipsrose aus Mexiko) sowie derber Anhydrit (Osterode/Harz) granuliert und die Fraktion 2 mm bis 0,63 mm für den Lösungsversuch ausgewählt. Es wurden jeweils 1000 mg in 100 ml destilliertes Wasser eingebracht und abgedeckt in stationärem Zustand (=ohne Rühren) stehen gelassen. In bestimmten, der Reaktionskinetik entsprechend länger werdenden Abständen wurde rund einen Monat lang jeweils die elektrische Leitfähigkeit bei Raumtemperatur (20-25°C) gemessen. Vorher wurde in den Probebehältern mit einem Glasstab jeweils kurz und stets gleichartig gerührt um eine Durchmischung herzustellen. Die Messung erfolgte mit einem handelsüblichen Konduktometer (Fa. Seibold) mit automatischer Temperaturkompensation. Die Leitfähigkeit wurde mit dem analytisch ermittelten Gehalt an gelöstem Sulfat in Beziehung gebracht.

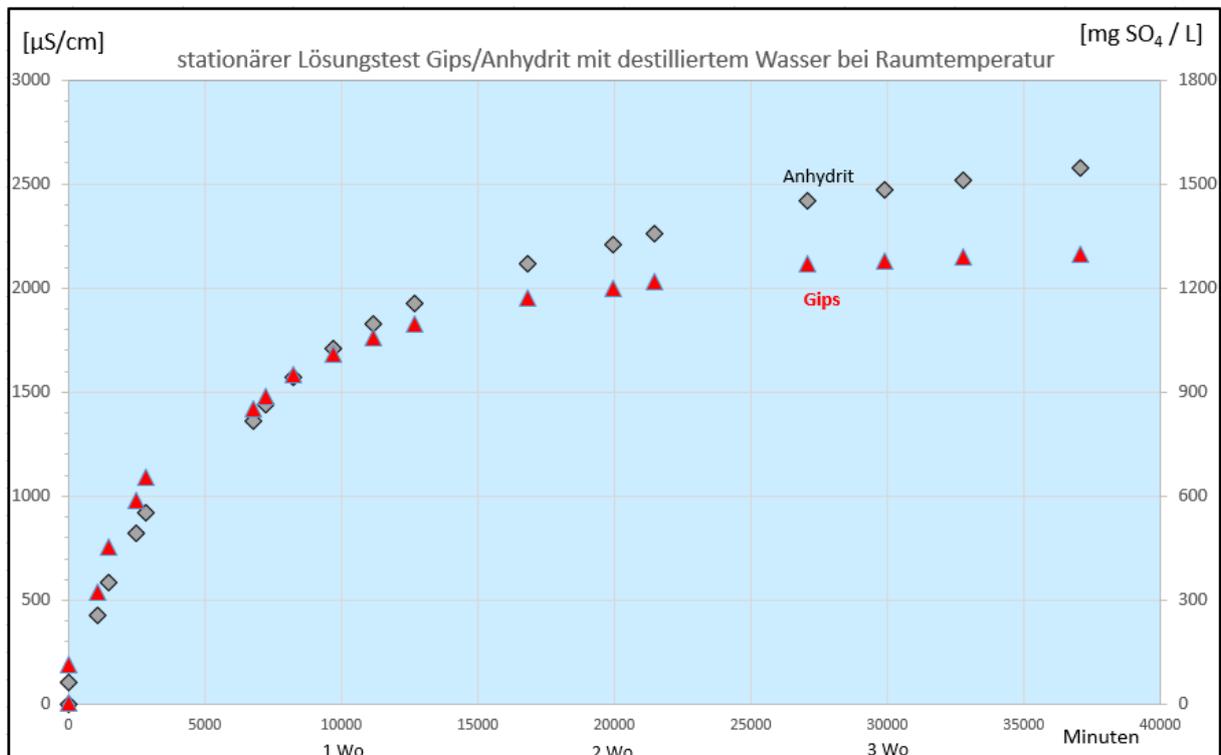


Abb. 2: Lösungsversuch von Gips und Anhydrit (PAVUZA 2019)

Die Ergebnisse (Abb. 2) des Lösungsversuchs zeigen deutliche Unterschiede im Lösungsverhalten von Gips und Anhydrit. Zu Beginn weist der Gips eine schnellere Lösungskinetik auf, wurde aber nach ca. einer Woche vom Anhydrit überholt. Die Lücken in den Linien sind durch die langen Stehzeiten während des Wochenendes zu erklären. Dies wirkt sich vor allem am Anfang des Versuchs aus. Am Ende der Messreihe, bei der allerdings vor allem beim Anhydrit noch keine vollständige Sättigung eingetreten war (Abb. 3), betrug die Menge an gelöstem Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 1650 mg/l, jene an Anhydrit (CaSO_4) 2193 mg/l.

Auch im Vergleich mit den Werten von STRANZL (2007) zeigt sich, dass – bei linearer Interpolation der angegebenen Werte ($3^\circ/50^\circ\text{C}$) – die Sättigung von Anhydrit noch nicht erreicht ist. Beim Gips liegt der erreichte Wert bereits nahe der angegebenen Sättigung.

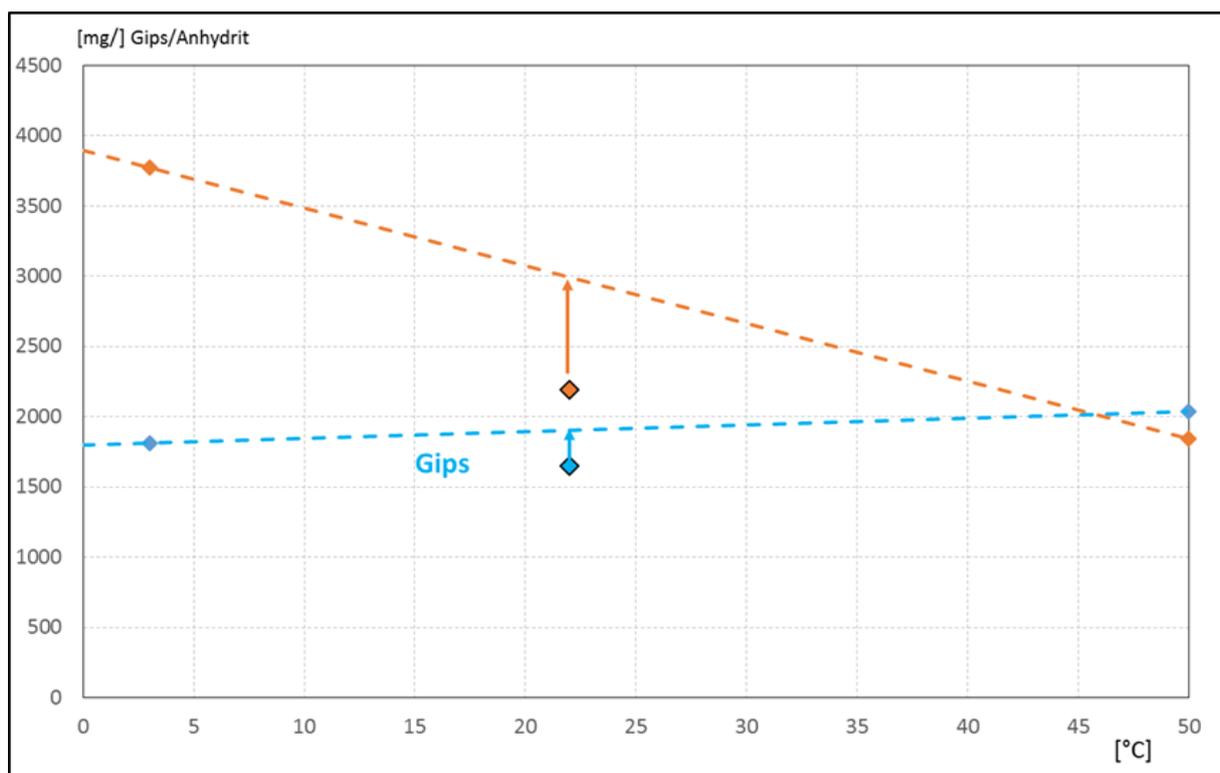


Abb. 3: Sättigungsgehalt von Gips und Anhydrit (Vergleich mit STRANZL 2007)- (PAVUZA 2019)

3.4 Oberflächenformen im Karst

CVIJIĆ (1893) war ein Vorreiter der Karstmorphologie und schrieb den Dolinen einen ganz besonderen Stellewert in Karstlandschaften zu. Dolinen sind das, was eine Karstlandschaft erst ausmacht und das charakteristische Relief schaffen. Neben den Hohlformen gibt es aber auch andere kleinere Formen, die auf die Lösungsfähigkeit des Gesteins zurückgehen. Diese werden unter dem Begriff Karren zusammengefasst (PFEFFER 2010: 151).

3.4.1 Karren

Als Karren bezeichnet man durch Lösung entstandene lineare oder rundliche Kleinformen im verkarstungsfähigen Gestein. Die kleinsten Karren werden als Mikrokarren (<1 cm) bezeichnet. Die meisten Karrenformen haben eine Größe zwischen 1cm und 10m. Es gibt aber Ausnahmen, wie Kluftkarren oder Lösungsrinnen, die in ihrer Länge variieren können. Große Bereiche mit Karrenvorkommen nennt man Karrenfelder (FORD und WILLIAMS 2007: 321f.).

3.4.2 Dolinen

Das Wort „Doline“ kommt ebenfalls aus dem Slowenischen und bedeutet „Tal“. In der Karstmorphologie versteht man unter einer Doline, eine kleine bis mittelgroße, runde bis halbrunde geschlossene Hohlform, die einen Durchmesser zwischen 1m und ~1km haben kann. Die formschaffenden Prozesse sind hauptsächlich Lösung, Kollaps und Senkung. Die Dolinenwände können je nach Entstehungsart steilwandig oder flach sein (FORD und WILLIAMS 2007: 339).

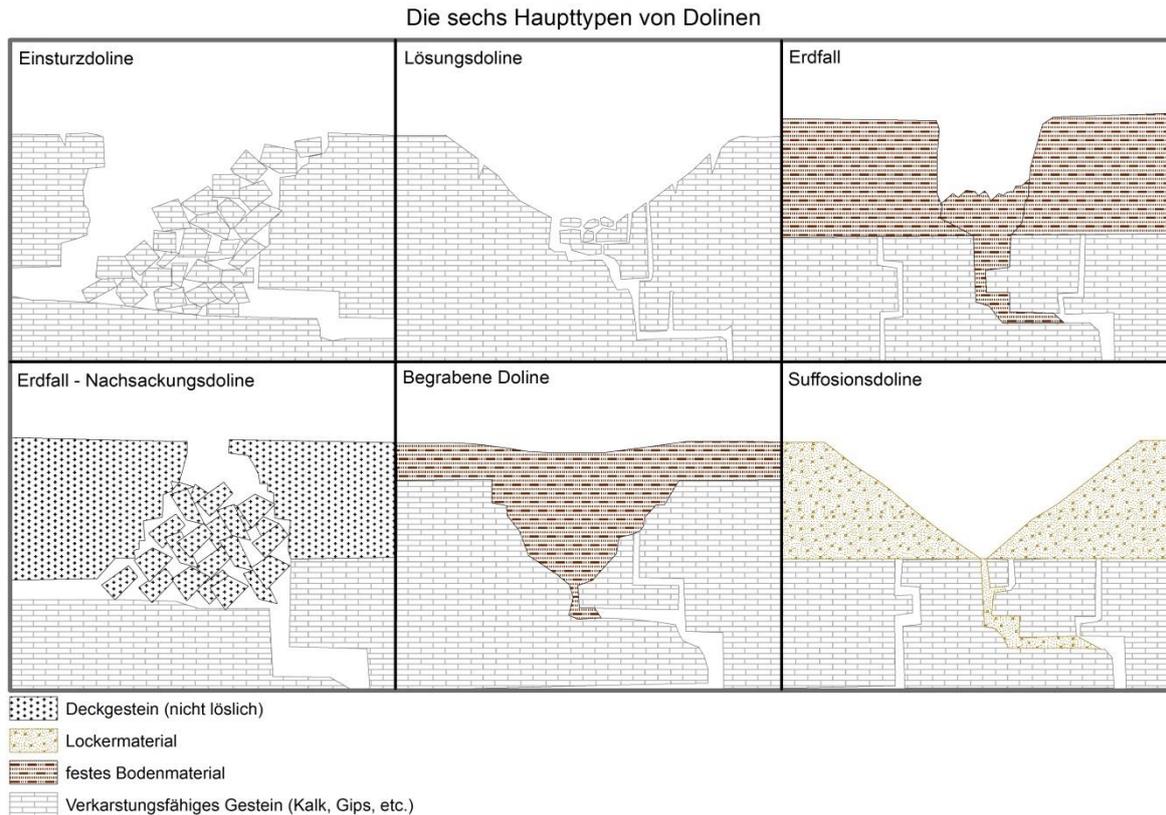


Abb. 4: Die sechs Haupttypen von Dolinen (nach FORD und WILLIAMS 2007: 341)

Die häufigste Form der Dolinen ist vermutlich die Lösungsdoline, wo die Korrosion in Klüften und Schichtfugen des Gesteins wirksam ist und die vorgegebenen Hohlräume erweitert. Einsturzdolinen entstehen beim Verbruch eines unterirdischen Hohlraums. Eine Sonderform der Einsturzdolinen sind die Senkungs- oder Subsidenzdolinen, wo das Gestein langsam in den Hohlraum nachsackt (ZEPP 2017: 246) und es am Dolinenrand zu keinen sichtbaren Anrisskanten an der Erdoberfläche gekommen ist (FORD und WILLIAMS 2007: 350).

3.5 Entstehung der Oberflächenformen im Gips

Wie bei allen verkarstungsfähigen Gesteinen, ist auch beim Gips zwischen oberirdischen und unterirdischen Lösungsvorgängen zu unterscheiden. Die Morphologie der Geländeoberfläche wird von der Art des Karstes (bedeckt oder unbedeckt) und vom Lösungsvorgang bestimmt. Der oberirdischen Lösung kommt vor allem die Karren- bzw. Schlottenbildung zu und der unterirdischen Lösung die Bildung von Laughöhlen im Grundwasserniveau (HERRMANN 1966: 99f.).

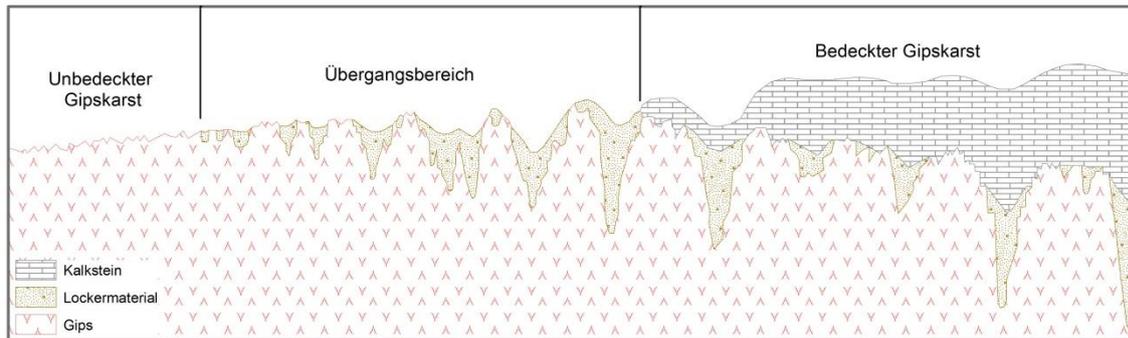


Abb. 5: Oberflächliche Lösungsformen im bedeckten und unbedeckten Gipskarst (nach HERRMANN 1966: 106)

3.5.1 Unbedeckter Gipskarst

Im unbedeckten Gipskarst – wie auch im Kalkkarst – kommt es an der Oberfläche zur Ausbildung von Karren und Lösungshohlformen (HERRMANN 1966: 101). Gips, der zutage tritt, ist oberflächlich stark korrodiert und es entstehen scharfe Kanten, Pfeiler und Zacken und es kommt zur Aufweitung von Klüften (GÖTZINGER 1955b: 41). Die Ausrichtung der Karren ist in der Richtung mit dem größten Gefälle (HERRMANN 1966: 101).

Bei unterirdischen Lösungsprozessen kommt es zur Hohlraumbildung und oft zur Aufwölbung der Geländeoberfläche. Verbricht so ein unterirdischer Hohlraum, aufgrund der Instabilität der Decke, bildet sich ein mehr oder weniger senkrechter Erdfall. Dieser Erdfall bricht kontinuierlich nach bis sich eine Art unregelmäßig gestaltete Trichterform ausbildet (HERRMANN 1966: 102).

3.5.2 Bedeckter Gipskarst

Beim bedeckten Gipskarst bestimmen der Grad der Durchlässigkeit und die Art der darüber lagernden Gesteins- oder Bodenschichten die Größe der Lösungsformen im Gips. In der Tiefe kommt es ebenfalls zur Karrenbildung, die sich bei anhaltender Korrosion eintiefen und vergrößern; es bilden sich sogenannte Schlotten (HERRMANN 1966: 101). Durch das Nachsacken der auflagernden Deckenschichten kommt es an der Geländeoberfläche zur Entwicklung einer Hohlform (GÖTZINGER 1955b: 41). Die Morphologie der Hohlformen an der Erdoberfläche kann mit der Lithologie variieren. So hat man zum Beispiel im Festgestein (Kalk-, Dolomit- oder Sandstein) entweder flache

oder schüsselförmige Hohlformen und in Lockersedimenten (Schutt oder Ton) kommt es zur Ausbildung von Trichtern oder Erdfällen (HERRMANN 1966: 101).

Die Morphologie der Erdoberfläche bei Verbruch von Laughöhlen im bedeckten Gipskarst hängt von der Mächtigkeit der überlagernden Deckenschicht und der Größe des Hohlraumes ab. In Festgesteinen kommt es zu einem schachtartigen senkrechten Erdfall, dessen Form über einen längeren Zeitraum bestehen bleibt. In Lockersedimenten entsteht ebenfalls ein senkrechter Erdfall, der aber verhältnismäßig rasch zu einer Trichterform umgebildet wird (HERRMANN 1966: 102).

3.6 Hydrologie und Höhlenbildung in Sulfatgesteinen

Bei der Hydratation von Sulfatgesteinen im Untergrund kommt es vor allem auf die Fließgeschwindigkeit des Wassers an. Geringe Fließgeschwindigkeiten verursachen durch die schnelle Lösung eine Aufweitung der Kluft an der Einsickerungsstelle. Der rasche Lösungsvorgang und die langsame Fließgeschwindigkeit verursachen aber auch eine schnelle Sättigung des Wassers, wodurch die Lösung auf den Anfangsbereich beschränkt ist. Bei hoher Fließgeschwindigkeit verlagert sich die Lösung ins Berginnere, wo die Klüfte rasch aufgeweitet werden und ein auf wenige Wasserwege beschränktes lineares Fließsystem entsteht. Die Infiltration von Wasser in Klüfte des Anhydritstocks verursacht eine Quellung des Gesteins, wodurch die Klüfte wieder verschlossen werden. Durch die Hydratation bildet sich um den Anhydritstock ein Gipsmantel, der durch die Quellung ebenfalls Risse bekommt. Der Anhydrit wirkt wie eine wasserundurchlässige Schicht und die Wasserzirkulation konzentriert sich auf den Bereich des Gipsmantels und bleibt somit in Oberflächennähe. Es entstehen schnell Höhlen im Gipsstein, die allerdings aufgrund der hohen Lösungsraten nur von kurzer Lebensdauer sind (PFEFFER 2010: 130).

3.7 Mensch als formbildender Faktor

Der Mensch spielt in der Geomorphologie eine immer wichtiger werdende Rolle. Durch das Eingreifen des Menschen in die Landschaft entstehen neue Reliefformen. Der formbildende Prozess kann direkt durch den Menschen entstehen, oder indirekt (ZEPP 2017: 300f.).

Tabelle 3: direkt und indirekt anthropogen geschaffene Landschaftsformen in Gipskarstgebieten (nach ZEPP 2017: 301)

Nutzung	geomorphologische Auswirkungen	
	direkt	indirekt
Bergbau	Steinbrüche, Abgrabungen, Tagebaue, Halden	Tagesbrüche, Bergsenkungen, Pingen

Indirekt durch den Bergbau entstandene Hohlformen nennt man Pingen (ZEPP 2017: 302). Laut Definition ist eine Pinge *„eine kleine Bodenvertiefung, die durch bergmännische Schürfarbeit über Tage oder durch Nachbruch über flachen Untertagsschürfungen entstanden ist“* (MURAWSKI und MEYER 1998: 162).

3.8 Stratigraphische Eingliederung der Gipsvorkommen in Österreich

Der Umfang des ostalpinen Evaporitvorkommens erstreckt sich von Hall in Tirol bis Heiligenkreuz bei Wien (Luftlinie ca. 350 km) und ist 35 km breit. Es handelt sich nicht um einen geschlossenen Zug, sondern um einzelne Gesteinskörper, die an tektonische Grenzen gebunden sind, wo sie zu Tage treten. Dieses „ostalpine Salinar“ kommt entweder als Steinsalz (Salzberge) oder als Gips bzw. Anhydrit (Gipsstöcke) vor (SCHAUBERGER 1986: 218). Chronostratigraphisch gesehen sind die ostalpinen niederösterreichischen Gipsvorkommen in das „permoskythische“ Haselgebirge (auch „Hinterbrühl-Formation“) mit den untertriasischen Werfener Schichten, in die obertriasische Opponitz-Formation (Karn) und in die Ober-Trias des Semmeringgebiets („Bunter Keuper“ bzw. „Gipskeuper“) zu gliedern. Das Haselgebirge, die Werfener Schichten und die Opponitz-Formation gehören zur tektonischen Einheit des Oberostalpins und das Semmering Mesozoikum zum Unterostalpin (WESSELY 2006: 117ff.).

3.9 Ostalpen

Die rund 500 km langen österreichischen Alpen gehören Großteiles dem tektonischen Deckenkomplex Ostalpen an, der sich vom Rhein bis hin zum Wiener Becken zieht und nur ein kleiner Teil des langen Alpenbogens ist (SCHUSTER et al. 2013: 4). Gebildet hat sich der Ostalpenkörper durch zwei gebirgsbildende Ereignisse in der Kreide und im Tertiär (FROITZHEIM et al. 2008). In der späten Trias bildete sich am Rand von Pangäa zum Tethys-Ozean ein passiver Kontinentalrand, der den Untergrund des Alpenen Schelfs bildet und sich in weiterer Folge mächtige überwiegend kalkige Sedimentgesteine darauf ablagerten. Durch die Öffnung des Penninischen Ozeans im späten Jura teilte sich der Alpine Schelf in den Helvetischen Schelf im Norden und in den Adriatischen Schelf im Süden. Zur gleichen Zeit begann sich die Tethys zu schließen, wodurch ozeanische Kruste auf den „Adriatischen Sporn“ aufgeschoben wurde und sich anschließend innerhalb des Sporns Seitenverschiebungen ausbildeten. Durch anhaltende Neubildung ozeanischer Kruste in der Kreide, verbreiterte sich der Penninische Ozean und die Seitenverschiebung entwickelte sich zu einer Plattengrenze. Der nördliche Teil des „Adriatischen Sporns“ subduzierte fast gänzlich unter den südlichen und bildete durch die Abscherung der Sedimente den frühen Orogenkeil. Die Platte erfuhr durch die Subduktion eine Metamorphose, Eklogite zeugen von Versenkungen bis über 50 km. Die Subduktion der Lithosphärenplatte hielt an, wodurch sich große Stücke der metamorphen, ehemals nördlichen, Platte lösten, als Decken zur Oberfläche aufstiegen und in die Bildung des Orogenkeils miteinbezogen wurden. Der Orogenkeil ragte in der späten Kreide bereits als Inselgruppe aus dem Meer. Zum Ende der Kreide wurde erstmals ozeanische Lithosphäre des Penninischen Ozeans in die Subduktion miteinbezogen und es bildete sich ein Akkretionskeil aus marinen Sedimenten. Im Tertiär schloss sich der Penninische Ozean und es kam zur Kontinentkollision, wodurch der Orogenkeil weit über das „Alte Europa“ überschoben wurde und Teile des penninischen Akkretionskeil (Penninikum) und des Helvetischen Schelfs eingebaut wurden. Im Paläogen (40 Ma vor heute) riss die seit der Kreide subduzierte Lithosphärenplatte ab, wodurch sich die Alpen durch den isostatischen Ausgleich rasch emporhoben. Das Aufdringen der Asthenosphäre führte zu

Intrusionen der Schmelze und zu Vulkanismus. Durch die Auflast des Orogenkeils, wurde die Europäische Platte nach unten gedrückt und ein Molassemeer entstand. Das südliche Vorlandbecken wurde bis ins Neogen in die Gebirgsbildung miteinbezogen (SCHUSTER et al. 2013: 72f.).

In den Ostalpen gibt es mehrere tektonische Einheiten, die Evaporitgesteine beherbergen. Die Bedeutendsten Evaporitvorkommen befinden sich in den NKA (Oberostalpin), kleinere Vorkommnisse in den Südlichen Kalkalpen und in den metamorphen Schichten der Zentralalpen (Unterostalpin) (LEITNER und SPÖTL 2017: 467).

3.9.1 Oberostalpin (der Nördlichen Kalkalpen)

Das Oberostalpin stellt den tektonisch gesehen obersten Teil des Ostalpinen Deckenstapels dar (MANDL 2000: 61). Im Wesentlichen bezeichnet man das Oberostalpin als Kalkalpen, deren Aufbau eine komplexe Falten- und Deckenstruktur repräsentiert (FAUPL 2003: 130). Das Deckensystem lässt sich in die tektonischen Haupteinheiten des *Bajuvarikums*, *Tirolikums* und *Juvavikums* (siehe Abb. 6) unterteilen. Tektonisch gesehen haben sich die Kalkalpen mit der Grauwackenzone über das Zentralalpin und die Flyschzone geschoben, wodurch die Flyschzone ausgedünnt wurde und ihre Hauptmasse an der Stirn der Kalkalpen liegt (WESSELY 2006: 105).

Die Niederösterreichischen NKA erstrecken sich von der Enns bis zum SW-Rand des Wiener Beckens, von wo sie im Untergrund bis zur March und weiter Richtung Karpaten fortsetzen. Der an der tiefsten Stelle 8 km mächtige und 40 km lange Kalkalpenkörper streicht generell West-Ost (WESSELY 2006: 105).

Der Bildungsraum befand sich am Südrand des Großkontinents Pangäa zur Tethys, wo sich die Gesteine der Kalkalpen auf kontinentaler Kruste ablagerten und es neben den karbonatischen Sedimenten auch zu siliklastischen Sedimentationsreihen kam (EGGER 2011: 61). Die *wichtigsten Evaporitvorkommen* der Alpen kamen durch eine Transgression der Tethys im Oberperm hervor, die in keiner direkten Verbindung zum Zechsteinmeer stand. Sie befinden sich gewöhnlich an der Basis der tektonisch höheren Deckenschichten der NKA (z.B. Juvavikum) und werden unter dem Begriff Haselgebirge

zusammengefasst (FAUPL 2003: 108ff.). Die untere Trias setzte mit einer Transgression fort, wo Sedimente aus dem ariden Festland in den Flachmeerbereich eingetragen wurden. Abgelagert wurden rote bis violette und grünliche Sand- und Tonsteine, die als Werfen-Formation bekannt sind (WESSELY 2006: 125). Im oberen Skyth bei der Wende zur Mitteltrias lagerten sich Gipsvorkommen in diesem Niveau ab. Nach überwiegend kalkiger Sedimentation, bildete sich in der Obertrias eine weitere marine Fazies der Opponitz-Formation aus, die sich aus evaporitischen Ablagerungen (Gipse und Rauhwacken), Mergeln und gut geschichteten grau-gelben Flachwasserkalken zusammensetzt (FAUPL 2003: 108ff.).

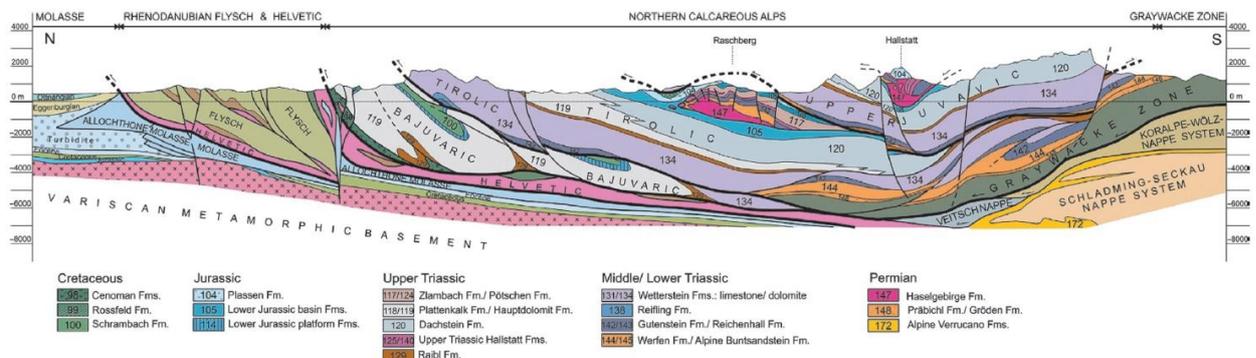


Abb. 6: Querschnitt der NKA (LEITNER und SPÖTL 2017:471)

Haselgebirge

Der Begriff Haselgebirge kommt laut MANDL et al. (2002) aus dem Bergmännischen und bedeutet „Hallgebirge“ (=keltisch „hall“, Salz). Die genaue Herkunft des Wortes ist nach SPÖTL (1988) jedoch nicht geklärt und hat seiner Meinung nach keinen bergmännischen Ursprung. Eine allgemeine geologische Etablierung des Wortes „Haselgebirge“ erfolgte Anfang des 19. Jahrhunderts durch Leopold von BUCH (1802), der diesen Begriff zur Beschreibung dieser Gesteinsfazies verwendete.

Das im Oberperm gebildete Haselgebirge ist durch eine feinklastisch-salinare Fazies gekennzeichnet, worin sich die wichtigsten Steinsalz-, Anhydrit- und Gipsvorkommen der Alpen befinden (FAUPL 2003: 108). WESSELY (2006) beschreibt das Haselgebirge als Brekzie, mit verschiedenen großen Komponenten aus Gips und Ton, die in einer Matrix aus

Ton und Zerreibsel der oben genannten Minerale eingebettet ist. Als Formationsbegriff, für die Haselgebirgsvorkommen in Niederösterreich, schlägt er „Hinterbrühl Fm.“ vor.

Das Haselgebirge befindet sich an der Basis der Nördlichen Kalkalpen und bildete ein wichtiges basales Schichtglied bei der Deckenüberschiebung, wobei die plastischen Gesteine als Gleithorizont dienten und dadurch eine mechanische Deformation erfuhren (FAUPL 2003: 108). Der Hauptabscherhorizont befindet sich zwischen der nördlichen Grauwackenzone und den auflagernden Kalkalpen (SPÖTL 1988: 60) und bildet als Haselgebirge eine evaporitische Melange an fein zerriebenen und zertrümmerten Komponenten (FAUPL 2003: 108). Die darauffolgende jüngere (Skyth) *Werfen-Formation*, der kalkalpinen Schichtfolge war ebenfalls in die tektonische Überprägung einbezogen, wodurch man beide Schichtglieder entlang der Hauptbewegungsflächen oft gemeinsam antrifft (MANDL et al. 2002: 56).

Opponitz-Formation

Zur Bildungszeit der Opponitz-Formation herrschten extreme Seichtwasserverhältnisse, die zur Eindampfung des Wassers führten und die Bildung von langgestreckten Evaporitvorkommen begünstigten. In den Kalk- und Dolomitlagen sind Anzeichen von Algenstromatolithen zu finden, die auf erhöhte Salinität zurückzuführen sind. Bei der alpidischen Gebirgsbildung sind die Anhydrite in die Dolomitklüfte eingedrungen und bilden das Ausgangsgestein für die Opponitzer Rauhacken. Am Nordrand der Kalkalpen sind vor allem Rauhacken bzw. Anhydrite zu finden, die auf einen küstennahen Bildungsraum schließen lassen (WESSELY 2006: 132).

3.9.2 Unterostalpin

Die permo-mesozoische Schichtfolge des Unterostalpins im Semmeringgebiet ist niedriggradig metamorph (Grünschieferfazies) und umfasst alle Triasstufen (FAUPL 2003: 129, BAUER 1967: 72). Die unterste Schichtfolge bildet der Semmeringquarzit mit konglomeratischen Einschaltungen und Anklängen an die Bundsandsteinentwicklung der germanischen Trias. Die Mitteltrias setzt mit einem markanten Rauhwackenhorizont, der durch evaporitische Bildung entstanden ist, fort. Die geringmächtigen Schichten des Anis bestehen aus dunklen Dolomiten und Bänderkalken. Die darauffolgende höhere Mitteltrias ist mächtiger ausgebildet und besteht aus hellen „Wettersteinkalken – und Dolomiten“. Über den karbonatischen Schichten folgt eine terrigen-salinare Fazies, die als „Bunter Keuper“ bezeichnet wird (FAUPL 2003: 130). Die Gesteine der Keuper-Fazies sind hauptsächlich Serizitschiefer, Quarzite, Arkose und breccziösen Rauhwacken. Die Semmeringtrias wird von kalkig, mergeligen und fossilreichen Schiefen des Rhäts abgeschlossen (FAUPL 2003: 130, BAUER 1967: 73).

Die Gipslagerstätten des Semmerings sind in die Gesteine der Bunten Keuper Fazies eingebettet und haben karnisches Alter (BAUER 1967: 73). Sie bilden das unterostalpine Pendant zu den karnischen Evaporiten der Opponitz-Formation (LEITNER und SPÖTL 2017: 478). Die größten Gipsvorkommen im niederösterreichischen Semmeringgebiet befinden sich im Bereich des Haidbachgrabens und in Göstritz (BAUER 1967: 73).

4. METHODIK

Im folgenden Kapitel werden die Methoden vorgestellt, die zur Beantwortung der Forschungsfragen herangezogen wurden.



4.1 *Datengrundlage*

In Zusammenarbeit mit dem Geologischen Dienst des Landes Niederösterreich im Rahmen des NÖ-Karst-Projekts wurde ein 1-m-auflösender Airborne Laserscan (ALS) Raster der NKA zur Verfügung gestellt. Für die Kartengestaltung wurde ein 10 m Höhenmodell von ganz Österreich runtergeladen und ein Hillshade erstellt. Die Geologischen Karten von Niederösterreich wurden von der Geologischen Bundesanstalt aufbereitet und als Shapefiles zur Verwendung bereitgestellt. Zusätzlich wurden von der Karst und Höhlen Arbeitsgruppe am NHM, die seit 2016 an dem NÖ-Karst Projekt arbeitet, bereits digitalisierte karstmorphologische und hydrologische Vektordaten, in Form von Shapefiles, vorbereitet. Der Projektleiter Dr. Lukas Plan, Mitarbeiter der Geologisch-Paläontologischen Abteilung des NHM, hat als Vorarbeit alle Hohlformen („sink contours“) im digitalen Geländemodell (DGM) herausgerechnet. Dafür wurden im GIS die Hohlformen in einem DGM mit dem ArcGIS fill-tool aufgefüllt und in weiterer Folge vom unbearbeiteten DGM abgezogen. Übrig bleibt ein DGM mit den Mächtigkeiten bzw. Tiefen der Hohlformen. Davon wurden 1-m-Höhenschichtlinien gerechnet. Alle Formen, die weniger als 0,2 m tief, kleiner als 2 m² und eindeutig anthropogen gebildet wurden, wurden entfernt.

Dieser Datensatz bildet eine der Grundlagen für die Standortwahl der Geländekartierungen.

Tabelle 4: Datengrundlage

Daten	Auflösung	Quelle
DGM NKA	1 m	Land NÖ
DGM AUT	10 m	OGD (Land Kärnten)
Geologische Karten (Vektordaten)		Geologische Bundesanstalt
Bergbau-und Haldenkataster		Geologische Bundesanstalt
„sink contours“		NÖ-Karst-Projekt
Karstmorphologie Shapefiles		NÖ-Karst-Projekt
Hydrologie Shapefiles		NÖ-Karst-Projekt
Höhlen		Österreichisches Höhlenverzeichnis

4.2 Datenerhebung im Gelände

Die Datenerhebung im Gelände erfolgte mittels *LocusGIS*. Dies ist eine Software der Firma Assam-Software (www.locusgis.com), die man mit einem Android Betriebssystem (Smartphone oder Tablet) kostenlos downloaden kann. In der App kann man Vektordaten (Punkt, Linie und Polygon) ganz leicht generieren und entsprechende Attribute anhängen. Als Hintergrundkarten kann man das Geländemodell, die geologischen Karten und ÖK50 Karten legen. Schon bestehende Shapefiles können ohne viel Aufwand ins Programm importiert werden (zB. via Google Drive). Im Gelände wird mittels GPS der Standort ermittelt, was erstens bei der Orientierung hilft und zweitens werden die neu editierten Punkte, in einem vorher festgelegten Bezugssystem, lagegenau gespeichert. Voraussetzung für die Genauigkeit der Signaturen ist der GPS-Empfang oder die genaue Orientierung auf der Hintergrundkarte (zB. Schummerungskarte).

Im Rahmen des NÖ-Karst-Projekts wurde bereits ein Projekt-Ordner mit allen relevanten Daten zusammengestellt. Dieser Ordner wird als neues Projekt im *LocusGIS* angelegt und kann dann weiterbearbeitet werden. Die für die Gipskarstkartierung wichtigen Shapefiles (potentieller Gipskarst, Gips – geologische Karte und Gipsbergbau) wurden extra ins Projekt integriert. Zur Datenaufnahme wurde eine neue Punkt-Signatur erstellt, die alle nötigen Attribute für die Kartierung beinhaltet. Um die Kartierungen im Projekt zu vereinheitlichen gibt es eine Kartierungsrichtlinie (siehe Anhang).

Als Typ wurde entweder eine Morphologie oder eine Gewässerart (Quelle, Teich, Tümpel etc.) angegeben. Bei den Dolinen wurden die Tiefe und der Durchmesser aufgenommen. Bei Bedarf konnte noch eine Anmerkung hinzugefügt werden. Bei den Gewässern wurde die Temperatur, die elektrische Leitfähigkeit und die Schüttung eingetragen Abb. 7 zeigt einen Screenshot aus der Kartieransicht im *LocusGIS*. Die roten Punkte kennzeichnen die kartierten Dolinen im Bereich der Reidlhütte bei Annaberg.

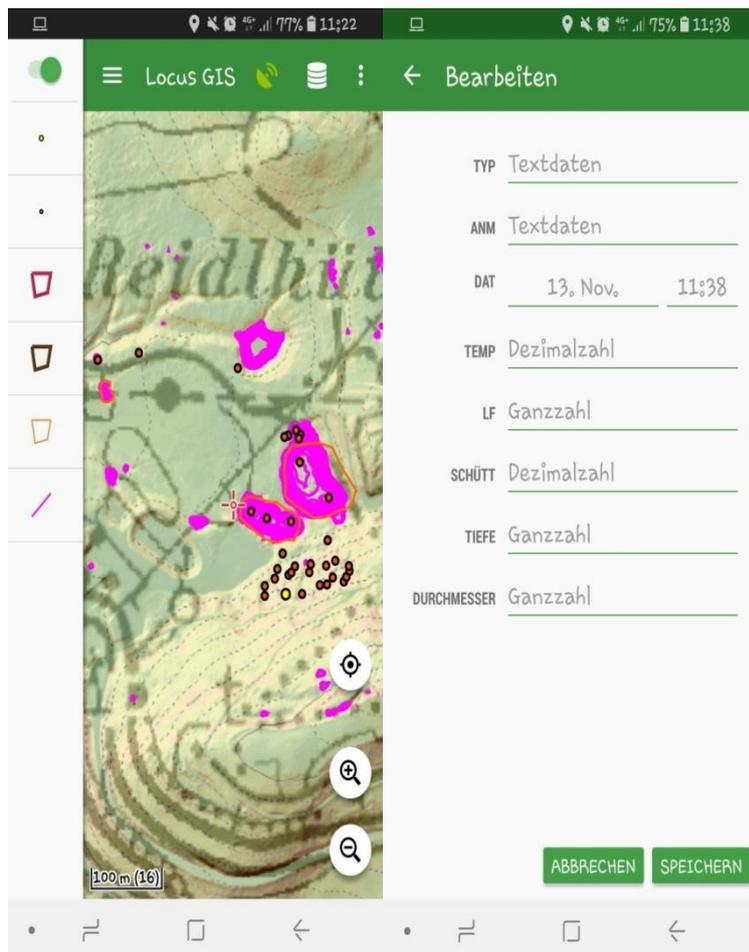


Abb. 7: Screenshot aus *LocusGIS* in der Kartieransicht

4.3 GIS-basierte Analyse von Geodaten

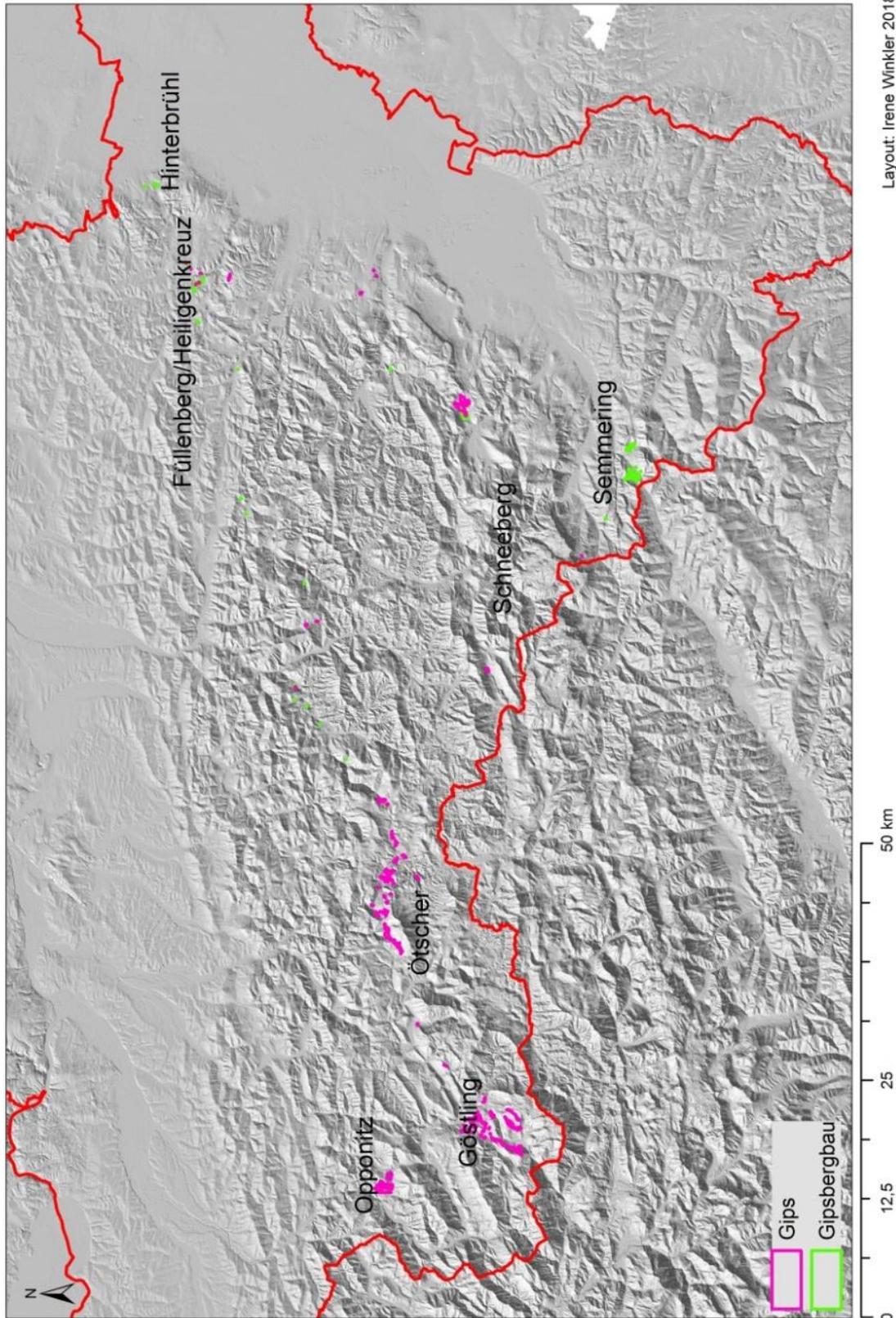
Im ersten Schritt wurde das später zu kartierende Gebiet im GIS analysiert. Als Grundlage dienten das Hillshade, die geologische Karte von Niederösterreich und die Bergbaureviere. Aus der Geologischen Karte und aus den Bergbaurevieren wurden jeweils die Gips- und Anhydritvorkommen selektiert und als eigenes Shapefile exportiert.

Die Gebiete mit Gipsvorkommen waren dann auf einen Blick erkennbar. Auffallend war, dass es viele Gipsbergbaue gab, wo kein Gips in der geologischen Karte kartiert war. Aufgrund dieser Datengrundlage waren sieben Gebiete mit größeren Gipsvorkommen zu erkennen:

Tabelle 5: Übersicht der Gipskarstgebiete in NÖ

Gipskarstgebiete Übersicht	
Hinterbrühl	Heiligenkreuz/Füllenberg
Schneeberggebiet	Ötschergebiet (ohne Annaberg)
Göstling	Opponitz
Semmering	Annaberg

Gipskarstverbreitung in Niederösterreich



Layout: Irene Winkler 2018

Abb. 8: Flächenhafte Ausdehnung von Sulfatkarst im Süden Niederösterreichs ©Irene Winkler. Hintergrund: 10-m-DGM (kagis), pink= Gipsvorkommen der geologischen Karte, grün= Gipsvorkommen aus dem Bergbaukataster (GBA).

4.4 GIS-basierte Analyse von Karstformen

In den Gebieten mit schon bekannten Gipsvorkommen wurde mit Hilfe der „sink contours“ nach erkennbaren Hohlformen im DGM gesucht und mit einer eigenen Punktsignatur als „potentieller Gipskarst“ markiert. Diese Punkte kennzeichnen die wichtigsten Standpunkte für die Geländekartierung.

Die Abb. 9 zeigt einen Geländeausschnitt nördlich von Annaberg im Gipskarst. Man kann eine sehr unruhige Oberfläche mit großen Hohlformen erkennen.

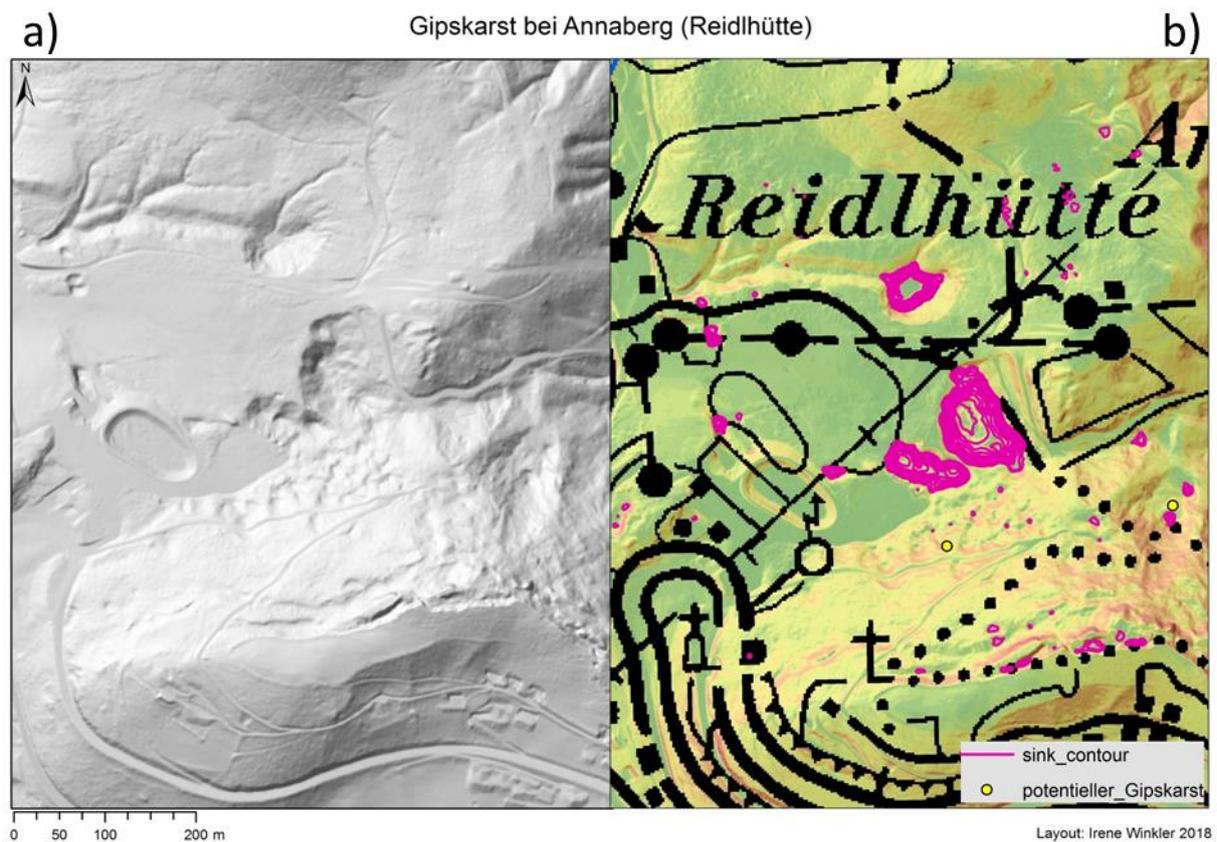
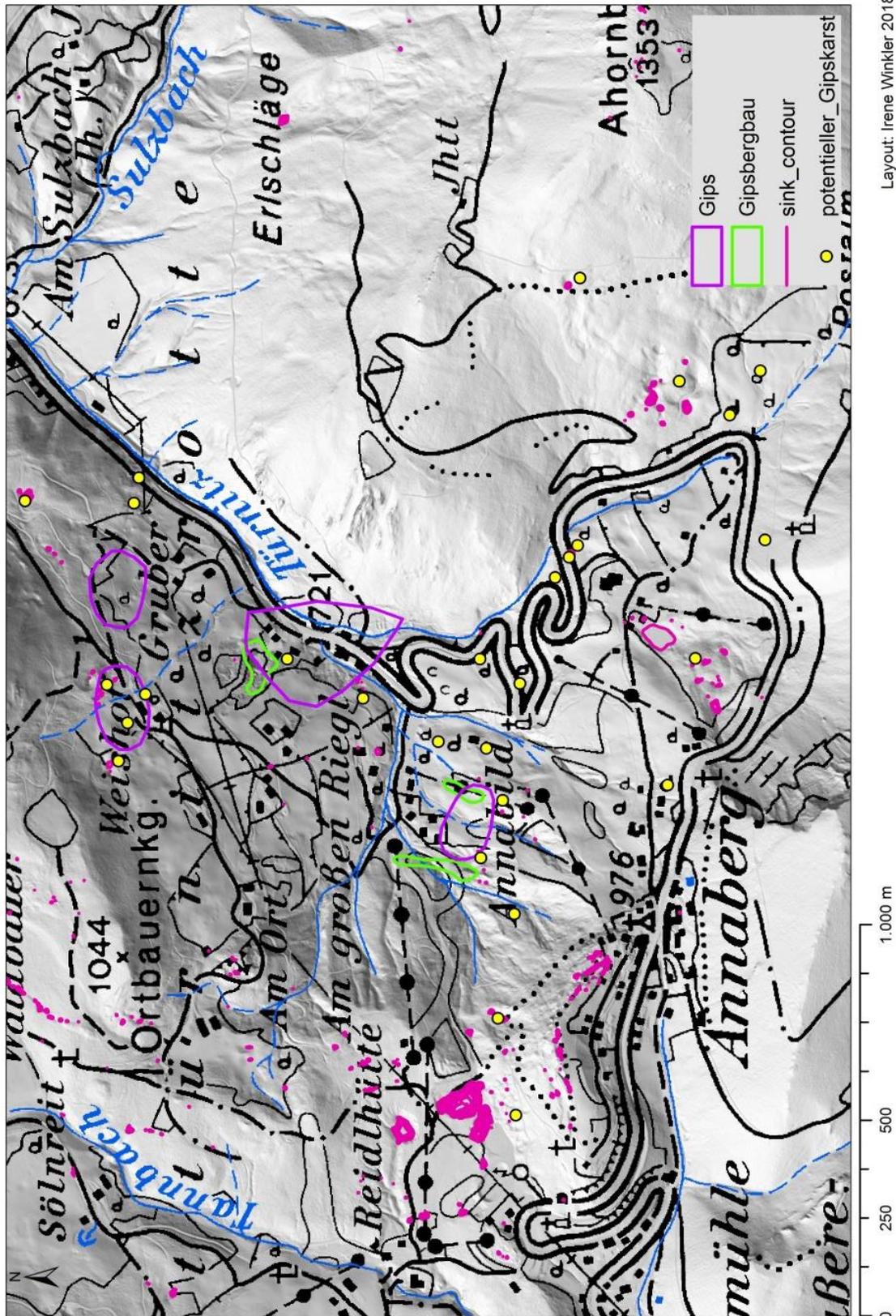


Abb. 9: Gipskarstgebiet bei Annaberg (Reidlhütte) ©Irene Winkler a) Schummerungskarte 1-m-DGM (nögis). b) Hintergrundkarten (Schummerungs- und Hangneigungskarte mit überlagerter ÖK50), pinke Polylinien stellen 1-m-Höhenschichtlinien (NÖ-Karst) innerhalb von geschlossenen Hohlformen dar.

4.5 Geländekartierung

Wie im Punkt Datenerhebung schon beschrieben, wurde mit LocusGIS im Gelände kartiert. Als Kartengrundlage diente das 1-m-ALS Raster des Landes Niederösterreich, womit eine Schummerungs- und Hangneigungskarte im ArcGIS errechnet wurden. Zur besseren Orientierung wurde die Situation der ÖK50 oder die geologische Karte darübergelegt. Verwendet wurden die geologischen Karten (GK50 und GEOfast) der GBA, die man als Web Map Service (WMS) - (<https://www.geologie.ac.at/services/web-services/>) ins GIS laden kann. Die von der Arbeitsgruppe bereits digitalisierten karstmorphologischen Formen sind als Shapefiles vorhanden und können ins GIS integriert werden, um die Formen im zu kartierenden Gebiet zu überprüfen. Die Gipsvorkommen der geologischen Karte und die Gipsbergbaureviere wurden ebenfalls als Shapefile (Polygon) importiert. Die Deckfarbe wurde auf transparent gestellt und die Rahmenlinie wurde eingefärbt. So behielt man einen leichteren Überblick, wo die Bereiche mit Gips waren. Die „sink contours“ und die „potentieller Gipskarst“-Signatur sollen vor allem bei der Orientierung im Gelände helfen, da man am Smartphone kleine Hohlformen leicht übersehen kann. Die Abb. 3 zeigt das ganze Gipskarstgebiet bei Annaberg. Die violetten Polygone sind die Gipsvorkommen aus der geologischen Karte, die grünen Polygone sind die Bergbaureviere, die pinken Formen sind die „sink contours“ und die gelben Punkte kennzeichnen die Bereiche, wo überprüft werden soll, ob es sich um Gipskarsterscheinungen handelt. Im Gebiet rund um Annaberg ist nur sehr kleinräumig Gips verzeichnet, weshalb die Formen, die sich laut Karte in den Werfener Schichten befinden, ebenfalls kartiert und überprüft wurden.



Layout: Irene Winkler 2018

Abb. 10: Gipskarstverbreitung bei Annaberg ©Irene Winkler, Hintergrundkarte: Schummerungskarte 1-m-DGM (nögis), violett: Gipsvorkommen der GK, grün: Gipsbergbaue (GBA), pink: sink contours (NÖ-Karst), gelber Punkt: potentielle Gipskarsterscheinungen, die überprüft werden sollen.

4.6 Messung der elektrischen Leitfähigkeit und Probenahme

Der Sulfat-Gehalt in natürlichen Gewässern gibt Aufschluss über die hydratisierten Ionen-Aqua-Komplexe, jedoch nicht über die genaue mineralische Zusammensetzung, der im Wasser gelösten Bestandteile. Man kann also nicht konkret sagen, ob es sich um Calciumsulfat (Gips), Magnesiumsulfat (Bittersalz) oder um Natriumsulfat (Glaubersalz) handelt (HÜTTER 1979: 65).

„Da Gips in den Alpen an tektonische Deckengrenzen gebunden und somit eng verstrickt mit anderen Karbonatgesteinen ist, lässt sich nur schwer rückverfolgen, woher das Sulfat jetzt ursprünglich stammt. Wenn ein Gipsbächlein irgendwann mit einem Dolomitbächlein zusammenfließt, kann man davon ausgehen, dass kein Bittersalz gelöst ist, sondern das Magnesium vom Dolomit stammt. Das ist aber alles Interpretationssache. Wäre viel Natrium gelöst und man findet auch Chlorit, könnte man sagen, dass Steinsalz die Ursache wäre – oder man bringt in Erfahrung, ob irgendwo in der Gegend Salz gestreut wird.

Wohin die Ionen in der Wasserlösung gehören ist bei Gipswässern oft schwer zu beurteilen, da man durch die tektonische Verstrickung die meiste Zeit Mischwasser hat“ (Mündliche Mitteilung PAVUZA R. 2018).

Um im Gelände einen ersten Überblick der Gesamtmineralisation einer Quelle zu bekommen kann man die elektrische Leitfähigkeit (ELF) bestimmen. Die Einheit ist $\mu\text{S}/\text{cm}$ (teilweise auch mS/cm) und sie wird auf 25°C notiert. Sie ermöglicht eine ungefähre Abschätzung der Elektrolytmenge im Wasser und zudem kann man die Veränderungen der gelösten Stoffe einer Quelle über eine Zeitspanne vergleichen (HÜTTER 1979: 67).

Die Messungen wurden mit einem HI98311 Wasser-Leitfähigkeitsgerät ($0\text{-}20 \text{ mS}/\text{cm}$) der Firma *Hanna Instruments* durchgeführt, das alle zwei Monate kalibriert wurde, um die Ergebnisse nicht zu verfälschen. Neben der elektrischen Leitfähigkeit wurde auch die Temperatur (in $^\circ\text{C}$) gemessen und die Schüttung der Quelle geschätzt.

An Quellen mit hoher Leitfähigkeit wurden Wasserproben entnommen. Die Probenahme erfolgte mit 150ml Plastikflaschen. Die Probeflaschen wurden zuerst bis zur Hälfte mit Wasser gefüllt, gut geschüttelt und schließlich wieder ausgeleert. Danach wurde die Wasserprobe genommen, wobei das Fläschchen bis zum obersten Rand befüllt wurde. Die Proben wurden bis zur Analyse im Kühlschrank aufbewahrt.

Auf der unten angeführten Karte (Abb. 11) sieht man die Entnahmepunkte der Wasserproben. Es wurde versucht von jedem größeren Gebiet bzw. von jeder geologischen Einheit mindestens eine Probe zu nehmen. Viele der Gerinne waren, aufgrund der Niederschlagsarmut, zum Zeitpunkt der Geländekartierung im Sommer 2018 nicht wasserführend. Deswegen gibt es zum Beispiel keine Probe von Göstling a. d. Ybbs.

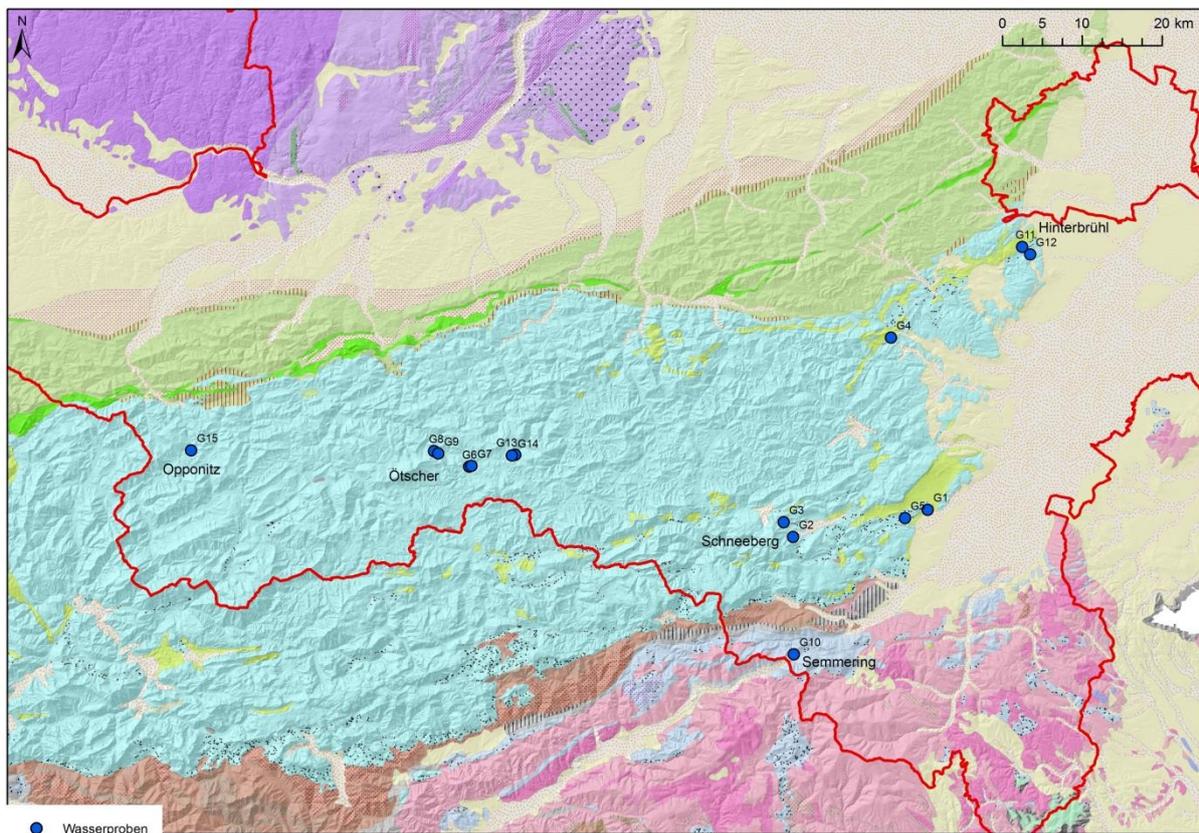


Abb. 11: Überblick der Standorte von den Wasserproben ©Irene Winkler.
Hintergrundkarten: 10-m-DGM (kagis) und geologische Karte (WEBER 1997), blaue Punktsignatur= Wasserprobe.

4.7 Laboranalytik

Die 15 Wasserproben wurden im Labor mit der Hilfe von Dr. Rudolf PAVUZA, Mitarbeiter der Karst und Höhlen Arbeitsgruppe (NHM Wien), analysiert. Es wurde der Gehalt der gelösten Ionen in mg/l genau bestimmt. Getestet wurde auf Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Hydrogencarbonat (HCO_3), Natrium (Na), Sulfat (SO_4) und zum Teil noch auf Chlorit (Cl). Tabelle 6 bietet einen Überblick der verwendeten Methoden zur Bestimmung der Ionenkonzentration.

Tabelle 6: Übersicht der Methoden zur Bestimmung der Ionenkonzentration in den Wasserproben

Ca+Mg	HCO_3	Na	Cl	SO_4
Titriplex III- Lösung (+Farbkomplex)	0,025 M HCl (+Farbkomplex)	Ionensensitive Elektrode (ISE)	Silbernitrat (AgNO_3)	aus der Ionenbilanz errechnet

Bestimmung der Ionenkonzentration in den Wasserproben

Die Titrationsmethoden wurden mit jeweils 20 ml der Probe durchgeführt. Gemessen wird der Verbrauch in ml und die Konzentration in mg/l berechnet. Für die Messung mittels ionensensitiver Elektrode wurde die ganze Probenmenge verwendet. Nicht alle Proben wurden an einem Tag analysiert, weshalb die Kalibrierung der Elektrode jeweils erneuert und in weiteren Berechnungen berücksichtigt werden musste.

Ca^{2+} und Mg^{2+}

I. Zur Bestimmung des Ca^{2+} verwendet man eine komplexometrische Titration mit 0,01-M Komplexon („K-III“), die Probe wurde dabei unter der Zugabe von NaOH einen pH-Wert von 12 eingestellt. Als Farbindikator dient Calconcarbonsäure („CalRed“).

II. Als nächstes wurde Ca^{2+} und Mg^{2+} gemeinsam bestimmt. Dazu verwendet man eine komplexometrische Titration mit 0,01-M K-III bei einem pH-Wert von 10, den man durch das Beimengen einer $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$ -Pufferlösung erhält.

Den Mg^{2+} -Gehalt kann man aus der Differenz von I. und II. (Ca^{2+} und $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ -Konzentration) berechnen (MERK 1975: 36ff.).

HCO_3^{2-}

Die Hydrogenkarbonatkonzentration erhält man mittels acidimetrischen Titration mit 0,025-M HCl unter der Verwendung von Methylorange als Farbindikator (MERK 1975: 91).

Na^+

Der Na^+ -Gehalt wurde unter Verwendung einer ionensensitiven Elektrode (ISE) ermittelt. Die Kalibrierlösungen enthielten unterschiedliche Na^+ -Konzentrationen, was in weiterer Folge bei der Berechnung des Sulfat-Gehalts berücksichtigt werden musste.

SO_4^{2-}

Die SO_4^{2-} -Konzentration kann aus der Ionenbilanz (die Werte wurden vorher in mVal/l umgerechnet) berechnet werden:

$$\text{SO}_4 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ - \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$$

Cl^-

Der Gehalt an Chlorid wurde durch argentometrische Titration (nach Mohr) mit einer 0,02-M AgNO_3 -Lösung unter Verwendung von K_2CrO_4 als Indikator bestimmt (MERK 1975: 55).

5. ERGEBNISSE

In diesem Kapitel werden die vorher beschriebenen Forschungsfragen und Hypothesen anhand der Erkenntnisse, die durch die verschiedenen Methoden gewonnen wurden, beantwortet.

5.1 Räumliche und zeitliche Eingliederung der Gipsvorkommen in Niederösterreich

Die Frage, wo man in Niederösterreich Gipskarst findet und in welchen stratigraphischen Einheiten Gips zu finden ist, wird in diesem Abschnitt erläutert.

- Die Gipsvorkommen sind an tektonische Abscherhorizonte (detachments) gebunden.
- Die Gipsvorkommen in Niederösterreich sind vorwiegend an das Haselgebirge gebunden.

Um die erste Forschungsfrage zu beantworten, wurde zur Veranschaulichung eine Karte zu den Gipsvorkommen in Niederösterreich (Abb. 12.) angefertigt. Die Punktsignaturen (orange-Gipsbergbau, pink-geologische Karte) zeigen, wo in den NKA Gips verbreitet ist.

In der unten angeführten Tabelle 7 von WESSELY (2006) sind alle Gipsvorkommen (Bergbaureviere), zugehörig ihrer lithostratigraphischen Einheit und die geologisch-tektonische Position dieser, aufgelistet. Die Anzahl der Orte mit Gipsvorkommen ist relativ hoch, jedoch sind die Vorkommen lokal nur sehr kleinräumig ausgedehnt und wurden als kleine Schürfbauwirtschaftlich genutzt. Die Gipsvorkommen der geologischen Karte decken sich weitestgehend mit den Bergbaureviere. Es gibt einzelne Orte, wo Gips abgebaut wurde, dieser aber eine so kleinflächige Ausdehnung hat, dass er in der geologischen Karte nicht aufscheint. Die Unterostalpinen Gipsvorkommen sind zB. nur als Bergbaurevier gekennzeichnet. Es gibt aber auch Gipsvorkommen, die weder im Bergbaukataster noch in der geologischen Karte verzeichnet sind. Diese wurden anhand der Oberflächenformen (Dolinen) ausfindig gemacht und anhand der Quellen überprüft, ob es sich um die Lösung von Gips im Untergrund handelt. An dieser Stelle soll das Schneeberggebiet und das Gebiet südlich des Gippel erwähnt werden, wo es mehrere Orte

mit Gipskarsterscheinungen gibt, die bei der Kartierung als solche aufgenommen wurden (grüne Punktsignatur).

Tabelle 7: Gipsvorkommen- und Lagerstätten in Niederösterreich (nach WESSELY 2006: 293f.)

Gipsvorkommen- und Lagerstätten in Niederösterreich			
Orte	Geologisch-tektonische	Lithostratigraphische	Wirtschaftliche
	Position	Einheit	Bedeutung
Opponitz - Vorderleiten	NKA	Opponitz-Formation	1839-1859
Altenmarkt/Triesting	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	(kleine Schurfbaue)
Annaberg - An der Grub	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Dickenau	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Erlaubboden - Gösing	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Innerfahrafeld	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Göstling- Salriegl	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Groisbach	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Gschaidboden	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Halbachtal- Traisenbeck	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Heiligenkreuz- Füllenberg	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Hinterbrühl- Seegrotte	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	Schaubergwerk Seegrotte
Hochleiten- Marienhöhe	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Joachimsberg- Wienerbruck	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Lehenrotte- Dixenberg- Torbach	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Neuhaus- Trübenbach- Bärenlacke	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Ortleitengraben	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Prein- Griefsleitengraben	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Preinsfeld- Hühnerkogel	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	1639 m. U. bis 1999 (gefristet)
Puchberg am Schneeberg	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	ab 1860 bis heute
Ramsau- Hainfeld- Großbichler- Leitner	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Reith	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Steinbachrotte	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Tümitz	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Waidmannsfield	NKA	Haselgebirge, Werfen-Fm.	
Göstritz- Untergudenhof- Himmelreich	Unterostalpin	Keuperschiefer, Rauhacke	(kleine Schurfbaue)
Haidbachgraben-	Unterostalpin	Keuperschiefer, Rauhacke	18 Jhr. Bis 1968
Myrthengraben-	Unterostalpin	Keuperschiefer, Rauhacke	
Alter Wellspacherbau-	Unterostalpin	Keuperschiefer, Rauhacke	
Eugenlager	Unterostalpin	Keuperschiefer, Rauhacke	
Katharinenlager	Unterostalpin	Keuperschiefer, Rauhacke	
Im Greis- Alter Doppelreiterbruch	Unterostalpin	Keuperschiefer, Rauhacke	
Maria Schutz- Jagdschloss	Unterostalpin	Keuperschiefer, Rauhacke	
Prein-Eselbachgraben	Unterostalpin	Keuperschiefer, Rauhacke	

Die Gipsvorkommen in Niederösterreich befinden sich in vier unterschiedlichen stratigraphischen Einheiten. Die mit Abstand bedeutendsten Gipsvorkommen findet man im „permoskytischen“ *Haselgebirge*. Die Gipse der *Werfen-Formation* nehmen in Niederösterreich ebenfalls eine wichtige Rolle ein, wobei eine Abgrenzung zum Haselgebirge meist nicht möglich ist. In der *Opponitz-Formation* und im *Unterostalpin des Semmerings* gibt es lokal ebenfalls größere Vorkommnisse von Gips.

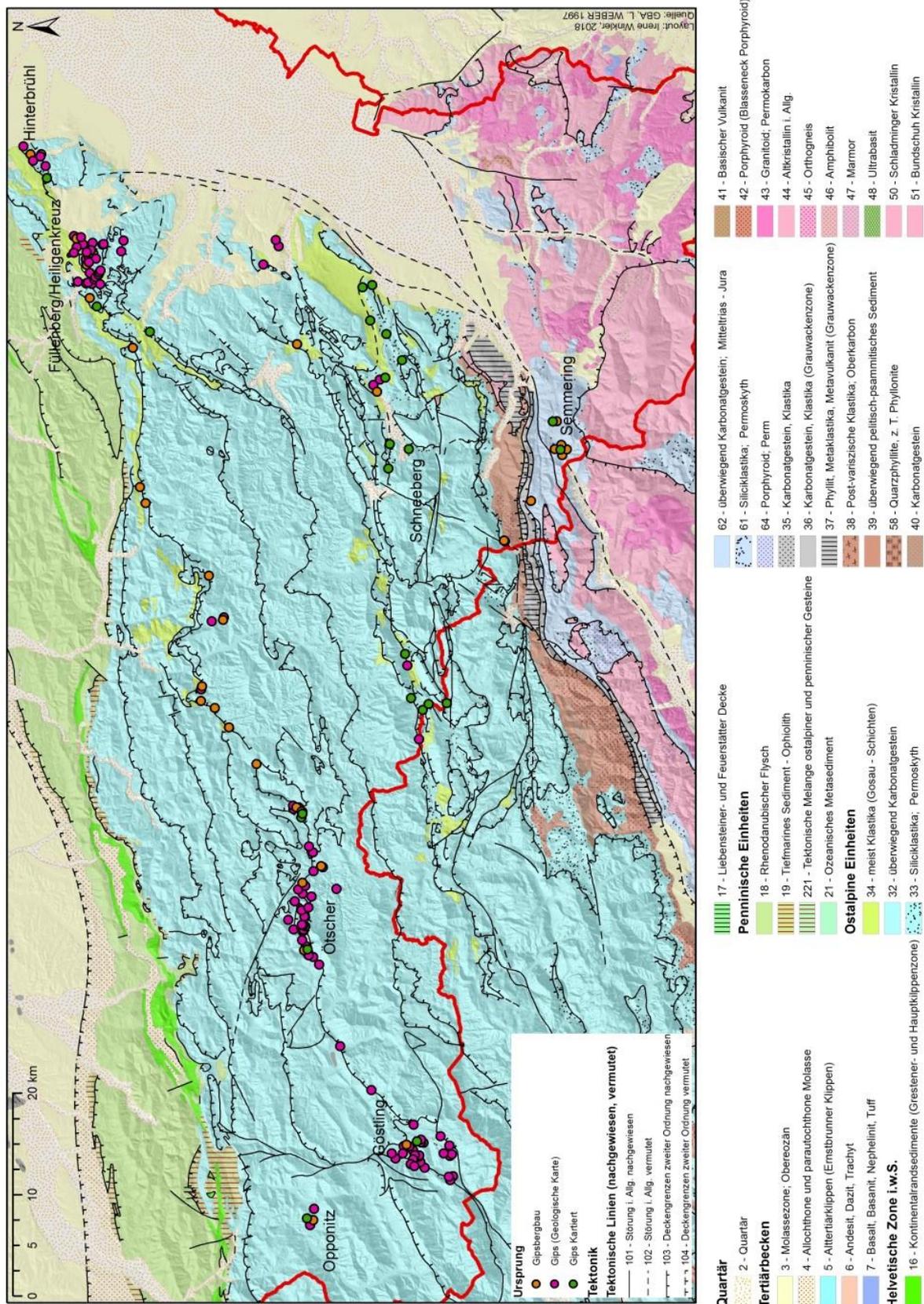


Abb. 12: Gipsvorkommen in Niederösterreich ©Irene Winkler, Hintergrundkarte: GK (WEBER 1997) mit dem 10-m DGM (kagis), Gipsvorkommen nach dem Ursprung der Information über Gipsvorkommen (orange= Gipsbergbau, pink= Gips GK (GBA), grün= Gips kartiert).

In den NKA tritt das Haselgebirge, oft zusammen mit den Werfener Schichten, im Bereich der Deckengrenzen zutage. Die Vorkommen verlaufen linear entlang der Grenzen und weisen eine sehr geringe räumliche Ausdehnung auf. Die Gipsvorkommen des Unterostalpins und der Opponitz-Formation sind allerdings nicht an Deckengrenzen gebunden und somit gilt die Hypothese ausschließlich für das Haselgebirge und die Werfener Schichten.

Abb. 13 zeigt einen Ausschnitt der Haselgebirgsvorkommen in Niederösterreich. Im größeren Maßstab kann man gut erkennen, wie klein die Bereiche mit Haselgebirgsvorkommen sind.

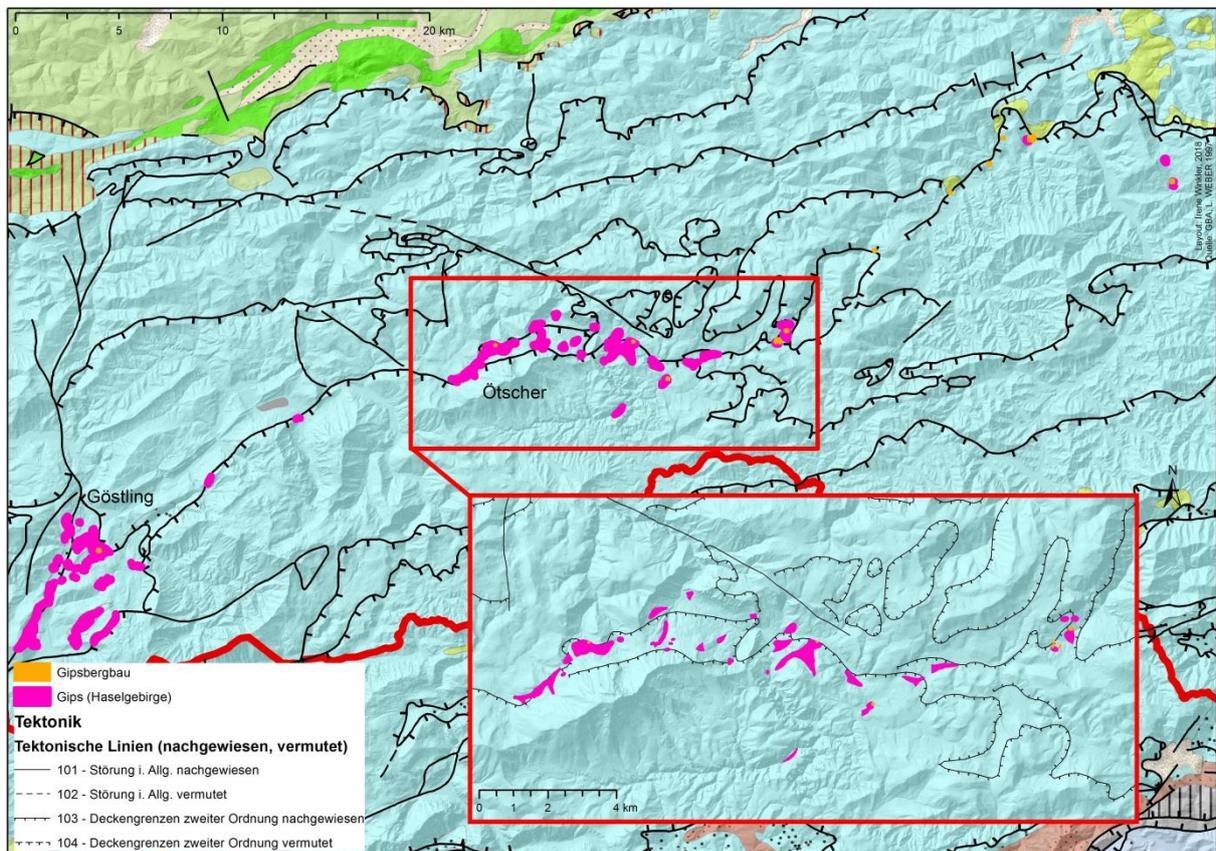


Abb. 13: Haselgebirgsvorkommen entlang der Deckengrenzen ©Irene Winkler, Hintergrundkarte: GK (WEBER 1997) mit dem 10-DGM (kagis), Gipsvorkommen nach dem Ursprung der Information über Gipsvorkommen (orange= Gipsbergbau, pink= Gips (Haselgebirge)(GBA), Linien= Deckengrenzen (WEBER 1997).

Nachweis der Gipslösung anhand von Wasserproben

Um im Gelände feststellen zu können, ob sich Gips im Untergrund befindet wurde die ELF der Quellen und teilweise der Fließgewässer gemessen. Dadurch bekommt man einen Hinweis auf die Gesamtmineralisation im Wasser. Voralpine Karbonat-Karstwässer liegen im Bereich zwischen 300-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Bei einer ELF von 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ kann man bereits davon ausgehen, dass Sulfat im Wasser gelöst ist. Je nach Seehöhe kann man zwischen Sulfat haltigen Karstwässern und Wässern mit eindeutig überwiegender Sulfatlösung unterscheiden. Das Diagramm in Abb. 14 beruht auf empirischen Ergebnissen von PAVUZA (2019) und bietet einen Überblick über die Zusammenhänge von ELF und dem Sulfatgehalt in Gewässern.

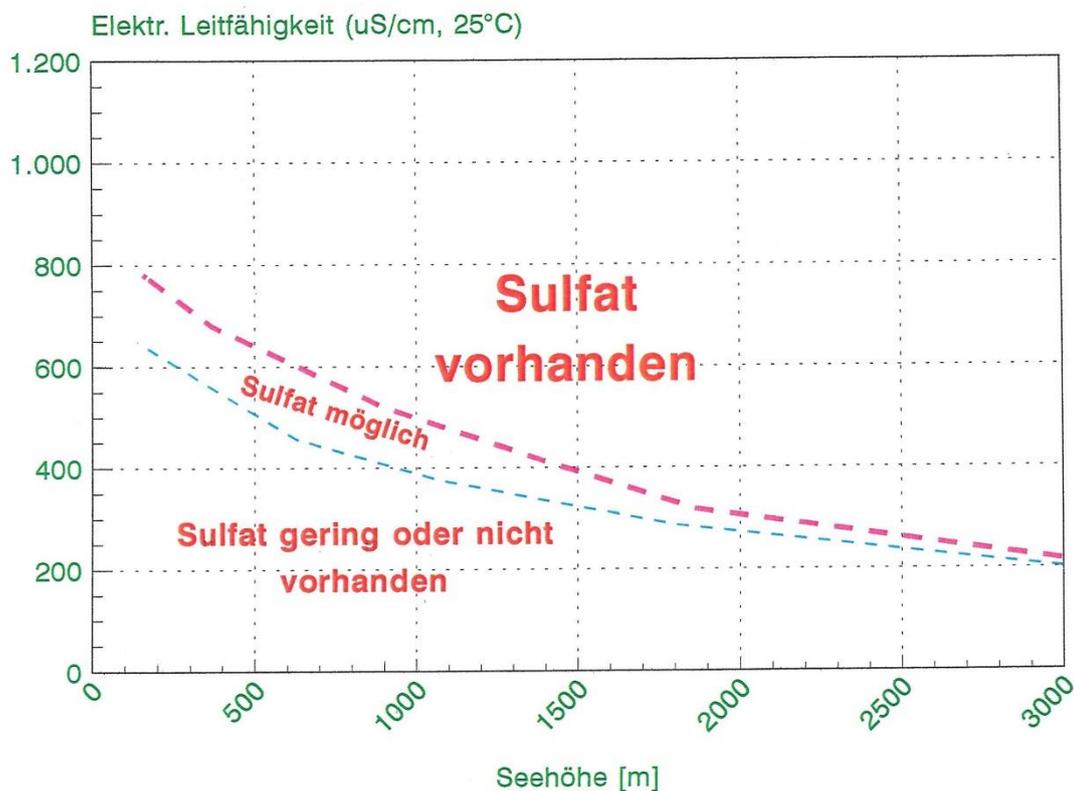


Abb. 14: Sulfatgehalt (ELF) und Seehöhe von Quellen (PAVUZA 2019)

Die Laboranalyse zeigte, dass mit hoher ELF die Summe der Gelösten Ionen ebenfalls hoch war. Vor allem die Konzentration der Sulfate war in den Proben mit hoher ELF dementsprechend hoch. Es wurden nicht alle Proben auf Cl getestet, da die Na-Konzentrationen zu gering waren, um wirklich Steinsalzvorkommen zu vermuten. Der Grund für die hohe ELF und die hohen Mineralkonzentrationen (Tabelle 8) kann also

vorwiegend auf die Lösung von Gips im Untergrund zurückzuführen sein. Der Sulfatgehalt in den Proben von Annaberg, vom Ötschergebiet und vom Schneeberg ist mit über 1 g/l besonders hoch.

Tabelle 8: Gesamtmineralisation der Wasserproben ©Irene Winkler

Probe	Ca	Mg	HCO ₃	SO ₄	Na	Cl	SUM	ELF	Schüttung
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	μS/cm	l/sek
Dörfles	G1	327	51	274	770	0,9	1423	1720	0,7
Schneebergdörfel	G2	499	50	161	1268	0,2	1978	2392	0,01
Losenheim	G3	434	35	153	1033	0,1	1655	1830	10
Meerauge	G4	303	30	327	589	18,6	136	1404	1954
Unterhöflein	G5	275	9	286	467	1,1	1038	1322	30
Reith	G6	206	66	209	590	0,3	1071	1242	
Hst. Annaberg	G7	110	30	269	173	1,1	583	775	0,5
Trübenbach	G8	483	47	168	1214	0,4	1912	2264	2
Erlaufboden	G9	437	52	123	1158	0,1	1770	2060	15
Semmering	G10	522	80	298	1332	79,5	2312	2740	1
Hinterbrühl	G11	180	36	324	322	70,8	933	1515	0,5
Seegrotte	G12	506	106	38	1620	41,8	85	2397	2760
Annaberg	G13	506	80	260	1324	5,3	2175	2430	0,3
Annaberg	G14	472	68	182	1260	10,4	1992	2390	1
Opponitz	G15	356	34	262	784	2	1438	1708	0,3

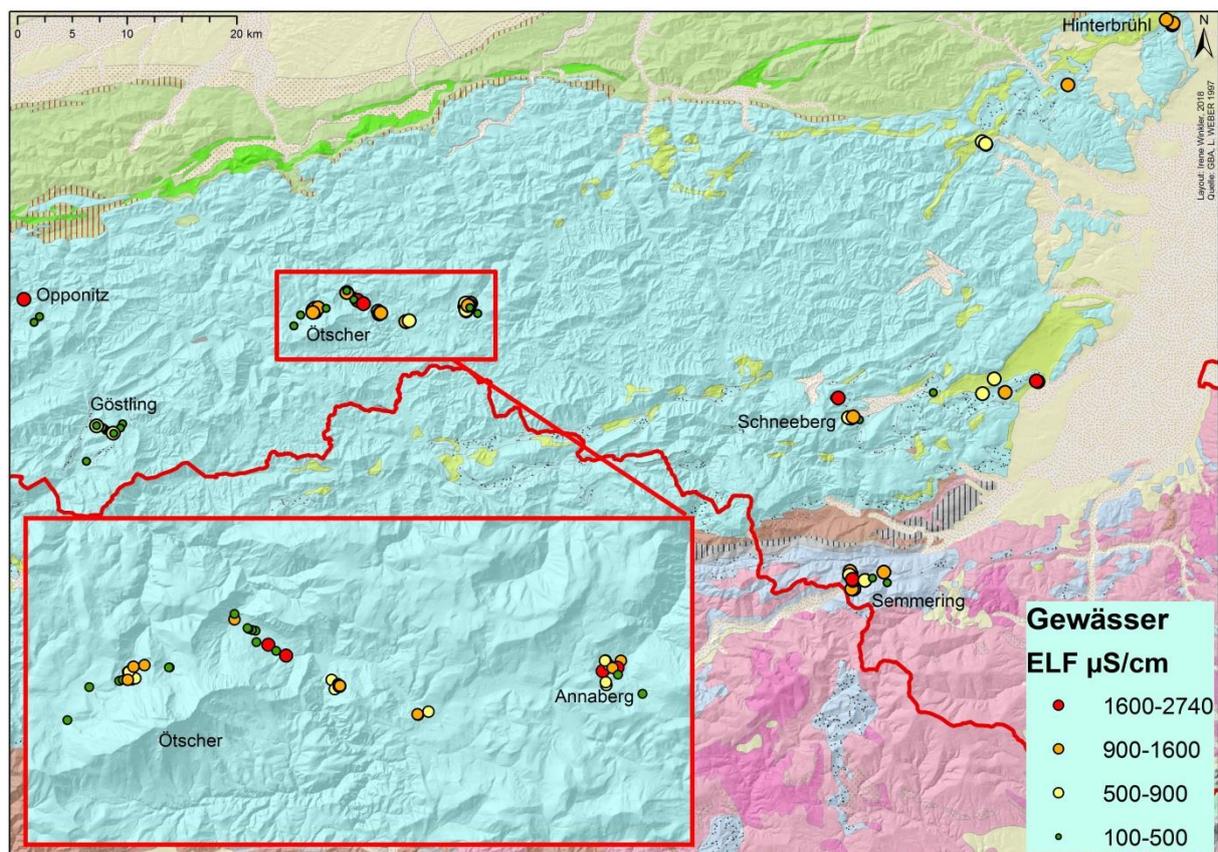


Abb. 15: ELF der gemessenen Quellen ©Irene Winkler, Hintergrundkarte: GK (WEBER 1997) mit dem 10-m DGM (kagis).

Abb. 15 gibt einen Überblick über die gemessenen ELF Werte. Insgesamt wurden 94 Messpunkte aufgenommen, deren Werte zwischen ~ 200 und $2740 \mu\text{S}/\text{cm}$ liegen. Gemessen wurde an Quellen, Bachverläufen und in stehenden Gewässern, wie Teichen, Tümpeln oder in der Seegrotte. Man kann erkennen, dass die Höhe der Werte kleinräumig sehr unterschiedlich sein kann. Es wurde keine Klassifikation des Sulfatwerts/der ELF nach der Seehöhe vorgenommen. Die höchsten Gipsvorkommen in Niederösterreich befinden sich am Ötscher bei ca. 1100 m Seehöhe. Darüber wurden keine Quellen beprobt. Die meisten der gemessenen Quellen weisen eine deutlich erhöhte Mineralisation im Wasser auf. 35 der gemessenen Gewässer hatten eine ELF $>1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ und 5 weitere $>2000 \mu\text{S}/\text{cm}$. Die Quellen mit hoher ELF hatten verhältnismäßig geringe Schüttungen (zwischen 0,001-30 Liter/Sekunde). Die Temperaturen der Gewässer lagen zwischen $7-18^\circ\text{C}$. Lediglich der Teich in der großen Hohlform W von Reith hatte $23,8^\circ\text{C}$. Die Ergebnisse der Gesamtmineralisation (mg/l) sind nur geringfügig niedriger, als die Messergebnisse der ELF. Zur schnellen Überprüfung im Gelände, ob die Formen auf Gipslösung zurückzuführen sind, bietet diese Methode eine optimale Grundlage. Die Menge an gelösten Sulfaten und die Schüttung der Quelle begünstigen die Hohlraumbildung und somit auch die Oberflächenmorphologie.

Geologische Beschreibung der Gebiete

Hinterbrühl (bis Altenmarkt)

Die Gipsvorkommen in der Marktgemeinde Hinterbrühl befinden sich an der Kalkalpenbasis (Haselgebirge, Werfener Schichten) und weisen permoskythisches Alter auf. Der Basalteppich zieht sich von W Weissenbach, über einen Teil von Hinterbrühl bis Hochleiten. Die Gipssteine sind grau oder rot und befinden sich in bunten Tonschieferlagen oder in dunklen Dolomitlagen. Durch die Deckenverschiebung wurden die weichen Gipse intensiv verformt.

Das Wahrzeichen von Hinterbrühl, die Seegrotte, liegt zur Gänze im Haselgebirge, wobei der nördliche und südliche Teil der Seegrotte gipsärmere Bereiche darstellen, als der Hauptteil des ehemaligen Bergwerks (POSCH-TRÖZMÜLLER et al. 2015: 5ff).

Heiligenkreuz/Füllenberg

Eingebettet im permischen Haselgebirge liegt im Bereich zwischen Vorderbrühl und Alland ein 1,2 km langer und 50-200 m breiter Gipsstock, der tektonisch bedingt diskordant von den Werfener Schichten umlagert wird. Preinsfeld befindet sich an der Stirn der Göllerdecke auf der Peilstein Decke (Tirolikum). Normalerweise sind die permischen Evaporitvorkommen der NKA an das juvavische Deckensystem gebunden, deswegen stellt das Vorkommen in diesem Bereich eine Ausnahme dar. Die Komplexität der kalkalpinen Decken im Basalbereich führt oft zu Verwechslungen der oberpermischen Gips- und Anhydritvorkommen mit denen im Reichenhallerniveau der Skyth/Anis-Grenze (KRYSTIN und LEIN 1996: 4f.).

Schneeberg

Im Schneeberggebiet ist lediglich das Gipsvorkommen bei Puchberg in der geologischen Karte verzeichnet. FINK (1973) beschreibt den mehrere hundert Meter breiten und 1 km langen Gipskörper bei Pfennigbach als dunkelgrau bis weißen gebänderten Gips der Werfener Schichten. Laut HOLZER (1965) handelt es sich um einen Anhydritstock mit Gipshut und nicht um einen einheitlichen Gipskörper. Der Anhydritstock ist in das Allgemeine Streichen der Gesteine in ENE Richtung eingebettet und anhand seiner steil aufgerichteten Schichtfolge, die ohne Unterbrechung in Gips übergeht, lässt sich sagen, dass der Anhydrit durch Hydratation in Gips umgewandelt wurde. Im S des Bergbaugebiets befindet sich eine Störungszone mit schwarzen wasserführenden Letten. Die Gipslagerstätte reicht bis nahe an die Oberfläche, wo der Gips eine verkarstete und unruhige Geländeoberfläche schafft. Stellenweise sind auch Trümmer von Dolomit, Tone und Mergel im Gips eingebettet. Im südlichen Teilabschnitt des Abbaugebiets findet sich schwarzer Gips, der aufgrund von „stark zersetzter, oxydierter pyritischer Substanz“ seine Färbung erhält.

Ötscher

Die Gipsvorkommen des Ötschergebiets liegen zumeist im permischen Haselgebirge (z.T. Werfener Schichten) und ziehen sich von Trübenbach bis Reith. S der „Zwölfer Mauer“ beginnt der geologische Gesteinslehrpfad von WESSELY und HEINRICH (2015), wo man einen Gipsaufschluss sieht. In den grauen Gesteinskomponenten des Haselgebirges sind weiße Gipsadern zu erkennen. Die Haselgebirgsblöcke sind von gelber Rauhwanke ummantelt.

Richtung Erlaubboden auf der N-Seite des Gr. Koller ist das Haselgebirge mit den Werfener Schichten verstrickt, anstehender Gips konnte jedoch nicht gefunden werden. TRIMML (1952) ordnet die Gipse in diesem Bereich den Werfener Schichten zu.

Annaberg

Weiter von Reith über das Lassingtal sind großflächig Werfener Schichten mit Gipsvorkommen kartiert. Die wasserstauenden Werfener Schichten stehen, u.A. in Annaberg, in enger Verbindung mit Gipsen des Haselgebirges (FINK 1999: 5). Das Gipslager N von Annaberg im alten Bergwerk hatte ca. eine Mächtigkeit von 50 m horizontal geschichteten Gipsen mit Toneinschaltungen in den Wechsellagen (SPENGLER 1931: 17).

Göstling

Entlang der Deckengrenzen in den Göstlinger Alpen gibt es Aufschlüsse der Werfen Fm., wo auch Gipse des Haselgebirges zutage treten. Da die Gipsvorkommen zumeist von anderen Schichten überlagert sind, kann man diese nur durch Setzungen oder Erdfälle erschließen. Wenn Gips aufgeschlossen ist, findet man ihn als faseriges, fast lamellenartig geschichtetes Gestein in gelblich-roter oder grauer Farbe (NAGL 1970: 9ff.).

Opponitz

Das Gips und Anhydritvorkommen in den Opponitzer Schichten ist eine stratigraphische Seltenheit, die erst bei dem Bau des Ybbstalwerks zum Vorschein kam. 1921 gab es einige Tagesaufschlüsse, wo man prachtvoll verfaltete Gipse und Anhydrite sehen konnte. Besonders gut waren diese im Hinterleiten- und Hühnergraben zu sehen. Im

Hinterleithenstollen wurden verfaltete Gipse und Anhydrit, sowie lehmige Rauhwaacke erschlossen (AMPFERER 1930: 45ff.).

Semmering

Die Gipse des Semmeringgebiets sind in Schichten von Buntem Keuper oder violetten oder grünen Serizitschiefern eingelagert. Im Bereich des Haidbachgrabens bildet der Gipskörper des *Katharinalagers* das größte Gipsvorkommen im Semmeringgebiet. Es handelt sich um einen asymmetrischen Anhydritstock mit Gipsmantel, was sich in der Mächtigkeiten des Mantels widerspiegelt. Trotz tektonischer Beanspruchung weist der Gips kaum Verfaltungen auf. Die Ursache dafür könnte die Lagerung zwischen den weichen Serizitschiefern sein, in der der Anhydritstock mit Gipsmantel eingebettet ist. In den Schieferlagen kommen oft 10-20 cm mächtige Gipsbänke vor, die eine graue Bänderung aufweisen. Neben dem Bändergips kommen auch reiner Gips (Alabaster) und stärker verunreinigter Gips vor, der als Baugips abgebaut wurde (BAUER 1967: 72ff.).

Die Gipse des *Eugenlagers* sind ebenfalls im Serizitschiefer eingelagert. Der Gips ist stärker verunreinigt und die Dolomitlagen nahmen mit der Tiefe zu. In der Nähe des Jagdschlusses am Bärensattel findet man Gipskeuper, der als Scholle eingelagert ist. Weiter E bei Göstritz findet man das am längsten bekannte Gipslager am Semmering. Es handelt sich um einen ca. 35 m mächtigen Gipskörper, der gegen E geringmächtiger wird. Der Gips ist weiß grau gebändert und liegt gut geschichtet mit Serizitschieferlagen vor. Auch hier handelt es sich um einen Anhydritstock, der einen fließenden Übergang zum Gipsmantel aufweist (BAUER 1967: 72ff.).

5.2 *Oberflächenformen im Niederösterreichischen Gipskarst*

Im folgenden Abschnitt wird auf die Oberflächenformen, die sich im Gipskarst bilden, näher eingegangen und die Forschungsfrage, anhand der bei der Geländekartierung gewonnenen Eindrücke, beantwortet.

- Welche Oberflächenformen gibt es im Gipskarst?
 - Die Oberflächenformen sind die gleichen wie im Karbonatkarst (Dolinen, Karren, Ponore).

Wie in Kapitel 4.1 erwähnt, gibt es sieben Gebiete mit größeren Gipsvorkommen und am DGM erkennbaren Oberflächenformen. Annaberg gehört nach dieser Aufzählung zum Ötschergebiet, wird jedoch hier als eigenes Gebiet genannt, da es sich als eines der bedeutendsten Gipskarstlandschaften herausstellte.

Die Gebiete wurden im Sommer 2018 aufgesucht und die Oberflächenformen kartiert. Die einzelnen Gebiete werden mit ihren Eigenschaften und Besonderheiten für Gipskarstgebiete beschrieben. Es wurden zusätzlich für die „natürlichen“ und größeren Gipskarstlandschaften (keine Oberflächenformen des Bergbaus) *morphologische Karten* erstellt, die als visuelle Zusammenfassungen der beschriebenen Formen dienen.

Hinterbrühl

Die Gemeinde Hinterbrühl ist eine sehr spezielle Form des Gipskarstes in Niederösterreich, da es sich um stark bebautes Siedlungsgebiet handelt. Im DGM war es nicht leicht Oberflächenformen in Hinterbrühl auszumachen, da es kaum unbebaute Flächen gab. Es wurde nur eine Doline auf einem Feld bei Weissenbach in einer größeren Senke kartiert, die schon zuvor bei der Landesaufnahme 1872 und von POSCH-TRÖZMÜLLER et al. (2015) aufgenommen wurde. Anfang September 2018 ereignete sich ein Erdfall auf der Kröpfelsteigstraße, wo sich innerhalb von drei Wochen noch zwei Löcher im Asphalt aufgetan haben.



Abb. 16: Erdfälle in Hinterbrühl (links: zwei kleine Löcher im Asphalt, rechts: zuerst verfüllter und wieder offengelegter Erdfall ©Irene Winkler

In Hinterbrühl ging es also vor allem um die Quellen und ihre chemische Zusammensetzung, als um Oberflächenformen. Allerdings gab es im Stadtgebiet kaum Bäche. Die Quellen, wo die ELF gemessen wurde, waren alle hoch mineralisiert (1200-1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und hatten eine Schüttung von 0,2-0,5 l/s. Die Seegrotte in Hinterbrühl war ein ehemaliges Gipsbergwerk und dient heute als Schaubergwerk für Besucher (WESSELY 2006: 293f.). In der unteren Etage des Bergwerks kam es bei einer Sprengung zur Überflutung des unteren Stocks. Heute ist ein großer unterirdischer See dort zu finden (SEEGROTTE o.J.). An den Wänden der Stollen kann man ab und zu orangen Gips antreffen. Aufgrund der Gipsvorkommen im Untergrund wurde rund um die Seegrotte eine Bausperre verhängt. In anderen Gemeindeteilen muss vor jedem Bauvorhaben eine Bohrung mit Gutachten erfolgen, um Gips im Untergrund, aber vor allem Hohlräume, ausschließen zu können (MOSER 2018: 39ff.).

Füllenberg/Heiligenkreuz

Das Gipskarstgebiet von Heiligenkreuz und den nah angrenzenden Orten, wie Füllenberg, Preinsfeld oder Alland und Groisbach, erstreckt sich über einen flachen bebauten Talboden (Infrastruktur und Gebäude) mit sanften Erhebungen mit Weide- und Waldflächen. NE des alten Gipsabbaugebiets von Füllenberg liegen einige kleine (2-4 m Durchmesser) Trichterdolinen und eine Einsturzdoline (ca. 7 m Durchmesser und unbestimmte Tiefe) im Wald. Eine große kreisrunde Hohlform mit 35 m Durchmesser befindet sich N des Bergbaureviers in der Wiese. Die Vegetation in der Doline ist deutlich

höher und begrenzt die Form, sodass sie sich optisch von der Umgebung abhebt. Im E-Teil des Abbaugebiets befinden sich mehrere ca. 4 m tiefe Pingen. SE des S Teil vom Bergbaurevier sind kleine ca. 1 m tiefe Hohlformen ins Gelände eingetieft. Die Hohlformen am Bodenbergs S von Heiligenkreuz sind zum Teil nicht eindeutig als Dolinen erkennbar, da das Gelände anthropogen verändert wurde. S des Gipsbergwerks von Preinsfeld gibt es flache Hohlformen ohne genaue Abgrenzung in der Wiese. Das wellige Gelände und die hohe ELF der Quelle am unteren Teil des Hanges lassen auf Gipslösung im Untergrund schließen.



Abb. 17: Gipsdoline bei Füllenberg ©Irene Winkler

Gipskarstmorphologische Gegebenheiten gibt es an der Oberfläche im Bereich zwischen Alland und Groisbach nicht, aber kleine Bergbaureviere und der hoch mineralisierte (950 $\mu\text{S}/\text{cm}$) Groisbach an sich zeugen von Gips im Untergrund.

SE von Altenmarkt a.d. Triesting befindet sich Sulzbach, wo das sogenannte „Meerauge“ liegt. Das Meerauge ist ein nahezu kreisrunder Teich mit starker Trübung. HOCK (1954) berichtet, dass zu dieser Zeit kein Zufluss in den Teich vorhanden war, sich aber eine Mineralquelle in SE Richtung vom Teich befindet. In dieser Richtung war keine hoch mineralisierte Quelle, aber von W mündet ein Gerinne mit 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in das Meerauge. Das Meerauge an sich hat eine ELF von 1954 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und es ist neben Sulfat noch Chlorid gelöst.

Östlich Schneeberg

Die Gipskarstlandschaft des Schneeberggebiets zieht sich über den breiten Talboden des Puchberger Beckens, welches von Bergen umgeben ist. Das besiedelte Tal grenzt an weite Weiden- und Wiesenflächen und bewaldete Bergareale.

Die Sonnleiten E von Grünbach am Schneeberg befindet sich tektonisch gesehen in der Gleitschollenzonenzone mit den Reichenhaller Schichten, Werfener Schichten, Wettersteinkalk und beinhaltet Brekzien und Konglomerate der Gosau-Gruppe der Grünbach-Neue-Welt-Mulde (SUMMESBERGER 1991). Es befinden sich am S-Hang einige große und tiefe Trichterdolinen mit Durchmessern zwischen 20-30 m. Am W Ende liegt eine Doline mit ungefähr 50 m Durchmesser und 30 m Tiefe. E bei Pfennigbach und in Grub gibt es eine hohe Dichte an Trichterdolinen verschiedenster Größe (1-25 m Durchmesser). Eine große Trichterdoline (20 m Durchmesser) ist noch NW des Eichbergs zu finden.

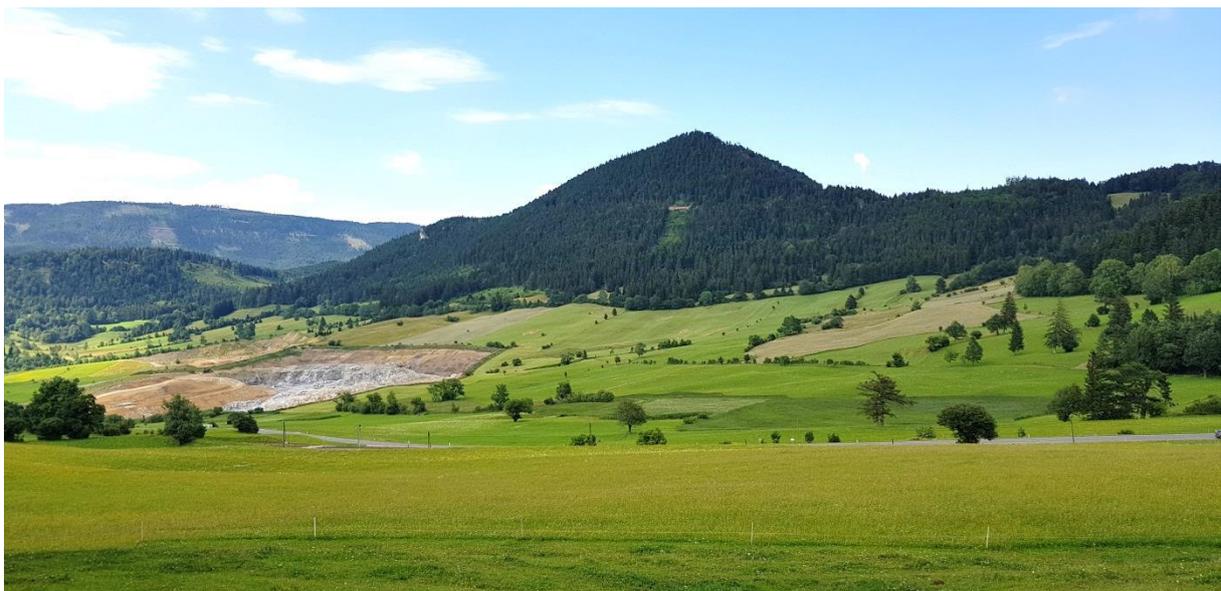


Abb. 18: Gipsbergbau bei Puchberg/Schneeberg ©Irene Winkler

Beim Rigipswerk ist die ELF bei einem kleinen Abfluss ($2498 \mu\text{S}/\text{cm}$), der in den Pfennigbach geleitet wird, und im Pfennigbach selber erhöht ($1966 \mu\text{S}/\text{cm}$). Das Bergwerkgebiet wird zur Staubverminderung bewässert, was die höhere ELF in diesem Bereich erklären könnte. N des Abbaugebiets befindet sich noch eine höher mineralisierte Quelle ($703 \mu\text{S}/\text{cm}$). N des Gipsbergbaugebiets liegt ein großes Pingengebiet, welches das Gelände unruhig erscheinen lässt und die natürliche Böschung stört. Der große Trichter

bei Schneebergdörfel (E der Endmoräne) ist ungefähr 12 m Tief und an den Dolinenwänden sind quartäre Schotter aufgeschlossen. Die Endmoräne weist einige Depressionen auf, deren Form zu den Trichterdolinen in diesem Gebiet passt. Die große Hohlform (ca. 55 m Durchmesser) ist dicht bewachsen und der Dolinenboden war nicht zu sehen. Am S-Rand der Endmoräne hat sich ein ca. 5 m tiefer und 9 m breiter Trichter im steilen Gelände eingetieft. S von Schneebergdörfel („Wiege“) gibt es mehrere kleine (1 m) bis mittelgroße Dolinen (~5 m eine mit Tümpel) in den Werfener Schichten. Das Gelände wirkt im DGM und in der Natur sehr „unruhig“ und eine Massenbewegung ist nicht auszuschließen. Die Quellen in den Werfener Schichten sind nur gering mineralisiert (265 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ca. 50 Höhenmeter weiter oben auf der „Wiege“ befindet sich eine große Doline (~15m tief), die laut Karte im Wettersteinkalk liegt. Es ist kein anstehendes Gestein zu sehen, nur Hangschutt. Im Wald W der „Wiege“ sind ca. 20 kleine Trichterdolinen (1-2 m Durchmesser) eingetieft und an den Forststraßen befinden sich einige Aufschlüsse (ca. 4 m Höhe) mit Hangschutt. Beim Schneidergraben sind die Quellen deutlich höher Mineralisiert, es liegen einige Dolinen am E-Rand der Endmoräne und das wellige Gelände könnte auf eine Massenbewegung und/oder durch Lösung im Gips zurückzuführen sein.



Abb. 19: wellige Wiese beim Schneidergraben/Schneeberg ©Irene Winkler

Im Ortsgebiet Sonnleitn kam es laut Erzählungen zweier Anrainer häufiger zu trichterförmigen Einstürzen, die anschließend wieder verfüllt wurden. S von Sonnleitn liegen vier größere (20-25 m Durchmesser) Trichterdolinen, die zum Teil im Wald und in

der Weidefläche liegen. In Losenheim befinden sich Fischteiche, die eine starke Trübung aufweisen. In den obersten Teich wird eine Quelle im S geleitet. Die Quelle hat ebenfalls eine starke Trübung und eine ELF von 1830 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Schüttung von ca. 10 l/s), was auf gelöstes Haselgebirge hinweist. W der Kote 872 sind die Quellen unauffällig mineralisiert (426 $\mu\text{S}/\text{cm}$) und liegen laut Karte in Werfener Schichten/Quartäre Sedimente. Im Hang S der Quelle haben sich kleinere (~ 2 m Durchmesser) Trichter gebildet. Weiter E des Beschneiungsteichs gibt es noch zwei Dolinen, wobei die größere (ca. 20 m Durchmesser) teilweise verfüllt ist. Die W Quellen in diesem Bereich sind niedrig mineralisiert.

Gipskarst im Schneeberggebiet

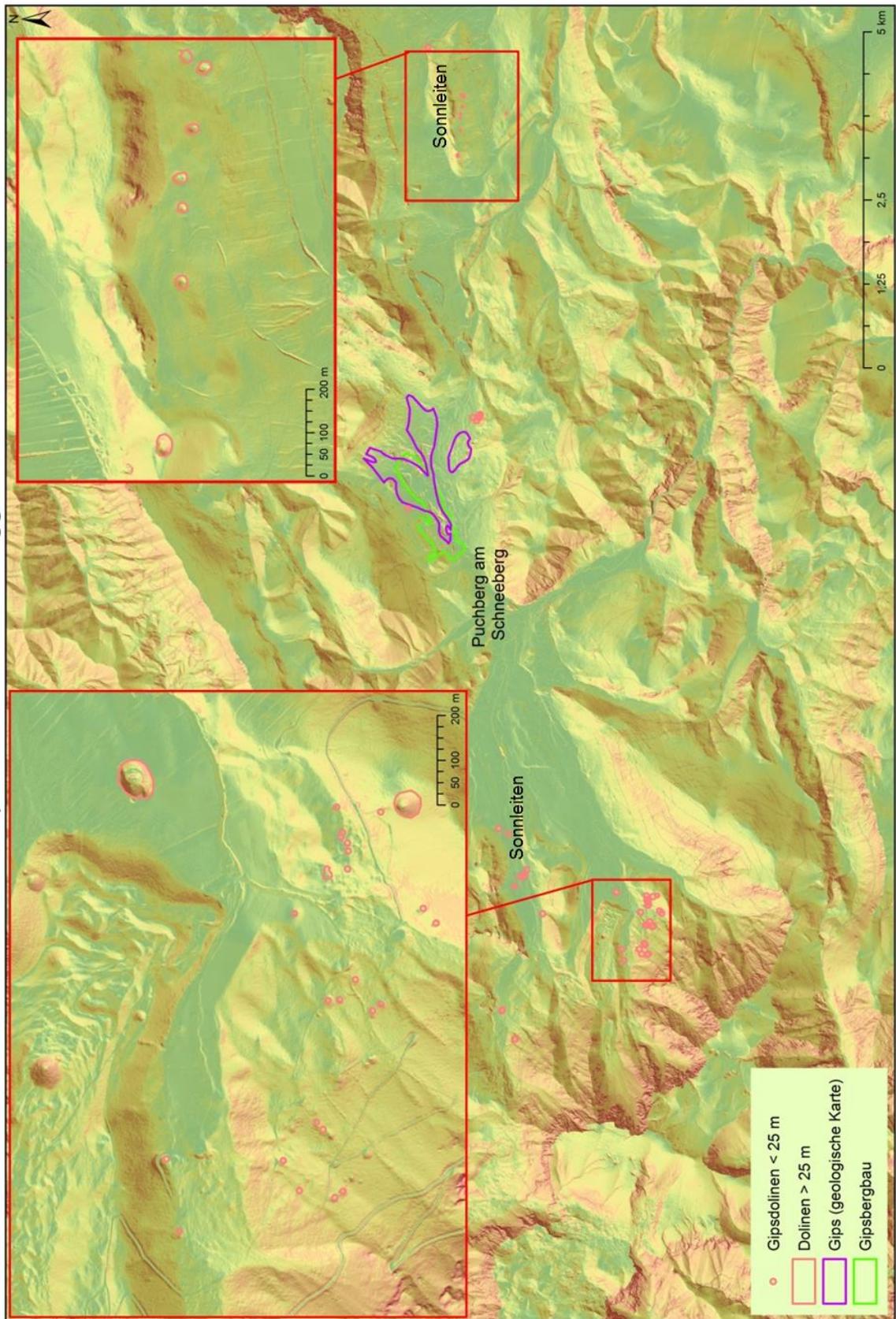


Abb. 20: Gipskarstmorphologische Karte vom Schneeberggebiet ©Irene Winkler, Schummerungs- und Hangneigungskarte des 1-m-DGM (nögis)

Ötschergebiet

Der Ötscher ragt mit seiner markanten Form und einer Höhe von 1893 m aus der Landschaft heraus. Er ist umgeben von tief eingeschnittenen Schluchten und steilen Bergflanken. Die Gipsvorkommen und die damit verbundene Oberflächengestaltung zieht sich von der Ötscher N-Seite Richtung E nach Erlaufboden, Reith bis hin zu Annaberg.

S von Trübenbach am N-Hang der Gießwand gibt es vereinzelt Dolinen (zwischen 4 und 20 m Durchmesser). Im DGM ist eine sehr unruhige Geländeoberfläche mit Hohlformen zu erkennen, die in der Natur aber keine wirklichen Abgrenzungen aufweisen. Am Fuße des Hangs im "unruhigen" Bereich befindet sich eine sehr trübe Quelle mit hoher ELF (2264 $\mu\text{S}/\text{cm}$).



Abb. 21: trübe hochmineralisierte Quelle beim Ötscher ©Irene Winkler

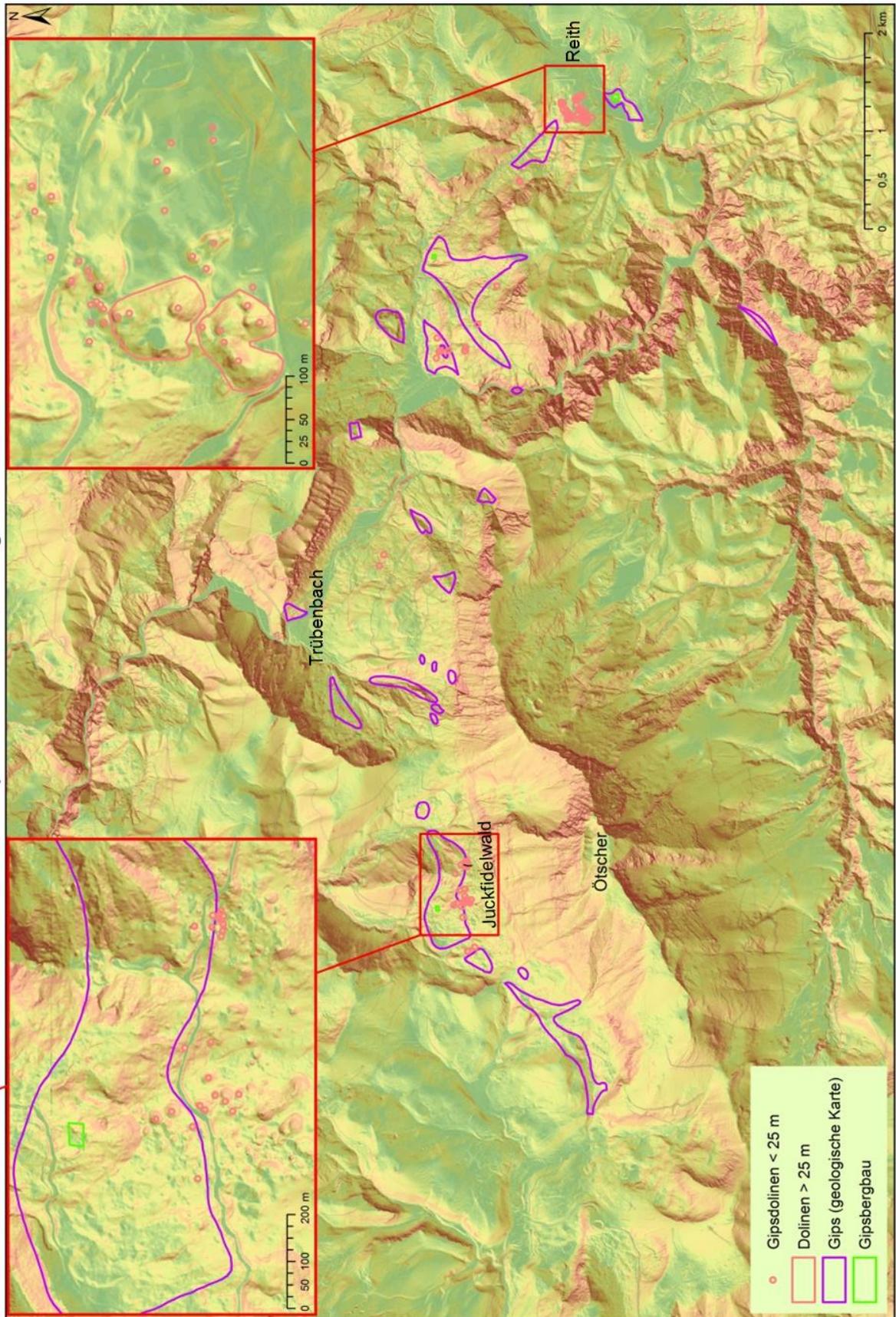
Der ganze Bereich könnte aufgrund einer großen Rutschung und zusätzlicher Gipslösung im Untergrund seine Morphologie bekommen haben. Das Gelände ähnelt einer Buckelwiese. Die anderen Quellen am Hang sind eher unauffällig mineralisiert. Weiter E befindet sich ein großer Graben, wo sich laut geologischer Karte von BAUER und

SCHNABEL (1998) Gips befindet. Es gab keine permanenten Gerinne im oberen Bereich des Grabens, aber die Quelle am Hangfuß ist hoch mineralisiert (2060 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

An der Ötscher N-Seite, im Bereich des Juckfidelwalds, ist eine große Schutthalde/quartäre Sedimente, die von Haselgebirgsvorkommen unterlagert sind. Die Hänge sind äußerst rutschungsanfällig, was man auch durch den Säbelwuchs der Bäume erkennen kann. Auffällig war, dass es fast im ganzen Wald junge Buchen gibt. Ob sie zur Hangstabilisation angepflanzt worden sind, oder ob sie natürlich nachgewachsen sind, ist unklar. Viele Quellen haben zu der Zeit kein Wasser geführt oder waren unauffällig mineralisiert ($<600 \mu\text{S}/\text{cm}$). Es gibt eine hoch mineralisierte Quelle mit 1225 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und einer Schüttung von 0,02 l/s im W Bereich des Waldes. An kleinen Hangaufschlüssen (ca. 0,5 m) ist der blau-gräuliche Haselgebirgstön zu sehen, jedoch kein anstehender Gips. Es befinden sich zahlreiche Hohlformen (1-20 m Durchmesser) im Oberhang, die aber durch gravitative Prozesse modifiziert wurden. Der E-Bereich des Waldes ist mit kleinen und mittelgroßen Trichterdolinen (1-15 m Durchmesser) übersät. Im Bereich des ehemaligen Gipsbergbaues ist die Vegetation deutlich kleiner, als in den angrenzenden Bereichen. Oberhalb des Bergbaues gibt es zwei große Hohlformen (ca. 30 m Durchmesser). Die Quelle E vom Bergbau ist hoch mineralisiert (1091 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Weiter im W bei der Ötscherwiese/Wassertal und im Sulzbachgraben waren die Gerinne geringer mineralisiert (400-490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bei einer Schüttung von 0,002-1 l/s). Auch in diesem Bereich führten die Gerinne wenig bis gar kein Wasser. Oberhalb des Sulzgrabens gibt es einige Hohlformen (5-15 m Durchmesser) im Hangschutt.

SW des Bahnhofs in Reith (Haltestelle Annaberg) befindet sich ein Bereich mit großen Hohlformen und zahlreichen kleinen und größeren Trichterdolinen (1-20 m Durchmesser), die oft ineinander übergehen. In einer der großen geschlossenen Hohlformen (ca. 110 m Länge) liegen zwei kleine Tümpel, die höher mineralisiert (1083-1242 $\mu\text{S}/\text{cm}$) sind. Dem Straßenverlauf Richtung Erlaufboden folgend gibt es zwei Trichterdolinen (4 und 10 m Durchmesser) am Steilhang (links von der Straße). Am N-Hang des Großen Koller findet man einige Quellen mit hoher ELF (600-1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Vereinzelt sind auch einige Trichter (1-10 m Durchmesser) im Hang eingetieft, wo es in steileren Teilen zu gravitativen Massenbewegungen kommt. Im Bereich der Henmauer (Grenzbereich quartärer Hangschutt und Gips) befinden sich zwei ca. 8-10 m tiefe Trichterdolinen.

Gipskarst im Öttschergebiet



Layout: Irene Winkler 2018

Abb. 22: Gipskarstmorphologische Karte vom Öttschergebiet ©Irene Winkler, Schummerungs- und Hangneigungskarte des 1-m-DGM (nögis)

Annaberg

Im Bereich „Am großen Riegl“, vor der ersten Kehre Richtung Annaberg, gibt es W der Kote 721 einen großen Bereich, wo Gips kartiert und auch Gips abgebaut wurde. Das Weiden- und Waldgelände ist relativ steil und wirkt im Allgemeinen instabil und rutschungsanfällig. Beim Übergang von der Weide zum Wald gibt es Gräben, deren Flanken sehr steil sind und offensichtlich wieder nachbrechen (vegetationslos). Im oberen Bereich eines Grabens gibt es eine höher mineralisierte Quelle (1074 $\mu\text{S}/\text{cm}$), deren Wasser die Tiefenerosion im Graben verstärkt. Im Wald befinden sich immer wieder kleine (Durchmesser 2 m) aber auch größere (5-8 m) Dolinen. Am Anfang des Waldes (Randbereich zur Weide) hat sich eine Einsturzdoline mit einem Durchmesser von 4 m und ca. 8 m Tiefe gebildet. Man kann gut erkennen, dass es noch weiter in einen Hohlraum mit unbestimmter Länge geht. In diesem Bereich ist kein Bergbaurevier vermerkt, doch Lukas PLAN (2018) berichtet von einer Befahrung eines später verbrochenen ehemaligen Gipsbergwerks Anfang der 1990er Jahre. Hier steht grauer und rosaner Gips an, der von gräulich-bläulichem Haselgebirgston umgeben ist. Im anstehenden Gips sind deutlich Karren zu erkennen.



Abb. 23: anstehender Gips in einer Einsturzdoline (links: Lösungsformen und Höhleneingang, rechts: grauer Gips) ©Irene Winkler

Hangaufwärts, beim Weishof, gibt es fünf größere Dolinen. Laut Erzählungen eines Bauern vom Weishof, kam es Ende der 1960er Jahre zu einem großen Erdfall oberhalb vom Stall. Dieser soll 5 m breit und ~20 m tief gewesen sein und wurde verfüllt. Quellen waren dort keine zu finden. Den Forstweg entlang Richtung NE öffnen sich drei Dolinen knapp hintereinander in einer Reihe. Weiter in diese Richtung liegen eine große Doline und eine kleinere gleich daneben. Im Graben vor der ersten Kehre Richtung Annaberg (Richtung „Am großen Riegl“) nimmt die ELF in den Bächen ab.

W von Annabild auf der Schipiste befinden sich zwei alte Gipsabbaugebiete. Der Bach im W Teil ist hochmineralisiert (1502 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Deutliche Hohlformen waren im W Teil des Bergbaureviers keine zu erkennen, jedoch wirkt das Gelände rutschungsanfällig. E des Bergbaureviers, Richtung Annabild, befinden sich einige Hohlformen, die durch Einstürzen der Stollen entstanden sein könnten (Pingen). Bei den Formen am unteren Teil des Hanges, könnte es sich auch um einen ehemaligen Eingang des Bergwerks handeln. Fast ganz am Hangfuß, N des E Bergbaureviers, liegt ein frischer Erdfall mit

1 x 1 m Durchmesser, der noch nicht im DGM zu sehen war. Daneben befinden sich zwei leicht angedeutete Hohlformen in der Wiese. An einer Seite weisen diese Formen Anrisskanten in der Wiesenfläche auf und könnten möglicherweise auch bald nachbrechen. Ein paar Meter E des Erdfalls steht eine Hütte, deren E Rand an einen Erdfall, der sich bereits zum Trichter umgeformt hat, grenzt. Die Trichterdoline ist 5 m breit und 4 m tief und es schaut so aus, als würde sie sich weiter vergrößern. Hangabwärts N der Doline entspringt eine hoch mineralisierte Quelle (2430 $\mu\text{S}/\text{cm}$).



Abb. 24: Doline Annaberg ©Irene Winkler

SE Annabild, einige Kehren bergauf sieht die Wiese sehr “wellig” aus, was typisch für Gipslösung im Untergrund oder für eine Massenbewegung wäre. Die Hohlformen sind flach, dafür aber sehr breit (10-15 m) und die Abgrenzungen undeutlich. Das Gerinne, E der Wiese, mit verbautem Bachbett war an diesem Hang ausgetrocknet.

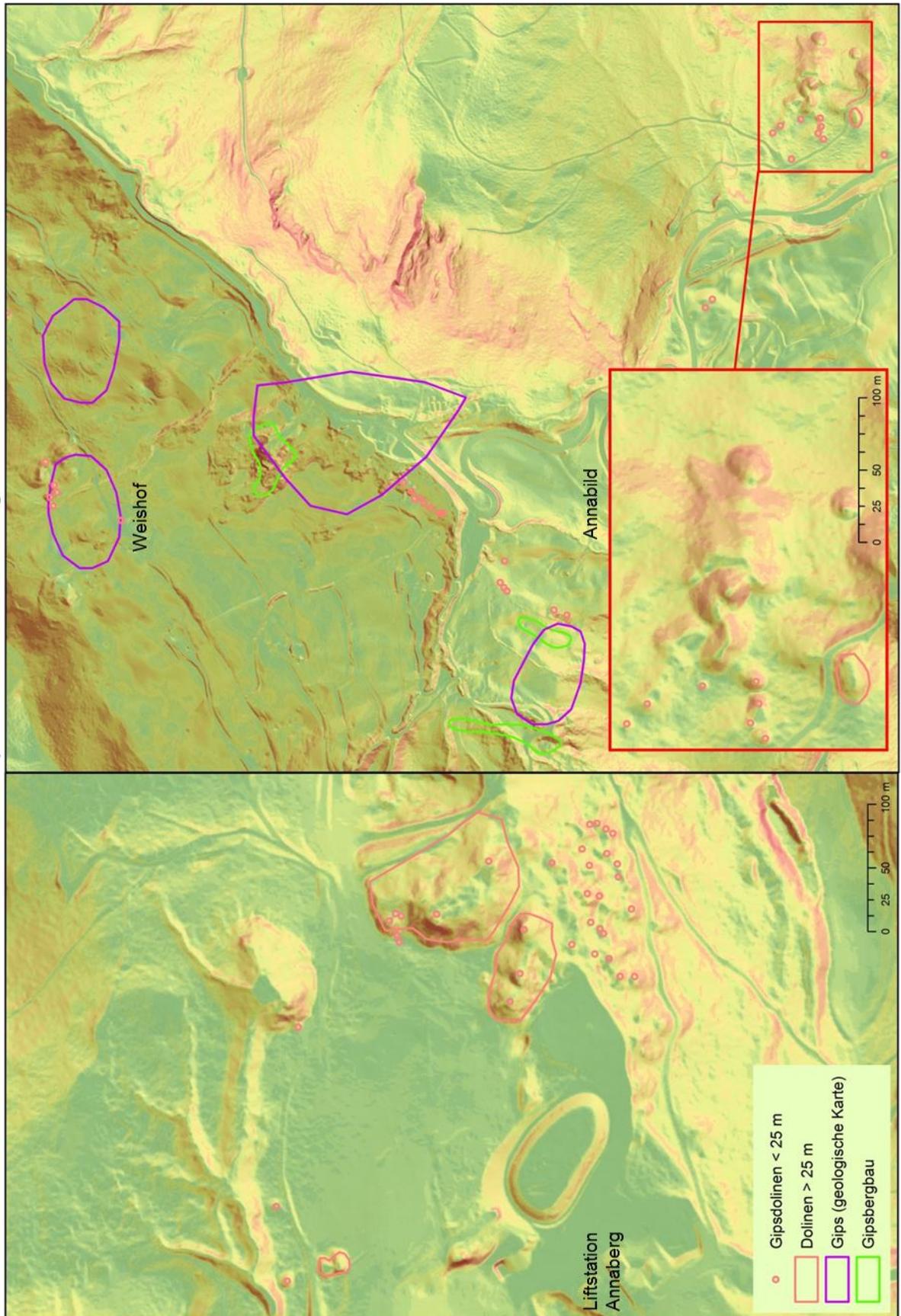
Am W-Hang des Ahornberges gibt es viele Trichterdolinen mit einem Durchmesser zwischen 2 und 35 m. In diesem Bereich ist es offensichtlich zu gravitativen Massenbewegungen gekommen und die Dolinen könnten durch Gipslaugung in tieferen Schichten entstanden sein. Die runde Form und vor allem die Größe der Dolinen wären für die Höhenlage für Gipsdolinen zutreffend.



Abb. 25: Dolinen am Westhang des Ahornberges ©Irene Winlker

Bei der Liftstation Annaberg, wo ein großer Beschneigungsteich angelegt wurde, gibt es E davon zahlreiche Trichterdolinen (1-12 m Durchmesser) im Steilhang. N des steileren Geländes, schließen zwei große Hohlformen mit ca. 100-120 m Länge an. In jede der Hohlformen sind mehrere Trichter eingetieft. Kleinere Aufschlüsse an den Dolinenwänden, legen eine Mischung aus Haselgebirgston und Werfener Schichten frei, leider ohne Gips.

Gipskarst bei Annaberg



Layout: Irene Winkler 2018

Abb. 26: Gipskarstmorphologische Karte von Annaberg ©Irene Winkler, Schummerungs- und Hangneigungskarte des 1-m-DGM (nögis)

Göstling

Göstling liegt im Tal der Göstlinger Alpe, wo sich das Gipskarstgebiet auf einer vorgelagerten Karstverebnung erstreckt. Unter großflächigen Weiden- und Waldflächen findet man vereinzelt Gehöfte.

Im Bereich Göstling an der Ybbs ist großflächig Gips kartiert. Viele Quellen waren nicht wasserführend oder gering mineralisiert ($<500 \mu\text{S}/\text{cm}$). In Grub liegt eine 220 m lange und 100 m breite Hohlform, die sieben weitere kleine bis mittelgroße (3-22 m Durchmesser) Trichterdolinen beinhaltet. Die ganze Form hat sich 10-15 m vom umliegenden Gelände eingesenkt und fällt gegen W ab. Die Hohlform ist eingezäunt (Maschendrahtzaun mit zusätzlichem Gitter) und wurde nicht begangen.



Abb. 27: Hohlformen bei Grub (Blickrichtung W) ©Irene Winkler

S vom Salriegl haben sich drei Trichterdolinen (5-27 m Durchmesser) auf einer Weidefläche und eine Trichterdoline hangaufwärts im Wald eingetieft. Viele Hänge weisen eine sehr unruhige wellige Morphologie auf, die für Gipslösung im Untergrund typisch wäre.

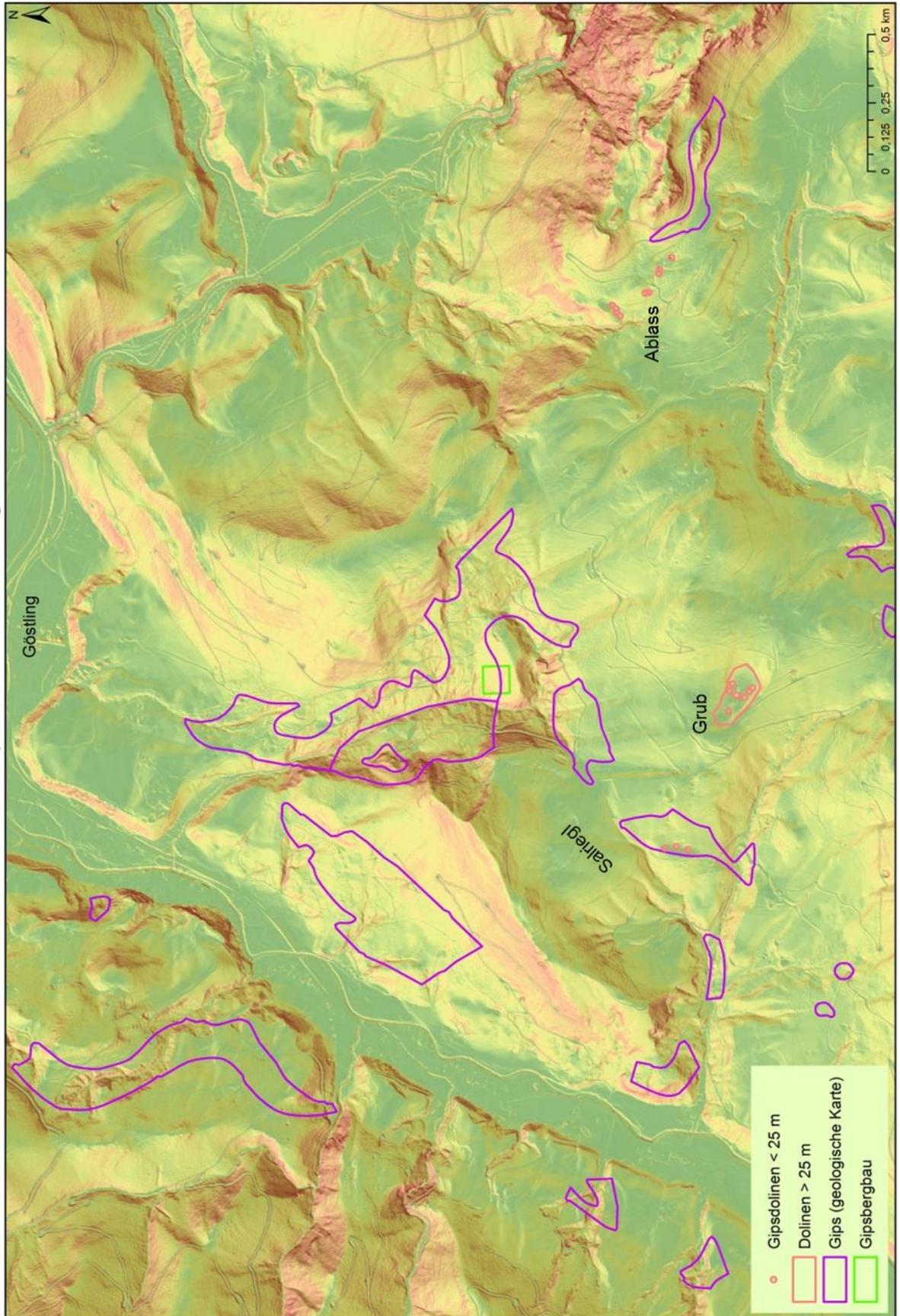


Abb. 28: Dolinen einer Weide beim Salriegl ©Irene Winkler

SE Ablass befinden sich zwei große komplexe Trichterdolinenformen (13-23 m Durchmesser) mit Ponoren. Zu den Dolinen führt jeweils eine Rinne, die den Oberflächenabfluss bei Niederschlägen in die Dolinen abführt. Das Gestein in diesem Einzugsgebiet kann den Werfener Schichten zugeordnet werden, jedoch ist kein Gips aufgeschlossen. Die Größe der Dolinen in dieser Höhenlage würde allerdings für Gipslösung im Untergrund zutreffen. NE von Ablass findet man noch kleinere Trichterdolinen (1-7 m Durchmesser) im Wald.

Abb. 29 zeigt die gipskarstmorphologische Karte von Göstling. Die Anzahl der Oberflächenformen ist im Vergleich zu anderen Gebieten relativ gering, jedoch macht es die große Hohlform bei Grub zu etwas Besonderem, da es in keinem anderen Gipskarstgebiet in Niederösterreich eine Hohlform mit vergleichbarer Ausdehnung gibt.

Gipskarst bei Göstling



Layout: Irene Winkler 2018

Abb. 29: Gipskarstmorphologische Karte von Göstling ©Irene Winkler, Schummerungs- und Hangneigungskarte des 1-m-DGM (nögis)

Opponitz

Das Gipskarstgebiet von Opponitz liegt in Mitten von sanft welligen Weideflächen, tief eingeschnittene Gräben und bewaldeten Arealen.

W von Vorderleithen befindet sich eine große Weidefläche. Die Morphologie des Hügels ist sanft wellig, jedoch ohne erkennbare Hohlformen. RUTTNER und SCHNABEL (1988) haben bei der Geländekartierung einige Gipsdolinen in diesem Bereich verzeichnet, die nicht mehr zu sehen waren. Im Wald N der Weide findet man im relativ steilen Gelände einige Trichterdolinen.



Abb. 30: Doline im Wald bei Vorderleithen ©Irene Winkler

Weiter W von Vorderleithen, an der Grenze zu einem tief eingeschnittenen Graben, liegen neun kleinere Dolinen im Steilhang des Waldes. Auf der Weide S von Furtenreith befinden sich große sehr flache Hohlformen ohne deutliche Abgrenzung. Die Morphologie des Hanges war wieder sanft wellig. W von Furtenreith hinter dem Bauernhaus sind fünf Trichterdolinen eingetieft. Die Besitzerin berichtete, dass sie den

Dolinen seit 30 Jahren „beim Wachsen zusehen“ kann. Die N der Dolinen war als sie entstanden ist ca. 1 m groß - mittlerweile hat sie einen Durchmesser von ca. 6 m.



Abb. 31: 6 m große Doline hinter dem Bauernhaus bei Furthenreith ©Irene Winkler

Sie erzählte von einem frischen Erdfall (ca. 1 m Durchmesser), den sie zum Teil verschüttet haben und der wieder ein Stück nach gebrochen ist. Am „Graben“ (bei der Kote 636) befinden sich drei flache Dolinen auf der Weidefläche. Im Wald N davon gibt es viele kleine aber auch größere Trichterdolinen im Steilhang. N des Grabens Richtung Rehau liegt eine hoch mineralisierte Quelle (1708 $\mu\text{S}/\text{cm}$), die wie ein kleiner Wasserfall in einen Pool fließt. Flussabwärts ist ein kreidig weißer stark angewitterter Horizont (0,5 m hoch) aufgeschlossen, jedoch kein anstehender Gips oder Anhydrit. Vom Kraftwerk Richtung Opponitz findet man mächtige Aufschlüsse von Rauhwanke und geschichteten graugelben Opponitz Kalk.

W der Kleinen Kripp sind die drei Dolinen, die in RUTTNER und SCHNABEL (1988) verzeichnet waren, nicht mehr zu finden. Auch hier gibt es eine sanft wellige Weidefläche. N des Gipfels haben sich drei Trichterdolinen (6-8 m Durchmesser) in einer Reihe im steilen Hang ausgebildet und eine weitere kleine Trichterdoline (3 m Durchmesser) am S-Hang. Auch hier war kein Gerinne wasserführend. Oben am Gipfel ist Hauptdolomit, der von einer grau gelblichen Schicht Rauhwanke unterlagert war, aufgeschlossen. Anstehender Gips war auch hier nicht zu finden.

Gipskarst bei Opponitz

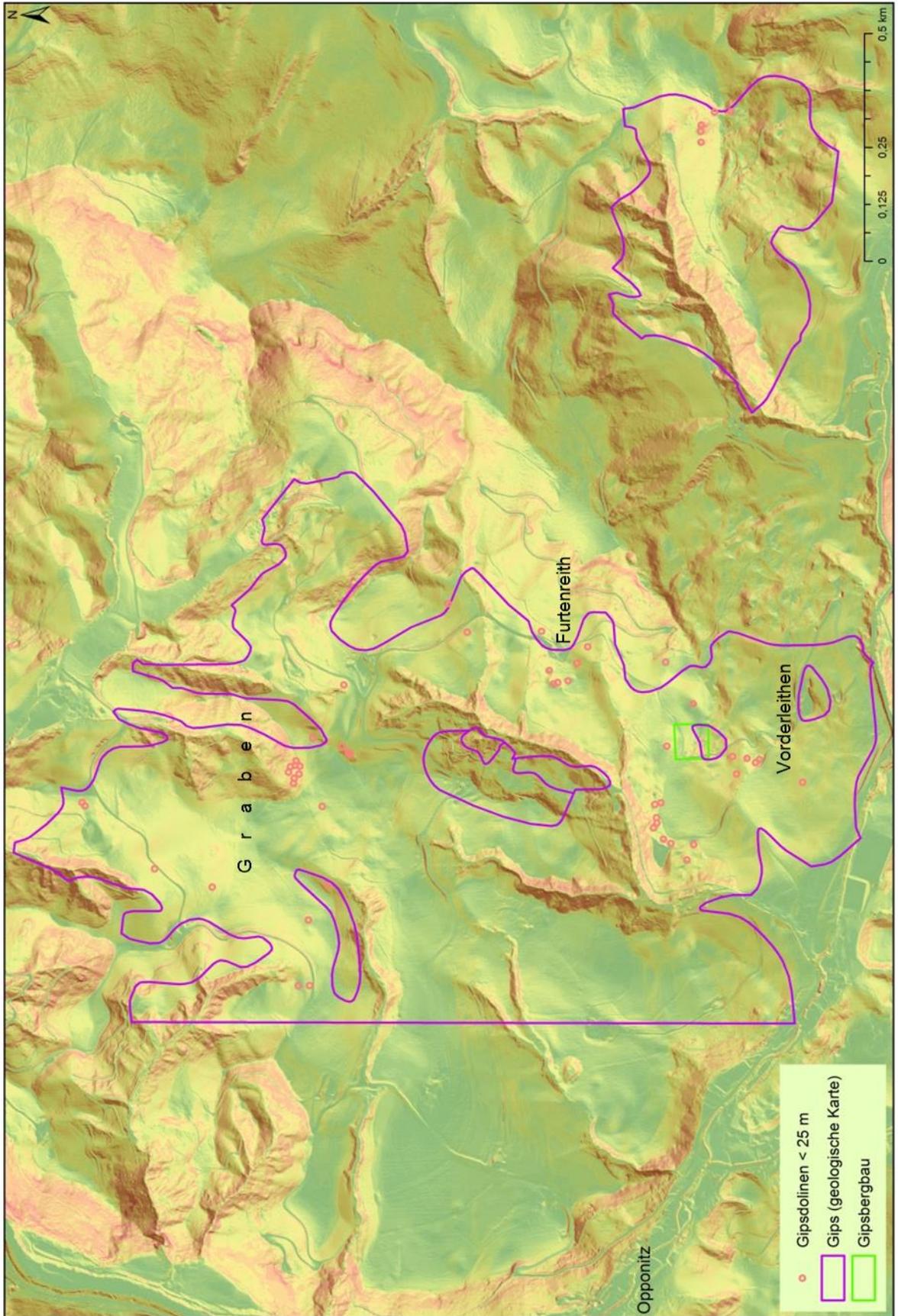


Abb. 32: Gipskarstmorphologische Karte von Opponitz ©Irene Winkler, Schummerungs- und Hangneigungskarte des 1-m-DGM (nögis)

Östlich des Semmering

Im Bereich E des Semmerings im Haidbachgraben/Myrthengraben gab es zwei große Gips bzw. Anhydrit - Bergwerke, die seit Mitte des 20. Jhr außer Betrieb sind (WESSELY 2006). Es handelte sich um Untertagsbergbaue, die das heutige Landschaftsbild durch eine Vielzahl an Pingen prägen. Viele der Pingen sind drei Meter breit, aber es finden sich auch einige größere mit ca. 15 m Breite und 12m Tiefe. Ob sich unter den Pingen auch natürliche Hohlformen befinden, ist unklar. Es gibt einige sehr hoch mineralisierte (800-2740 $\mu\text{S}/\text{cm}$) Gerinne im Bereich des Katharinalagers. Weiter Richtung E (Maria Schutz) nahm die ELF der Quellen ab. Im ehemaligen Gipsabbaugebiet bei Himmelreich liegen drei kleine Dolinen/Pingen im Wald und eine Quelle bei einer Tränke mit erhöhter ELF (1020 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Anstehender Gips wurde nicht gefunden.



Abb. 33: Pinge im Bereich des Katharinalagers ©Irene Winkler

Zusammenfassung der Oberflächenformen

Wegen der hohen Lösungsfähigkeit von Evaporiten, findet man Gips nur sehr selten an der Oberfläche anstehend. Deswegen kommt dem Ostalpinen Gips vor allem die Hohlraumbildung im Untergrund, und die dadurch resultierenden Hohlformen an der Geländeoberfläche, zu. Die präsenteste Oberflächenform in niederösterreichischen Gipskarstlandschaften sind die Dolinen, deren Morphologie nach der überlagernden Deckschicht bestimmt wird.

Beim Verbruch der Hohlräume unter festen Böden kommt es zur Ausbildung von **Erdfällen** mit steilen Wänden. Durch das kontinuierliche Nachbrechen der steilen Seitenwände kommt es zur Umbildung zu einer typischen Trichterform. Die Hohlraumbildung unter Lockersedimenten führt entweder ebenfalls zur Bildung von Erdfällen, wo die Umbildung zur Trichterform schneller erfolgt, oder zu sogenannten **Suffosionsdolin**, wo langsam Sediment in einen kleinen Hohlraum rieselt und an der Oberfläche ebenfalls ein Trichter entsteht.

Die Dolinen in niederösterreichischen Gipskarstlandschaften können in ihrer Morphologie sehr unterschiedlich sein. Ganz besonders auffällig ist die **kreisrunde Form** (Abb. 24), die bei der Gipslösung entsteht. Ein weiteres Merkmal der Gipsdolin ist, dass sie sich in auch **steilen Hängen** ausbilden können. Diese Dolinen haben meist eine asymmetrische Trichterform. Ein weiterer Typ der Gipsdolin sind die **Einsturzdolin**, die eine Form des Erdfalls sind. Der Unterschied ist allerdings, dass es bei der Einsturzdoline keinen ausgebildeten Dolinenboden gibt, sondern der Boden in einen unterirdischen Hohlraum führt. Die Größe der Dolinen variiert zwischen 1-50 m Durchmesser und einer Tiefe von 0,5-40 m. Ebenfalls typisch für Gipslösung im Untergrund ist das wellige Relief (Abb. 19).

Wenn Gips an der Oberfläche ansteht, kommt es sehr schnell zur Ausbildung von **Karren**. Große freigelegte Gipsoberflächen sind in Niederösterreich nur in Gipsabbaugebieten, wie zum Beispiel Puchberg am Schneeberg, zu finden. Der Oberflächenabfluss hat dort eine sehr große Angriffsfläche und es schneiden sich tiefe Karren ein, deren Dimensionen laut FINK (1973) einige Meter erreichen können.

Ponore (Schwinden) findet man im niederösterreichischen Gipskarst vor allem in Dolinen, die sich an der Grenze zu nicht verkarstungsfähigen Schichten gebildet haben.

Die Landschaftsräume, die durch den Menschen und den Gipsabbau verändert wurden, beherbergen eine Vielzahl an *Pingen*, die durch den Verbruch von unterirdischen Stollen entstanden sind. Die Form der Pingen unterscheidet sich kaum zu den natürlich entstandenen Dolinen. Man könnte einen Unterschied beim Boden der geschlossenen Hohlform ausmachen. Der Pingenboden ist oft sehr flach und es gibt oft keinen fließenden Übergang zu den Wänden (Abb. 33).

Höhlen

Bisher gibt es im Österreichischen Höhlenverzeichnis sechs Höhlen, die mit Gipsstein in Verbindung gebracht werden. Zu unterscheiden ist, ob sich die Höhle im Gips ausgebildet hat und noch immer an den Höhlenwänden zu sehen ist, oder ob die Höhlenbildung auf Gipslösung zurückzuführen ist und Gips nur noch als sekundär abgelagertes Mineral in der Höhle vorhanden ist.

Da die Hohlraumbildung im niederösterreichischen Gipskarst eine wichtige Rolle spielt und für die Oberflächenmorphologie in diesen Gebieten von Bedeutung ist, sollen an dieser Stelle die Gipshöhlen und die Hohlraumneubildung erwähnt werden.

Schrattensteinhöhle (Katasternummer 1861/15)

Die Höhle befindet sich S von Grünbach am Schneeberg unter der Ruine Schrattenstein auf 585 m Seehöhe. Die Gesamtlänge beträgt 57 m mit einem Höhenunterschied von -13 m. Die Höhle hat eine Horizontalerstreckung von 18 m und fällt unter die Kategorie der Mittelhöhlen. Der obere Teil der Höhle erstreckt sich im stark zerklüfteten Wettersteinkalk und der untere geräumigere Teil der Höhle liegt im Gips. Die Höhle weist viele Versturzbereiche auf. In der kleinen Halle kann man die Gesteinsgrenze gut sehen. Die Decke besteht aus Wettersteinkalk, die Seitenwände gehen in Gips mit zahlreichen Lösungsfacetten über und der Boden ist mit Höhlenlehm bedeckt (HERRMANN 1987: 93f.).

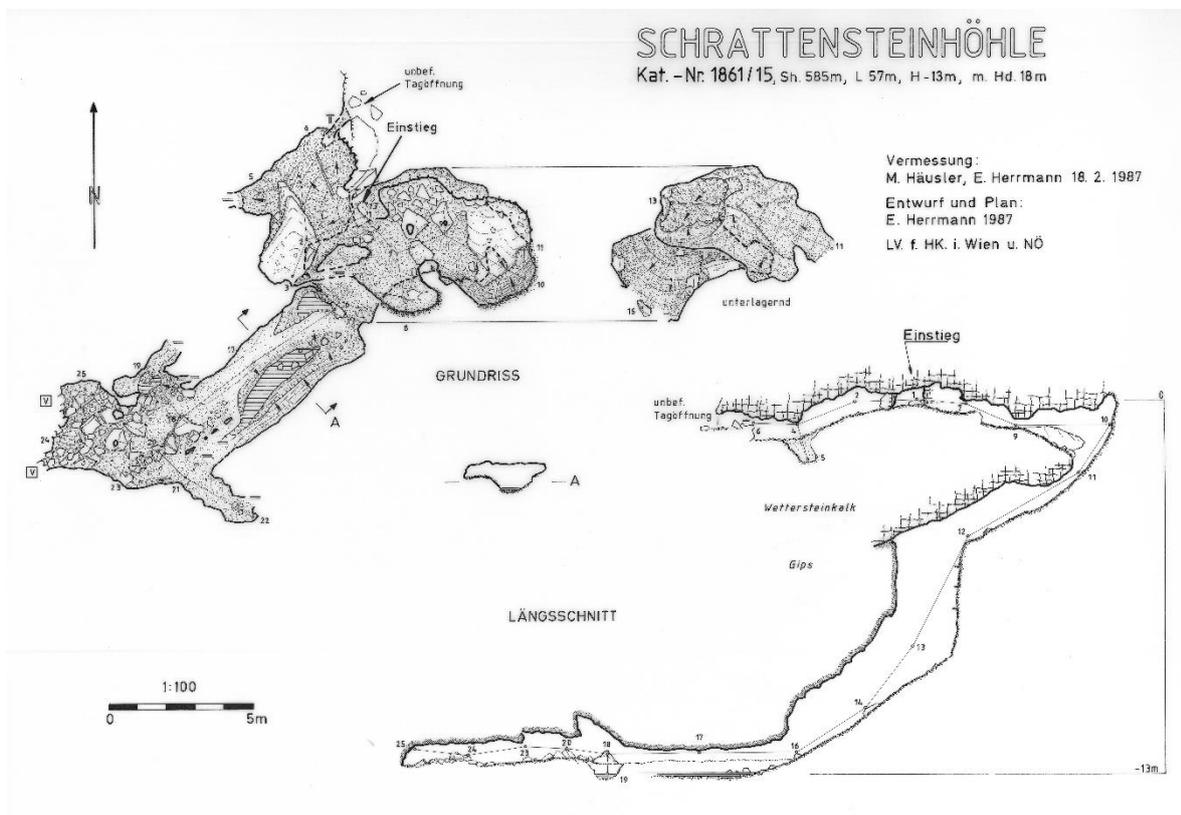


Abb. 34: Plan der Schrattensteinhöhle (HERRMANN und HÄUSLER 1987)

Trübenbachhöhle und Froschhöhle (Katasternummer 1816/21 und 1816/22)

Beide Höhlen liegen an der N-Seite des Ötschers bei Trübenbach im Sulzgraben. Bei der Froschhöhle handelte es sich um eine 76 m lange Höhle mit einer Höhenerstreckung von 12 m. Sie befindet sich orographisch links im Sulzgraben auf einer Seehöhe von 660 m. Aus der Höhle fließt ein milchig trüber Bach mit einer Schüttung von 2-3 l, der in den Trübenbach mündet. Die gesamte Höhle ist im Gips angelegt und weist innerhalb der Höhle immer wieder Verstürze der Decke auf, wo Wurzeln in die Höhle eindringen. Im geräumigeren Bereich der Höhle, der Kalbwurzhalle, fließen zwei Bäche zusammen. Der schwächere Bach durchfließt einen vollständig im Gips angelegten Canyon und der stärkere kommt aus einem Spalt an der Wand im westlichen Teil der Höhle. Die Laboranalyse ergab, dass beide Bäche einen sehr hohen Sulfatgehalt aufweisen (MACHE und PAVUZA 1996: 172ff.).

Die Trübenbachhöhle liegt orographisch rechts im Sulzgraben, ist aber heute nicht mehr zugänglich. Der Eingangsbereich der Höhle ist mit Versturzmassen versperrt und etliche Freilegungsversuche schlugen fehl. Einzig ein kleines Bächlein, das aus dem Versturzmateriale dringt, deutet die Lage der Höhle an (MACHE und PAVUZA 1996: 172ff.).

Entdeckt wurde die Höhle 1962, die wohl durch einen Erdbeben freigelegt wurde. Der Eingang war 3,3 m breit und 2,6 m hoch. Angelegt ist/war die Höhle in weiß-grau-rosa geschichteten Gips mit eingelagerten Hauptdolomit Bereichen. Die Gänge sind durch Laugungsvorgänge entstanden und zum Teil mit Geröll und Sedimenten der Werfener Schichten aufgefüllt. Die Höhle hatte eine Länge von 90 m (MAYER 1963: 30).

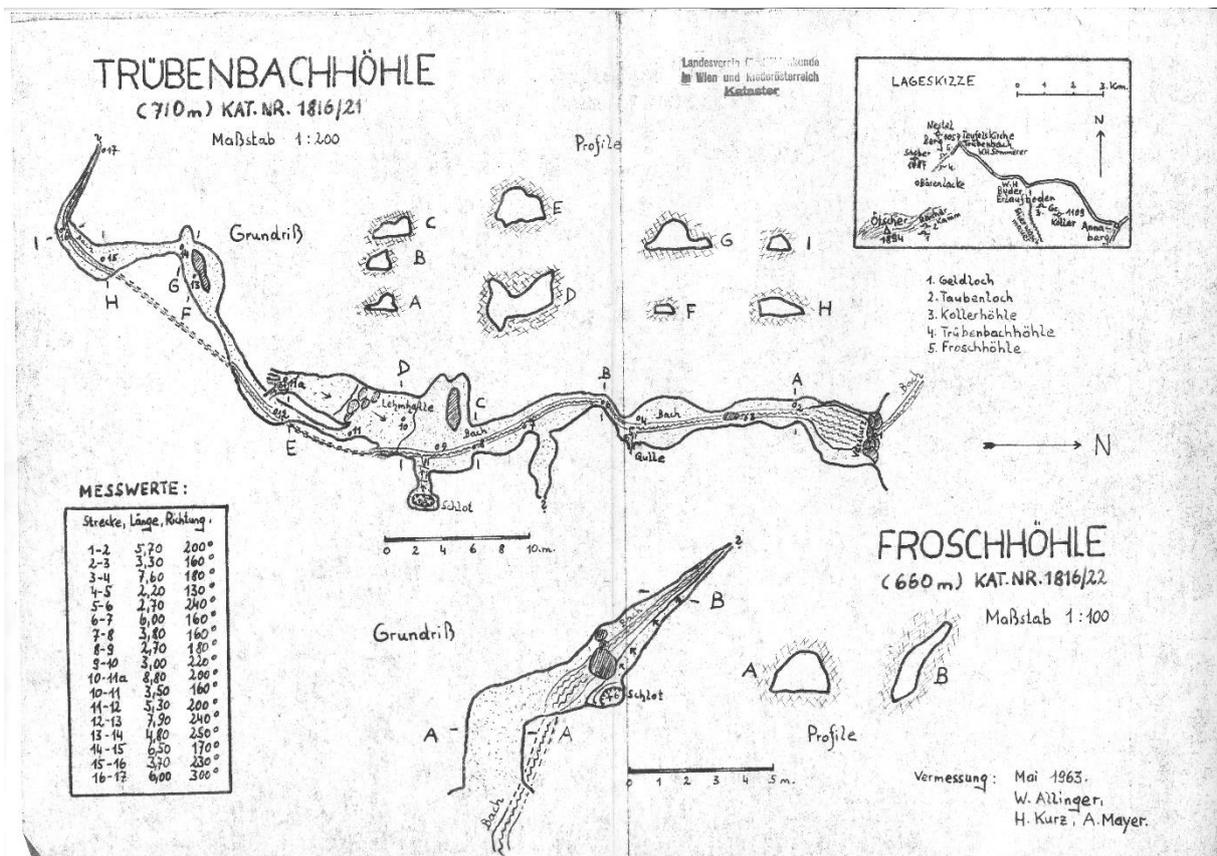


Abb. 35: Plan der Trübenbach- und Froschhöhle (MAYER et al. 1963)

FROSCHHÖHLE

Kat. Nr.: 1816/22

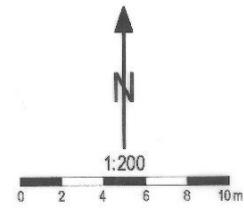
am Nordrand des Ötschers; nahe Trübenbach NÖ
L: 76 m, H: +12 m, Sh: 660 m, RW: 667450, HW: 305450

Vermessung: W. Mache, A. Pausch, L. Plan am 26.8.1995
W. Mache, A. Pausch, R.L. Winkler am 31.8.1996

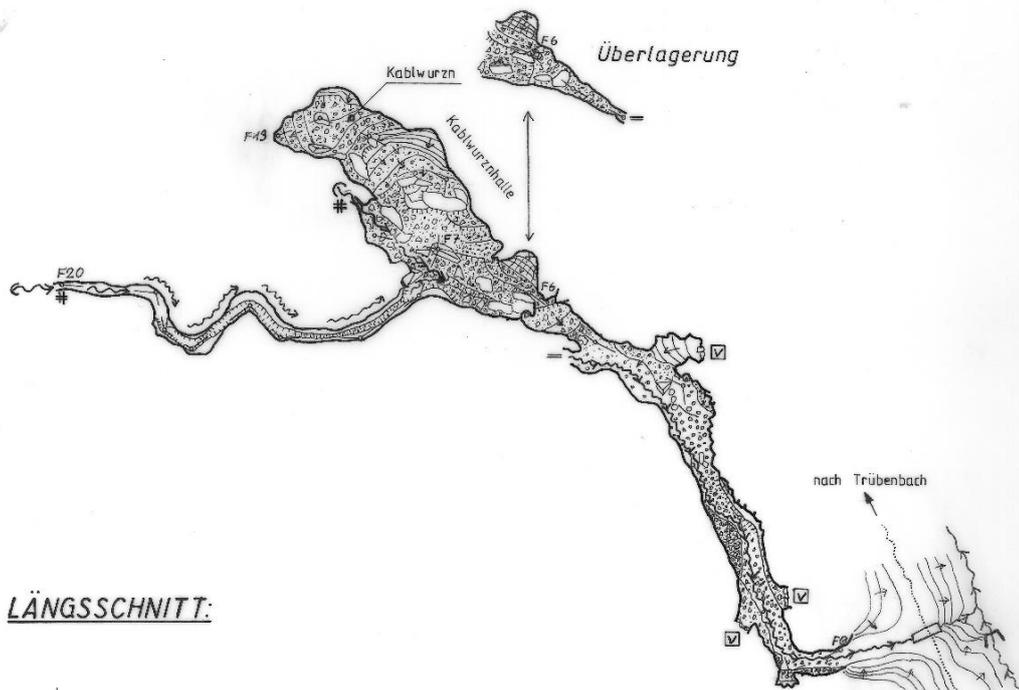
Entwurf: L. Plan, R.L. Winkler

Zeichnung: W. Mache

Landesverein f. Höhlenkunde i. Wien u. NÖ



GRUNDRISS:



LÄNGSSCHNITT:

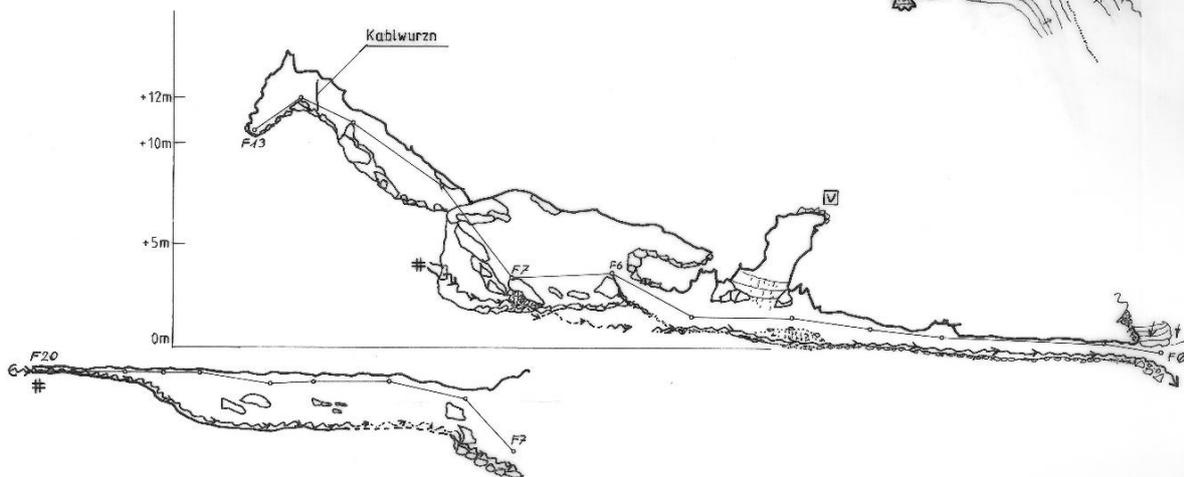


Abb. 36: Aktueller Plan der Froschhöhle (MACHE et al. 1996)

Kohlerhöhle (Katasternummer 1833/1)

Die Kohlerhöhle befindet sich im Erlaufstal am Westhang des Großen Koller auf 690 m Seehöhe (TRIMMEL 1952: 46). Sie hat eine Länge von 650 m und einen Höhenunterschied von -42 m (KÖRNER 1986: 66). Die höher gelegenen Teile der Höhle sind im plattig geschichteten, bituminösen Gutensteinerkalk ausgebildet und der untere Teil liegt in den Werfener Schichten. In den Werfener Schichten befinden sich Gipsvorkommen, die durch die schnelle Laugung die Höhlenentwicklung beschleunigt haben. Gips als Gestein findet man selber in der Höhle nicht. Er ist als sekundär abgelagertes Mineral als Gipsnadeln oder als Gipskristalle in der Höhle zu finden (TRIMMEL 1952: 50f.).

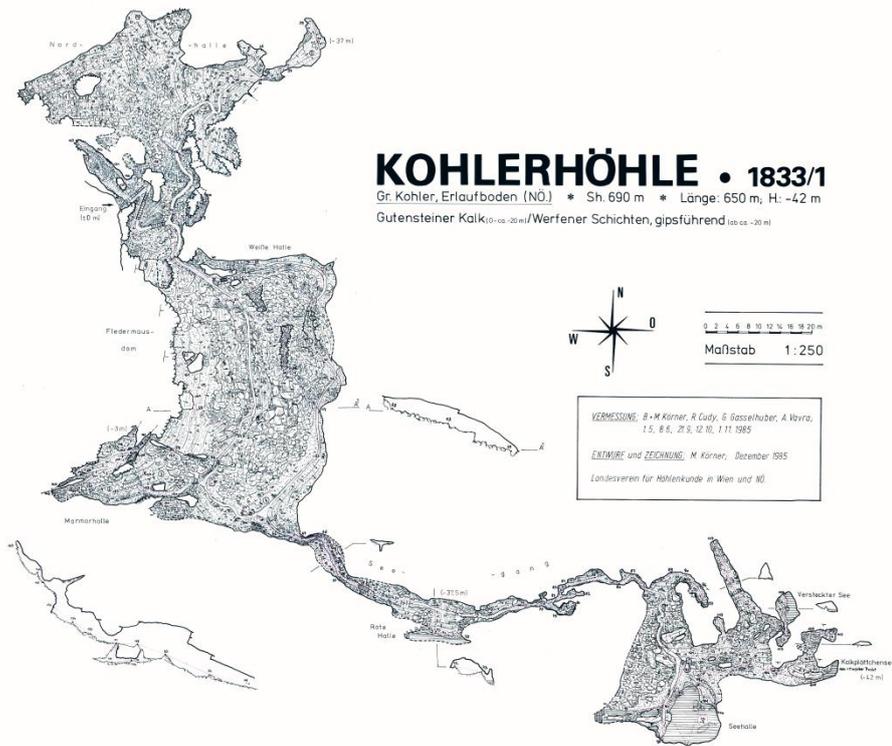


Abb. 37: Plan der Kohlerhöhle (KÖRNER et al. 1985)

Gipshöhlenruine bei Annaberg (Katasternummer 1836/62)

NW der Kote 721 im alten Gipsabbaugebiet bei „Am großen Riegl“ befindet sich die Gipshöhlenruine bei Annaberg auf ca. 756 m Seehöhe. Der kluftartige Eingang der Höhle lag links vom Bergwerk. Über der Höhle an der Oberfläche (nicht verkarstungsfähige Werfener Schichten) befindet sich ein Gerinne, das in einen Canyon fließt. Das Gerinne verschwindet in einem Ponor und fließt unterirdisch weiter, weshalb sich die Höhle im Gips entwickeln konnte. Die Höhle hat eine Horizontalerstreckung von 14 m und eine Länge von insgesamt 25 m. Die Höhlenwände sind mit zahlreichen Karren übersät und es befindet sich auffallend viel Verbruchsschutt in der Höhle (FINK 1967: 35f.).

Im östlichen Teil der Gipshöhlenruine findet man alte Abbaustollen, die aber vor dem unterirdischen Gerinne enden. Ob die restliche Höhle natürlich entstanden ist, oder sich erst durch bergmännische Tätigkeit gebildet hat ist unklar.

GIPSHÖHLENRUINE beim Ghf. Bergbauer nördlich von Annaberg; Kat-Nr. 1836/62 a-e, Sh. 756 m
 BMN-K 679178/305118 + 2 DGPS
 Vermessung: H.u.W. Hartmann, H. Hoffmann, 13.7.1980
 (Landesverein für Höhlenkunde in Wien und NÖ)
 Entwurf und Zeichnung: W. Hartmann

Länge: überdeckt 25 m, Hu. +9 m, max. He. 14 m
 nicht überdeckt 25 m
 Abbaustollen: 50 m

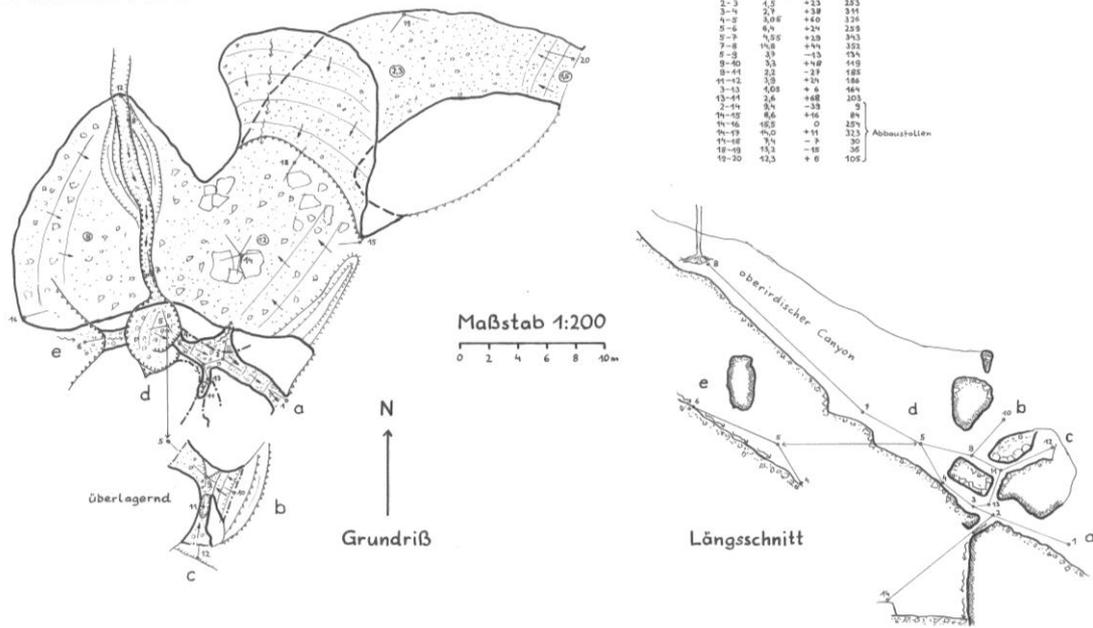


Abb. 38: Plan Gipshöhlenruine (HARTMANN et al. 1980)

Erdfall (Katasternummer 1854/38)

HÖLLERER (1958) dokumentierte einen Erdfall in der Nähe von Schneebergdörfel auf einer Seehöhe von 669 m. Der schachtartige Erdfall hatte eine Tonnenform mit einer Länge von 15 m und einen Höhenunterschied von -13 m. Er war zur Gänze in Schottern ausgebildet. Der Erdfall wurde verfüllt und heute sieht man keine Anzeichen mehr von seiner Existenz an der Geländeoberfläche.

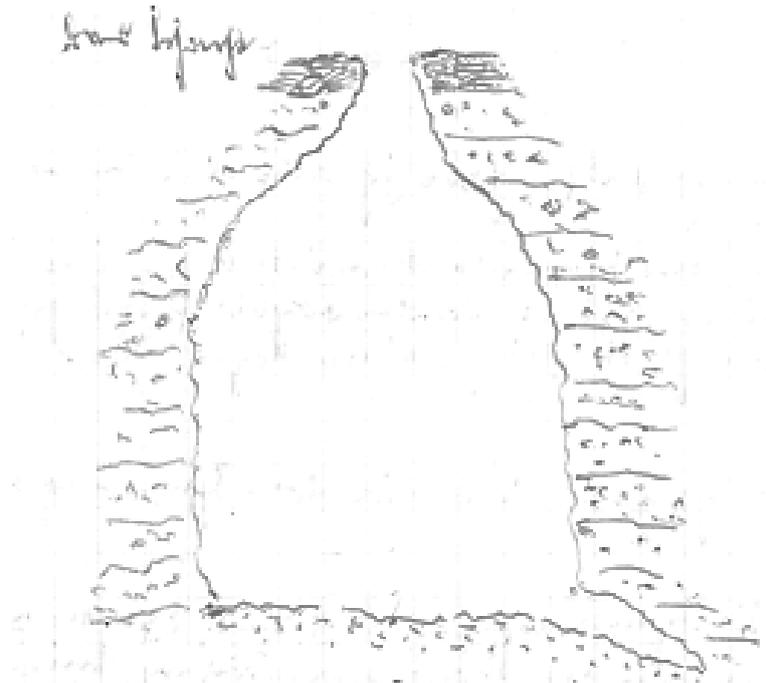


Abb. 39: Plan Erdfall Schneebergdörfel (HÖLLERER 1958)

Hohlraumneubildung

Mittels der Parameter „Sulfatgehalt“ und „Schüttung“, hat PAVUZA (2019) unter der Verwendung der Dichte von Gips ($2,3 \text{ g/cm}^3$) ein Nomogramm erstellt. Aus dem Diagramm kann man die hypothetische Hohlraumneubildung in einem Jahr, unter stationären hydrologischen Bedingungen, ablesen. Wegen fehlender Messdaten über längere Zeitreihen, bleiben die Ergebnisse hypothetisch und etwaige Änderungen des Chemismus oder der Schüttung in den Quellen, werden nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund wurde die Einheit „ m^3/Jahr “ zur Veranschaulichung gewählt.

Bezieht man neben den im Gelände beobachteten Sulfat-Werten, die Schüttung in die Berechnung, erkennt man sofort, warum auch in den lateral meist kleinräumig ausgedehnten Gipskarstgebieten in geologisch sehr kurzen Zeiträumen, so beträchtliche geomorphologische Prozesse stattfinden können. Eine kleine Quelle mit nur 1 l/s und einem Sulfatgehalt von 1000 mg/l trägt zu einer Hohlraumbildung im Untergrund von ca. $2,5 - 3 \text{ m}^3$ pro Jahr bei.

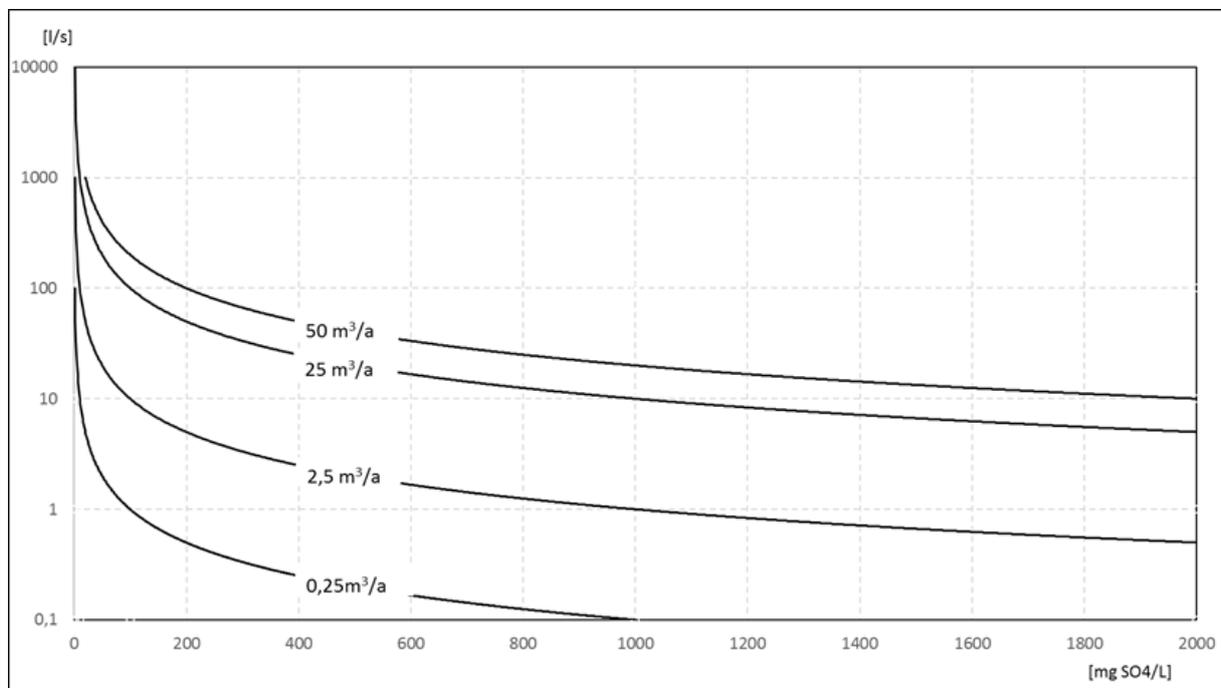


Abb. 40: Sulfatabtrag im Untergrund mit der Schüttung der Quelle (PAVUZA 2019)

Anmerkung:

Wenngleich die Erreichung der Sättigung von Gips/Anhydrit bei stationären Verhältnissen (in der Natur: Laugung in Bereichen ohne nennenswerte Wasserbewegung), trotz merklicher Löslichkeit, Zeiträume von einigen Wochen dauern dürfte, so ist doch eine Konzentration, die jene der Kalksättigungswerte der Wässer in Karbonatkarstgebieten überschreitet, bereits nach wenigen Stunden erreicht.

Bei längeren Einwirkungszeiten könnte unter normalen Umweltbedingungen im alpinen Karst doppelt so viel Anhydrit wie Gips gelöst werden. Erst in größeren Tiefen (= bei höheren Grundwassertemperaturen) gleichen sich die Löslichkeiten an. Für die gemessenen **Sulfatgehalte** in nicht geothermal beeinflussten Gipskarstgebieten ohne Mitwirkung Natriumchlorid haltiger Wässer, könnte dies eine Möglichkeit darstellen, erste Hinweise darauf zu erhalten, ob im Untergrund ein Gipskarst oder ein „Anhydritkarst“ vorliegt: Sulfatgehalte über 1000 mg/l sollten im nicht thermal beeinflussten Gipskarst nicht auftreten.

Viele der beprobten Quellen weisen höhere Sulfatgehalte (über 1000 mg/l) auf. Keine der Proben hatte Temperaturen über 20°C und standen unter thermalen Einfluss. Da Anhydrit bei niedrigeren Temperaturen eine höhere Löslichkeit aufweist, ist davon auszugehen, dass nicht der ganze Sulfatgehalt von Gips allein stammt.

5.3 Unterschiede zwischen Gips- und Karbonatkarst

Dieses Kapitel soll einen Einblick in die Unterschiede und die Besonderheiten von Gips- und Karbonatkarst, hinsichtlich ihrer Verbreitung und den Oberflächenformen, geben. Die Literaturrecherche (siehe 3.4 Oberflächenformen im Karst) ergab, dass sich in allen verkarstungsfähigen Gesteinen prinzipiell die gleichen Typen von Oberflächenformen ausbilden können. Die Beständigkeit des Gesteins bestimmt allerdings den Grad der Verkarstung.

Die *Verbreitung von Gips und Karbonaten* unterscheidet sich in erster Linie durch die Größe der Vorkommen in den niederösterreichischen Ostalpen. Gips ist im Gegensatz zu Karbonaten in nur sehr untergeordnet vertreten. Die Gipsvorkommen des Haselgebirges bilden den untersten Teil der kalkalpinen Schichtfolge und werden von mächtigen Karbonatplattformen überlagert. Zusammen mit den Werfener Schichten treten sie vor allem im Bereich der Deckengrenzen zutage und befinden sich an der Basis der hohen Gebirge der NKA.

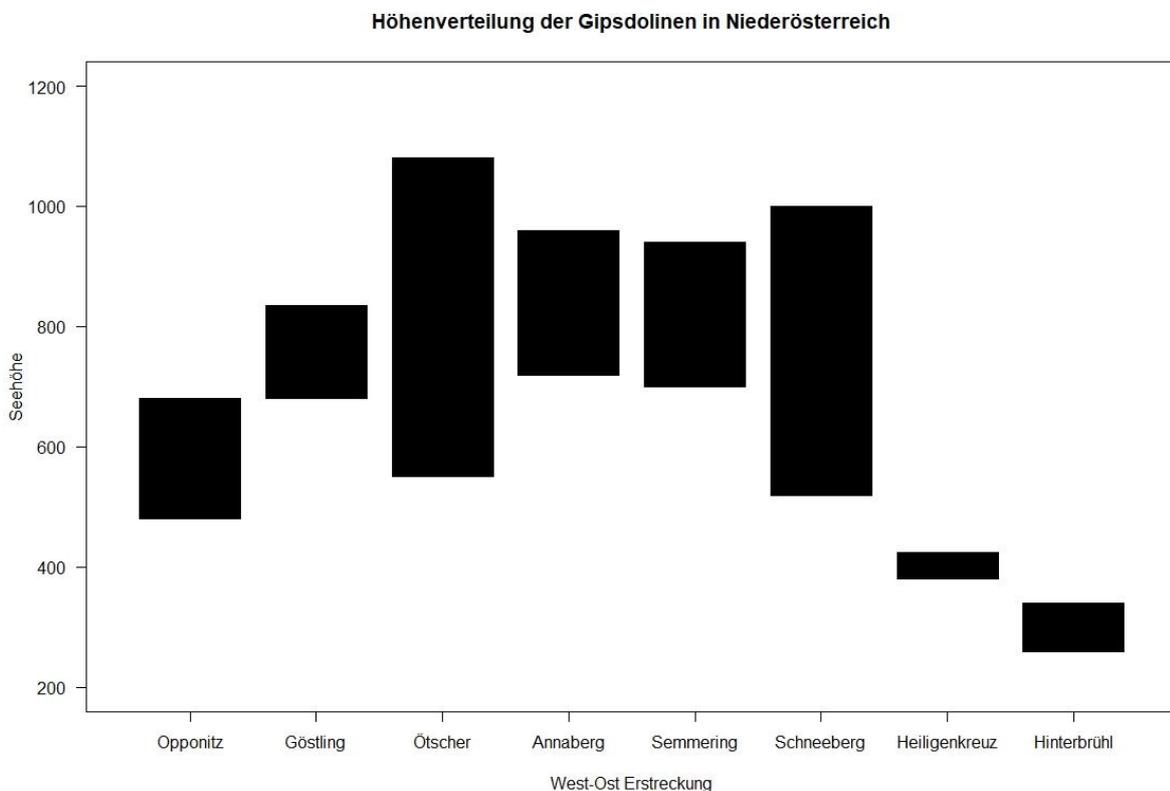


Abb. 41: Höhenverteilung der Gipsdolin in Niederösterreich

Die Oberflächenformen im Gips kommen aufgrund seiner stratigraphischen Stellung an steilen Bergflanken, am Fuße des Berges oder im Tal vor. Abb. 41 zeigt die Verteilung der Oberflächenformen (Dolinen) nach der Seehöhe. Im Diagramm sind die Minimum und Maximum Werte eingetragen und zeigen ab welcher Höhe die Oberflächenformung im jeweiligen Gebiet anfängt und endet. Die höchsten Gipsvorkommen findet man im Öttschergebiet auf knapp 1100 m Seehöhe und die niedrigsten in Hinterbrühl bei ca. 260 m Seehöhe.

Die verbreitetste Form des Gipskarstes sind Dolinen, die eine besonders runde Form aufweisen. Voraussetzung für die Entstehung von Karren oder ganzen Karrenfeldern ist das nackte Gestein an der Erdoberfläche. Gipssteine sind meist von anderen Schichten überlagert und sind selten an der Oberfläche im niederösterreichischem Ostalpin anzutreffen. Dementsprechend wenig Karren gibt es im niederösterreichischen Gipskarst.

Die typischen Oberflächenformen im Karbonatkarst findet man in Niederösterreich vor allem am Berg und nicht im Tal oder in Tal-Nähe. Auf den verkarsteten Hochplateaus, den sogenannten Altflächen, ist das Gelände karger und man findet mehr Lösungsformen, als im niederösterreichischen Gipskarst. Das Landschaftsbild ist von Karren- und Dolinenfeldern unterschiedlichster Form und Größe geprägt.

Die Morphologie der Dolinen im Gipskarst ist jener vom Karbonatkarst gleichartig, wobei die Größe und die besonders runde Form vieler Gipsdolinen hervorzuheben ist. In Abb. 42 sind zum Vergleich Dolinen im Gipskarst (links) und im Karbonatkarst (rechts) Niederösterreichs abgebildet. Auffällig ist, dass im Karbonatkarst in den Dolinen das anstehende Gestein zu sehen ist, was bei den meisten Gipsdolinen fehlt. Bilder b) und c) zeigen gut ausgebildete Trichter, die sich in ihrer Form ähneln. Durch die niedrigere Höhenlage gibt es Gipskarstgebieten eine viel dichtere Vegetation, als es auf den Gipfeln im Karbonatkarst der Fall ist. Schon im frühen Anfangsstadium weisen die Gipsdolinen bzw. Erdfälle im Gipskarst eine besonders runde Form auf, wie man es bei Bild a) gut erkennen kann. Abhängig von der Größe des Hohlraums im Untergrund, vergrößert sich der Erdfall und seine Flanken brechen kontinuierlich nach. Die Umbildung von einem

frischen Erdfall bis zur gut ausgebildeten Trichterdoline geht wesentlich schneller als im Karbonatkarst. Die besonders runde Form der Gipsdolinen bleibt aber erhalten.

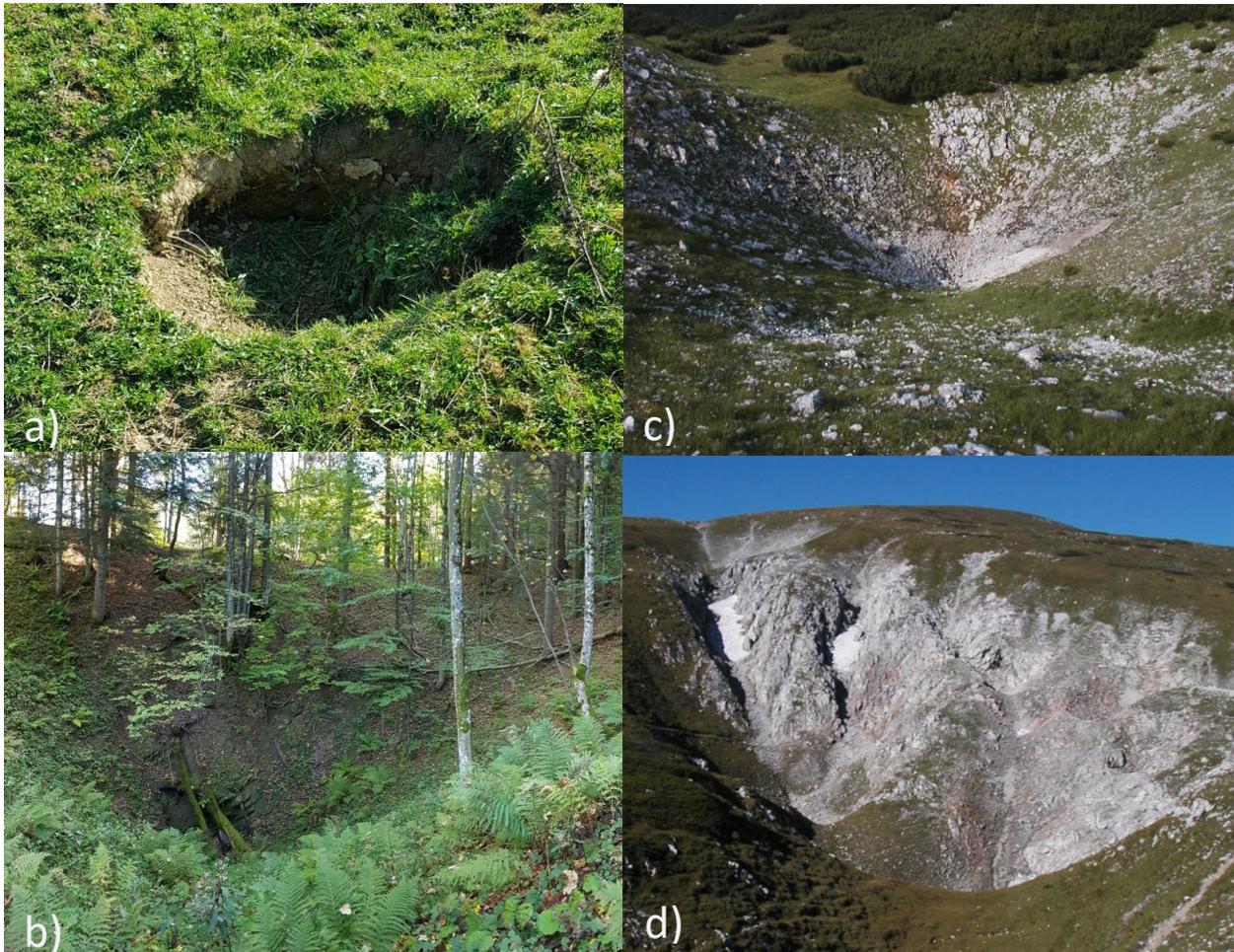


Abb. 42: a) frischer Erdfall und b) Doline im Gipskarst bei Annaberg © Irene Winkler, c) und d) Dolinen im Karbonatkarst auf der Rax ©Lukas Plan

Ein weiterer wichtiger Aspekt bei der Unterscheidung von Gips- und Karbonatkarst ist, die Ausbildung der Gipsdolinen in steilen Berghängen. Die rasche Lösungsfähigkeit des Gipses erlaubt die Bildung von Dolinen im Steilhang, was beim Karbonatkarst so nicht möglich wäre und eine Ausnahmeerscheinung darstellt. Ist Gips an Bergflanken im Untergrund verbreitet, so kommt es auch vermehrt zu Rutschungen im Hang, die die Form der Dolinen verändern. Oft ist es auch nicht leicht die Herkunft von kleinen Depressionen im Gelände auszumachen, da der dahinterstehende Prozess entweder durch Gipslösung im Untergrund oder durch eine Hangrutschung verursacht worden sein kann.

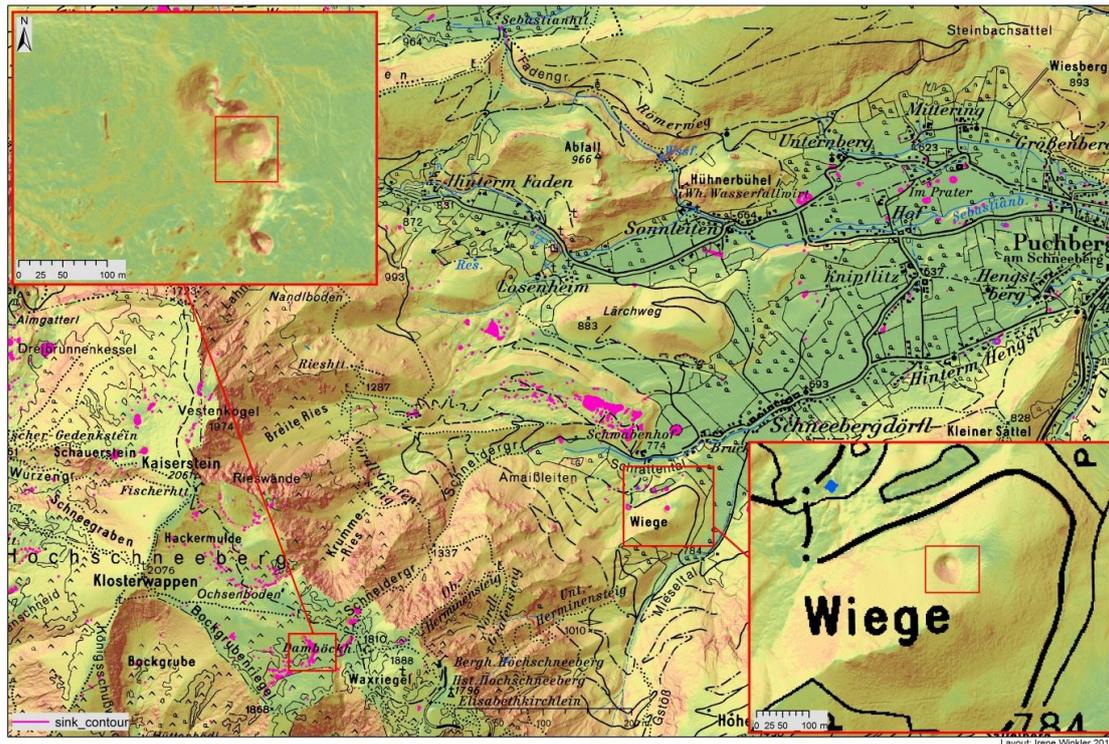


Abb. 43: Dolinen mit 50 m Durchmesser im Gips- und im Karbonatkarst (Schneeberg)
 ©Irene Winkler. 1-m-DGM (nögis), sink contours (NÖ-Karst)

Um die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Gips- und Karbonatdolinen besser ausmachen zu können, wurde im GIS eine Karte (Abb. 43) erstellt. Beide Dolinen befinden sich im Schneeberggebiet und die pinken Linien der „sink contours“ heben, die aus dem DGM berechneten, Hohlformen hervor. In diesem Teilausschnitt des Schneeberggebiets findet man die Dolinen entweder am Plateau (Wettersteinkalk) oder in Tal-Nähe (Haselgebirge/Werfener Schichten). S der würmzeitlichen Endmoräne auf der „Wiege“ befindet sich eine Doline mit 55 m Durchmesser und ungefähr 30 m Tiefe (vom oberen Rand weg). Ausgebildet hat sich die Hohlform im steilen Gelände und weist eine kreisrunde Form auf. Aufgrund der Höhenlage, der Position und der Größe kann man davon ausgehen, dass die Doline durch Gipslaugung im Untergrund entstanden ist. Eine Doline mit ungefähr derselben Größe (51 m Durchmesser, 22 m Tiefe) im Karbonatkarst findet man in Niederösterreich vor allem auf den Karstplateaus (Altflächen).

Beide Dolinen haben eine ausgeprägte Trichterform, wobei die Gipsdoline aufgrund der Steilheit des Hanges eine asymmetrischere Dolinenwände aufweist, aber die runde Form behält.

6. DISKUSSION

In diesem Kapitel sollen die Ergebnisse dieser Arbeit mit schon vorhandenen Publikationen über Gipskarst in Österreich bzw. vor allem in Niederösterreich, verglichen und etwaige Veränderungen in der Landschaft aufgezeigt werden. In Österreich gilt das Hauptaugenmerk der Karstforschung nach wie vor dem Karbonatkarst. Gipskarst wird hingegen nur nebenbei erwähnt bzw. gibt es nur wenige Arbeiten, die sich explizit auf Gipskarst beziehen. Aktuelle Forschungsansätze zu gipskarstmorphologischen Kartierungen gibt es im alpinen Raum nicht. Die meisten Werke sind 50 Jahre oder älter.

6.1 Verbreitung der Gipsvorkommen in Niederösterreich

Einen guten Überblick aller Gipsvorkommen bietet die Tabelle (Tab. 20, 293f.) über Lagerstätten von klassischen Industriemineralien von WESSELY (2006). Zusammengefasst sind alle Gipslagerstätten, die einmal wirtschaftlich genutzt oder immer noch genutzt werden. Die Vorkommen sind zugehörig ihrer geologisch-tektonischen Position und der genauen lithostratigraphischen Einheit aufgelistet. Aufgrund älterer Literatur, der geologischen Karten, der Geländekartierung und der Wasseranalysen wurden in der vorliegenden Arbeit Gipsvorkommen erfasst, die in der Auflistung noch fehlen.

Die Verbreitung von Gips kann man anhand der Oberflächenformen, die im DGM zu sehen sind, erahnen, denn durch die hohe Löslichkeit von Gips kommt es zur Auslaugung im Untergrund und zu Gipskarsterscheinungen, wie Dolinen, an der Oberfläche. Im Untergrund führen die schnelle Löslichkeit und der Untertagebau von Gips zu erweiterten Höhlensystemen. Das Wasser im Untergrund wird mineralisch angereichert und tritt als Mineralquelle wieder an die Oberfläche (THENIUS 1974: 109ff.), wodurch die Annahme von Gips im Untergrund durch Messung der ELF bestätigt werden kann.

In Niederösterreich gibt es 7 bzw. 8 (wenn man Annaberg als einzelnes Gebiet sieht) größere Gipskarstgebiete. Die Gipsvorkommen treten nur sehr kleinräumig auf und sollen hinsichtlich ihrer Verbreitung beschrieben werden.

Hinterbrühl (bis Altenmarkt)

Da Hinterbrühl dicht bebautes Stadtgebiet ist, gibt es nicht viele Oberflächenwässer. Dass sich Gips in weiten Teilen des Siedlungsgebiets im Untergrund befinden muss, haben die Messungen der elektrischen Leitfähigkeit in den wenigen Quellen aber bestätigt.

POSCH-TRÖZMÜLLER et al. (2015) haben im Rahmen eines Gutachtens für die Marktgemeinde Hinterbrühl ebenfalls eine Messung der elektrischen Leitfähigkeit und hydrochemische Analysen vorgenommen. Es wurden für die kartographische Gestaltung die morphologischen Einzugsgebiete der Bäche und Quellen, in denen Gipslösung stattgefunden hat, abgegrenzt. Diese Art der Darstellung von Gipsverbreitung zeigt im Gegensatz zu geologischen Kartierungen auch das Vorhandensein von Gips im Untergrund. Eine genaue Abgrenzung kann nicht erfolgen, aber dieses Gutachten bietet einen guten Anhaltspunkt für z.B. bauliche Vorhaben.

Heiligenkreuz/Füllenberg

Der von KRYSTIN und LEIN (1996) beschriebene 1,2 km lange und 50-200 m breite Gipsstock zieht sich von Alland bis zur Vorderbrühl. Bei der Geländekartierung 2018 konnten im Bereich des Gipsbergbaus von Füllenberg und bei Heiligenkreuz viele Pingen und Dolinen aufgenommen werden, die auf Gipslösung zurückzuführen sind und durch die Messung der ELF bestätigt werden kann.

Kleinere Gipsvorkommen wurden auch in Groisbach festgestellt, wo Gips an einer Wand abgebaut wurde und durch graue bis rötliche Tone und Mergel verunreinigt ist (HOLZER 1963: 66ff.). In Groisbach gibt es gegenüber vom Gasthaus „Zu den Kernbuam“ einen Aufschluss von rotem Ton- und Sandstein, der zu den Werfener Schichten passen würde. Gips ist dort nicht anzutreffen, aber die Messung der ELF im Groisbach ergab einen hohen Mineralisationswert.

Zwischen dem Hühnerkogel und Preinsfeld befinden sich weitere Gipslagerstätten, die leider unzugänglich waren, jedoch die Quellen in diesem Bereich auf eine hohe Gipslösung hinweisen. Die Bergbaue sind heute nicht mehr aktiv, aber HOLZER (1963)

dokumentiert viele verwachsene Gruben des Tagbaues und eingestürzte, offengelegte Stollen.

Schneeberg

Im Schneeberggebiet ist lediglich das Gipsvorkommen bei Puchberg in der geologischen Karte verzeichnet. Dieses Gipsvorkommen hat aber eine größere Ausdehnung, als sich zuerst vermuten lässt. Bei der Geländekartierung 2018 wurden vom Schneeberg bis Grünbach sind immer wieder Erdfälle verschiedenster Größe aufgenommen. Die „permoskythischen“ Gipsvorkommen des Schneeberggebiets sind von jüngeren glazialen und glazifluviatilen Sedimenten bedeckt (SEIDL 2012: 78) und deswegen wurde kein anstehender Gips in diesen Bereichen gefunden, jedoch verweist CORNELIUS (1951) schon darauf, dass es eine Fortsetzung des Gipslayers geben muss und die Wasserproben dieser Arbeit belegen das Vorhandensein von Gips im Untergrund außerhalb der bekannten Bereiche.

Ötscher

Die N-Seite des Ötschers vom Juckfidelwald über Trübenbach ist von Rutschungen geprägt, die zum Teil auf Gipslösung im Untergrund zurückzuführen sein können. Gipsaufschlüsse waren bis auf den des geologischen Gesteinslehrpfads von WESSELY und HEINRICH (2015) nicht zu finden, aber die trüben, milchig weißen Quellen deuten auf gelöstes Haselgebirge hin. Die hohe ELF und die Laboranalyse ergaben, dass Sulfat im Untergrund gelöst wurde und größere Gipsvorkommen vorhanden sein müssen.

Das große Dolinenfeld bei Reith schließt keine Gipsvorkommen auf, aber die umliegenden Quellen und die Teiche in den großen Hohlformen weisen eindeutig auf Gipslösung im Untergrund hin.

Annaberg

Die Gipsvorkommen von Annaberg gehören zu den bedeutendsten Gipskarstgebieten in Niederösterreich. Die Größe des Gipsvorkommens im Untergrund ist vermutlich größer, als sich vorerst vermuten lässt. Die Vielzahl an Dolinen, die über weite Bereiche verteilt sind, zeugen von Gipslösung im Untergrund. Die Quellen waren sehr hoch mineralisiert und hatten Sulfatwerte von 1,3 g/l, was einer der höchsten Werte für Niederösterreich darstellt.

Göstling

Zum Zeitpunkt der Geländekartierung war es sehr trocken, was dazu führte, dass viele Quellen kein Wasser führten. Die Mineralisationswerte in den Bächen, wo die ELF gemessen wurde, waren nicht auffällig für Sulfatlösung. In den Gräben war kein Gips mehr aufgeschlossen, wie es in der von NAGL (1970) verzeichnet war. Die Größe der Hohlformen bei Grub oder Ablass weisen aber auf Gipslösung im Untergrund hin und wären typisch für diese Höhenlage.

Opponitz

Die von AMPFERER (1930) aufgenommenen Gipsaufschlüsse im Hinterleiten- und Hühnergraben waren bei der Kartierung 2018 nicht mehr aufzufinden. Die Vielzahl an Dolinen, die sich über das Gebiet erstreckt zeugt von Gips im Untergrund. Aufgrund der Trockenheit konnte nur eine Quelle ausfindig gemacht werden, die die angenommene Sulfatlösung bestätigt.

Semmering

Die Gipsvorkommen im Semmering wurden alle wirtschaftlich genutzt und Gips als Rohstoff abgebaut. Die Abgrenzung der Bergwerke kann man anhand der Pingenlandschaft gut nachvollziehen. Die Quellen waren hoch mineralisiert, aber anstehender Gips war nicht zu finden.

6.2 Oberflächenformen im Gipskarst von Niederösterreich

Die Entstehung und die Verschiedenheit von Gipskarstformen hängen von der Art des Karstes ab (bedeckt-unbedeckt). Zusätzlich sind die Lagerungsform und die Reinheit des Gipses, die Tiefe der Lagerstätte und die Begleitstratigraphie ausschlaggebend für die Oberflächenform im Gipskarst (GÖTZINGER 1955b: 3). Nach GÖTZINGER (1955a) können zwei Formgruppen der Gipsdolinen unterschieden werden:

Gruppe 1: Dolinenbildung (Trichter) im Gips direkt (meist Werfener Schichten und Haselgebirge). Die Form und Größe der Dolinen kann sehr unterschiedlich sein. Die Durchmesser reichen von 1-50 m und können auch mehrere Zehnermeter tief sein. Die typischste Form ist die Trichterdoline mit Schlundloch und der Erdfall. Je nach Alter der Dolinen sind die Wände entweder sehr steil (jung) oder bereits abgeflacht (älter). Die Trichter können vereinzelt oder vergesellschaftet (Doppeltrichter oder mehr) vorkommen. In den Hohlformen ist es auch nicht unüblich, dass sich an den Wänden parasitäre Trichter bilden.

Gruppe 2: Dolinenbildung in jüngeren Schottern durch Auslagung von Gips in der Tiefe. Diese Formgruppe bezieht sich vor allem auf die Dolinen im Puchberger Becken. Viele Dolinen haben im Gegensatz zu den Trichtern mit Schlundloch der Gruppe 1 im älteren Stadium einen ausgeprägteren flachen Dolinenboden. Die Hohlraumbildung im Untergrund führt an der Oberfläche zu Dolinentrichtern, Einsturzdolinen und Erdfällen. Bei Auslagung der „Gipsnester“, unter eiszeitlichen Schottern oder an Steilböschungen unter Hangschutt, bilden sich die Trichter, deren Form mit der Zeit verändert wird. Das Lockersediment rutscht in die Hohlform und kann so einen flacheren Boden ausbilden und/oder in den Hohlraum im Untergrund rieseln.

Diesen Beobachtungen kann im weitesten Sinne zugestimmt werden, jedoch gehört hinzugefügt, dass für beide Gruppen die Hohlraumbildung im Untergrund ausschlaggebend ist. Ein Erdfall der Gruppe 1 kann je nach Vegetationsdecke seine Form verändern. Auf einer Wiese würde sich bei einem kleinen Hohlraum nicht unbedingt ein Trichter bilden, sondern ein Erdfall mit steilen Wänden und der gesackten Grasfläche als Dolinenboden. Die bei der Geländekartierung 2018 beobachteten Gegebenheiten und

Erkenntnisse sollen in diesem Abschnitt diskutiert und mit älteren Ergebnissen verglichen werden. Die typische Trichterform der meisten Dolinen (Gruppe 1 und 2) bezieht sich auf die morphologische Beschreibung von GÖTZINGER (1955a).

Hinterbrühl

Wie schon in Kapitel 5 erwähnt, ist Hinterbrühl kein typisches Karstgebiet mit charakteristischen Oberflächenformen. Die Gipslösung im Untergrund macht sich vor allem durch Risse an Hausfassaden oder im Asphalt bemerkbar. Bei größeren Höhlräumen entstehen auch Erdfälle im Asphalt, die aber keine typische Form aufweisen. Im Stadtgebiet gibt es nur eine Doline, die sich auf einem Feld eingetieft hat. Sie hat eine typische kreisrunde schüsselförmige Morphologie und ist vermutlich durch langsame Sackung entstanden. Es gibt keine Anrisskanten an der Grasoberfläche, die einen schnellen Prozess vermuten lassen. Die Doline könnte sich aber schon in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium befinden, wo die Vegetationsdecke nachgewachsen ist. Der Dolinenboden war nicht zu sehen, da sie mit Baumschnitt verfüllt war.

Heiligenkreuz/Füllenberg

N des Bergbaus von Füllenberg ist eine ca. 40 m große kreisrunde Hohlform. In der Doline stehen hohe Bäume und die Vegetation ist deutlich höher, als um sie herum. Um den Bergbau herum gibt es noch ca. 15 kleinere Dolinen. Es ist unklar wie weit sich die unterirdischen Stollen erstrecken, weshalb nicht auszuschließen ist, dass es sich um Pingen handelt. Die meisten Hohlformen weisen eine Trichterform auf, deren Wände schon abgeflacht sind. W des Bergwerks im Wald gibt es eine Einsturzdoline, deren schmaler Schlot in einen Hohlraum mit unbekannter Länge führt. Der Verbruch dürfte aber längere Zeit her gewesen sein, da das Gestein und Bodenmaterial stark angewittert sind.

In Heiligenkreuz N des Bodenbergs gibt es eine Dolinenreihe neben einem Weg im Wald. Die Form der Dolinen wurde zum Teil verändert und die Bodenfläche geebnet, um z.B. Platz für einen Jägerstand oder Sitzbänke zu schaffen.

Die alten Gipswerke von Preinsfeld und Hühnerkogel beherbergen eine Vielzahl an Verbruchsformen. Natürliche Gipsdolinen mit typischer Trichterform findet man W des Hühnerkogels im Wald.

GÖTZINGER (1955b) dokumentiert im Bereich des Hühnerkogels (unterhalb des Marienhofs) frische Tricherdolinen mit Schlundlöchern. Diese Dolinen befinden sich jedoch im Bergbaurevier und haben vermutlich keinen natürlichen Ursprung. Weiters werden noch mehrere Trichter im Bergbau von Preinsfeld erwähnt, wo auch anstehender Gips zu sehen war, es sich jedoch um eingestürzte Stollen des Untertagsbau handeln muss. In Preinsfeld selbst gibt es keine Dolinen, jedoch ist die wellige Morphologie des Hanges SE vom Ortsgebiet typisch für Gipslösung. Im Hang sind immer wieder kleine Depressionen im Gelände zu sehen.

Schneeberg

Im langgestreckten Becken von Puchberg findet man eines der größten Gipskarstgebiete in Niederösterreich. Die Dolinen im Tal sind in glaziofluviatilen Schottern ausgebildet, die auf Auslaugung des unterlagernden Gipses zurückzuführen sind. Es handelt sich bei den meisten Dolinen um Suffosionsdolinen mit steilen Wänden. Laut GÖTZINGER (1955a) geht die Umformung zum stabilen Trichter mit flachem Boden durch den Schottereintrag schneller.

Im Schneidergraben S der Endmoräne befindet sich ein Akkumulationsbereich (Murkegel) von ehemaligen gravitativen Prozessen. Die Wiese weist etliche Depressionen auf, aber keine klar abzugrenzenden Hohlformen. Die Wasseranalyse bestätigt, dass es neben den Murereignissen auch zu Gipslösung im Untergrund gekommen ist.

Auf der Endmorände ist ein großer steiler Trichter mit Schlundloch zu erkennen. Nach GÖTZINGER (1955b) handelt es sich dabei NICHT um ein Toteisloch, sondern um eine Gipsdoline, da Toteislöcher keine Schlundlöcher aufweisen. Bei einem Schuttbedecktem Gletscher, wie ihn SEIDL (2012) beschreibt, würde sich beim Abschmelzen eines Eisblocks, vermutlich kein so steiler Trichter ausbilden, sondern die Hohlform mit Schutt auffüllen und den Boden ebnen. E vor der Moränenstirn ist ein ähnlich großer Trichter,

der in glaziofluviatilen Sedimenten ausgebildet ist. Da in diesem Bereich großflächig Gipskarsterscheinungen vorkommen und die Quellen im Schneidergraben auf Sulfatlösung hinweisen, ist es nicht auszuschließen, dass es sich um eine Lösungsform handelt und nicht um eine glaziale Form.

Die „Gipsnester“ im Untergrund verursachen auch im steilen Hang S des Schwabenhofs etliche trichterförmige Dolinen. Eine 50 m breite Doline liegt im Steilhang der „Wiege“. Sie hat trotz der Steilheit des Hanges eine kreisrunde Form. Nach GÖTZINGER (1955b) ist das Schlundloch des Trichters zum in der Tiefe ausgelaugten Gips ausgerichtet.

GÖTZINGER (1955b) definiert die Größe der Dolinen nach dem Hohlraum in der Tiefe. Je nach Schotterauflage verfüllt und formt sich die Doline anders.

Im Bereich des Gipsbergwerks von Puchberg liegt N des Abbaugebiets ein Pingenfeld mit unterschiedlich großen Trichtern. Im Bergbaugebiet wurde ein künstlich erzeugtes freigelegtes Gipskarstrelief geschaffen. FINK (1973) beschreibt in seiner Publikation „Beobachtungen über Gipskarren“ die linearen Lösungserscheinungen im Gips. Die vergesellschaftete Verbreitung von Karren, so dass man von Karrenfeldern sprechen kann, gibt es in Niederösterreich nur im Bergbaugebiet. Durch den Tagbau wurde ein subkutanes Karrenfeld freigelegt, dessen Rinnen mehrere Meter tief waren und mit jüngeren Schottern aufgefüllt wurden. Die Karren im freigelegten Gestein bilden sich bevorzugt im grau weiß gebänderten Gips, was zur Annahme führt, dass die Laugung strukturgebunden erfolgt. Im dichten Gips ist kaum Karrenbildung festzustellen. Im Bergbaugebiet kann man mehrere Meter lange und vor allem mehrere Meter tiefe Rinnenkarren finden, aber auch Rundkarren. Durch die leichte Löslichkeit kommt es zu viel größeren Dimensionen der Karren (richtige Karregassen), als man sie im Kalk finden kann.

S des Bergbaus bei Grub und der Pfennigwiese treten viele Trichterdolinen unterschiedlicher Größe auf. Die Trichter haben eine besonders runde Form und kommen vergesellschaftet in einer Linie vor. Weiter E auf der Sonnleiten (S) gibt es sieben große gut ausgebildete runde Dolinen mit Schlundloch am Dolinenboden, die

GÖTZINGER (1955b) ebenfalls aufgenommen und skizziert hat. Die Größe der Dolinen im steilen Hang ist beträchtlich.

Ötscher

Die Gipskarstlandschaft im Ötschergebiet zieht sich vom Juckfidelwald, über Trübenbach und Erlaufboden bishin zu Reith.

W der Haltestelle Annaberg Reith erstreckt sich ein prächtiges, ausgedehntes Trichterfeld. Die zwei großen Hohlformen beinhalten viele kleine Einzeltrichter, wobei sich in zwei der Trichter kleine Teiche gebildet haben. Die Dolinen weiter N haben sich zum Teil in sehr steilen Passagen gebildet und haben eine asymmetrische Trichterform. Die Wiese E der großen Hohlformen weist viele flache Depressionen auf, die auf Gipslösung zurück zu führen ist. Die Aufnahmen passen weitestgehend mit den Ergebnissen von GÖTZINGER (1955b) zusammen, wobei zu erwähnen ist, dass sich in den letzten 63 Jahren die Hohlformen, seiner Karte zufolge, vergrößert und die Dolinen weiter eingetieft haben. Es sind auch etliche neue Dolinentrichter dazugekommen.

Von Reith Richtung Erlaufboden ist kein Gips mehr aufgeschlossen, wie es GÖTZINGER (1955b) auf Bild 1 festhielt, aber es kommen vereinzelt Dolinentrichter in den Steilböschungen vor. N des Gr. Koller sind ebenfalls viele asymmetrische Dolinentrichter in Steilhängen zu finden.

Im Bereich von Trübenbach bzw. des Juckfidelwalds haben sich die Gipstrichter unter quartärem Hangschutt gebildet. Die Dolinen sind zum Teil in sehr steilen Bereichen ausgebildet und haben durch Rutschungen eine asymmetrische Form erhalten. Die Dolinenwände sind steil und das Lockermaterial rutscht in den Trichter. Bei Trübenbach sind weniger Hohlformen ausgebildet, aber das Gelände ist sehr unruhig und wellig. Auch hier ist vermutlich eine Kombination von Rutschungs- und Lösungsprozessen ausschlaggebend für die buckelige Morphologie des Hanges. Unzählige Dolinen (ca. 50) gibt es dafür im Juckfidelwald.

Annaberg

Die Gipskarstlandschaft bei Annaberg weist eine Vielzahl verschiedener Oberflächenformen auf. Das Gebiet N von Annaberg bei der Reidlhütte wurde bereits von FINK (1999) erforscht und die Geländeformen erhoben. Gipskarstlandschaften können sich auf natürlichem Weg sehr schnell verändern, jedoch wird das die Karstlandschaft durch das Eingreifen des Menschen zusätzlich verändert oder gar zerstört.

Da wo heute der Beschneigungsteich liegt, wurde eine große Hohlform mit fünf kleineren Dolinen verfüllt und baulich verändert. Einige Hohlformen wurden in einen „Abenteuer Radpark“ integriert. Der Ponor S der Reidlhütte, wie es FINK (1999) eingezeichnet hatte, ist heute nicht mehr zu sehen. Im DGM kann man aber eine Rinne von der Hohlform weg erkennen.

Abb. 9:
Gipskarstgebiet "Am Reidl" bei Annaberg -
Veränderungen der Karstlandschaft
 Kartierung: M.H. Fink

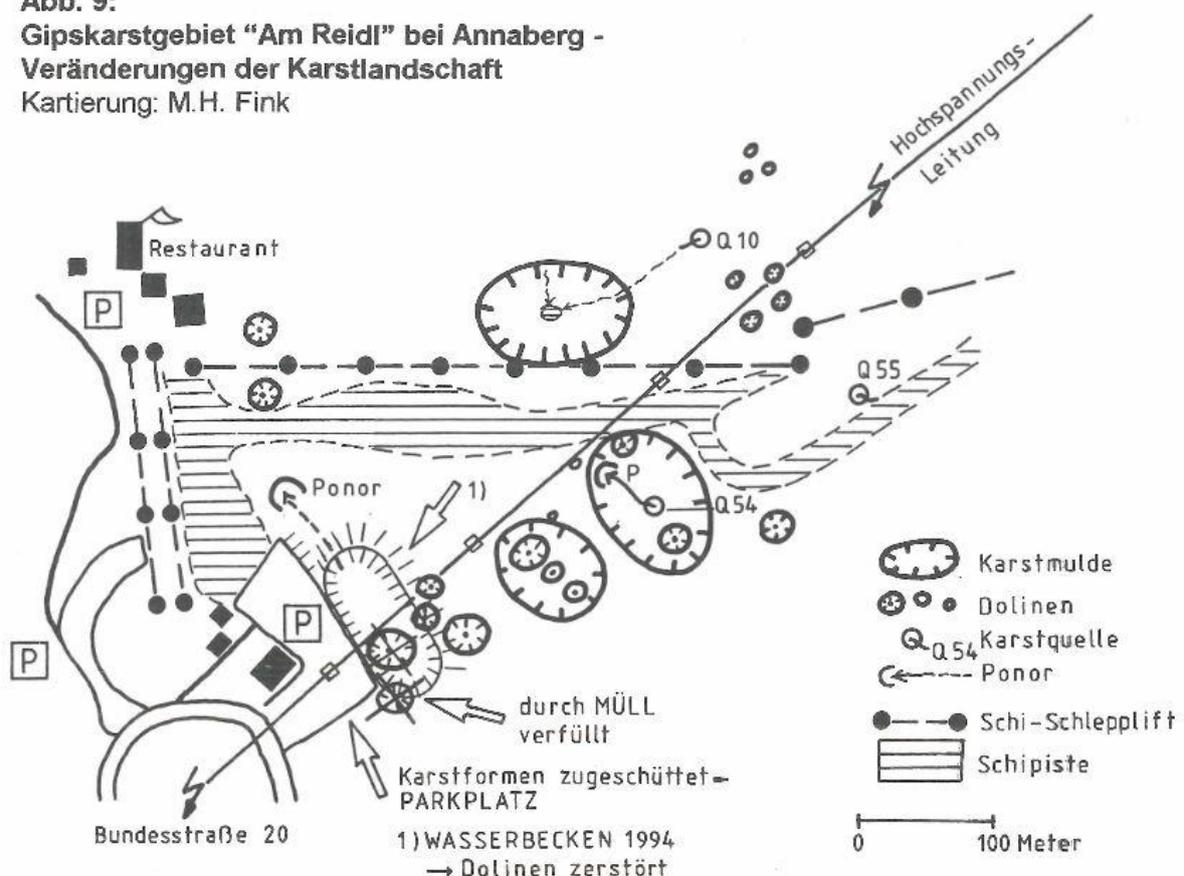


Abb. 44: Gipskarstmorphologische Karte (FINK 1999)

E des Beschneigungsteichs ist eine große Hohlform mit drei Schlundlöchern in einer Reihe zu finden. Die Dolinenwände sind steil, weisen aber eine gewisse Stabilität auf. Einzeln betrachtet hat jede dieser Dolinen eine Trichterform. Gleich daneben ist eine weitere große Hohlform mit einer Länge von ca. 115 m. In der Hohlform sind ebenfalls drei größere Schlundlöcher zu erkennen. Das Mittlere wird in der FINK (1999) Karte als Ponor aufgelistet, jedoch war heute kein Gerinnebett mehr zu sehen. Im N Teil der Hohlform sind um den Dolinentrichter weitere kleinere Depressionen zu sehen. N dieser Dolinen gibt es eine weitere große Hohlform mit ca. 60 m Durchmesser, die jedoch keine geschlossene Form ist, wie es aus der Karte von FINK (1999) anzunehmen ist. Von der Hohlform führt eine tiefe Rinne bergabwärts Richtung Reidlhütte. Es führt auch eine Rinne in die Hohlform, wo ein kleiner Bach, der zum Zeitpunkt der Kartierung nicht wasserführend war, hineinmündet. Der Dolinenboden ist flach und eben. Bei der Reidlhütte gibt es weitere Suffosionsdolinen mit Schlundloch, wovon zwei von FINK (1999) kartographiert wurden. Die S Doline davon ist heute ein Doppeltrichter.

S des Parkplatzes beim Teich haben sich ca. 30 Dolinen in der Steilböschung gebildet. Alle von ihnen haben eine asymmetrische Trichterform und wurden bisher noch nicht dokumentiert.

Das Gipskarstgebiet von Annaberg beschränkt sich nicht nur auf den von FINK (1999) kartierten Teil, sondern lässt sich anhand der Geländeformen im DGM gut nachvollziehen. Die Formenvielfalt der Gipsdolinen reicht von den typischen Dolinen der Gruppe 1 von GÖTZINGER (1955a), über Einsturzdolinen bis hin zu Erdfällen mit steilen oder schon umgeformten flacheren Wänden.

W des Ahornbergs im Steilhang des Waldes sind über 10 Trichterdolinen mit ausgeprägtem Schlundloch. Die meisten sind sehr steilwandig und vermutlich noch in der Entwicklungsphase. Durch die Gipslösung im Untergrund haben sich nicht nur die Dolinen eingetieft, sondern wurden vermutlich auch Massenbewegungsprozesse ausgelöst. W der Straße in der Kehre beim Ahornberg ist die Wiesenfläche sehr unruhig und wellig. Es gibt große flache Depressionen. N des Scheiblingbergs ist es, wie man im DGM gut erkennen kann, zu einer großen Rutschung gekommen. Der Hang könnte seine

Morphologie also entweder vom Rutschungsprozess und/oder von Gipslösung im Untergrund erhalten haben.

S von Annaberg sind um den Bergbau einige große Pingentrichter eingetieft. Am unteren Teil des Hanges gibt einen kleinen Erdfall und zwei angedeutete Anrisse in der Wiese, die nachbrechen könnten. Der Erdfall ist symmetrisch rund, mit steilen Seitenwänden und flachem Dolinenboden mit Grasbedeckung. Hier ist kein Schlundloch zu sehen, die Oberfläche ist als Ganzes in den Hohlraum „gefallen“. Ein weiterer Erdfall befindet sich ein paar Meter E von diesem. Er hat einen Durchmesser von ca. 5 m und schon abgeflachtere Seitenwände. Der Boden ist ebenfalls mit Vegetation bedeckt. Die Oberfläche ist abgerissen und hat sich ein paar Meter nach unten verlagert.

N der ersten Kehre Richtung Annaberg liegen viele flache und oft auch tiefere Trichter im Wald. Die NE Doline ist eine Einsturzdoline, die in einen Hohlraum mit unbestimmter Länge führt. Die Morphologie der Doline ist asymmetrisch mit Doppeltrichter, wobei der obere in den Hohlraum führt. Bei dieser Doline ist rosa bis grauer Gips anstehend und es sind deutlich Lösungserscheinungen zu erkennen. An den steilen Seitenwänden gibt es viele Rillenkarren und drei größere Rinnenkarren mit ca. 15 cm Breite. Im Gestein haben sich durch die Lösung auch viele kleine spitze Zacken gebildet.

N und NE des Weishofs haben sich 10 Trichterdolinen mit Schlundloch im steilen Hang gebildet.

Göstling

Eine der spektakulärsten Gipskarstformen findet man in Grub, S von Göstling. Die ca. 220 m lange Hohlform beherbergt heute sieben weitere Dolinen. In der Mitte der Hohlform befindet sich eine große Doline mit asymmetrischer Trichterform und Schlundloch. Laut GÖTZINGER (1955b) dient diese Doline als Ponor für den Oberflächenabfluss. Um die große Doline haben sich fünf weitere Dolinen mit Schlundloch eingetieft. Drei dieser Dolinen liegen unterhalb der Ponordoline und weisen auch einen gewissen Ansatz unterirdischer Fließmuster auf. Im DGM kann man eine Linie zwischen den Dolinen ausmachen und die Vegetation ist am Dolinenboden dichter,

als in der Umgebung. Im W Teil der großen Mulde befindet sich eine weitere große Doline, die ebenfalls eine Trichterform mit Schlundloch aufweist.

W von Grub beim Saalrigl sind drei flache Suffusionsdolinen in einer Reihe. Die Größe der Dolinen ist von links nach rechts größer werdend. Oberhalb der Weidefläche gibt es noch eine größere Trichterdoline im Wald.

SE von Ablaß gibt es zwei große Ponordolinen mit jeweils einer Rinne, die zur Doline führt. Sie besitzen eine asymmetrische Trichterform, die Seitenwände sind steil, wirken aber dennoch stabil. Der ganze Hang auf dem die Dolinen liegen ist gerodet und viel Baumschnitt in die Dolinen geworfen worden.

GÖTZINGER (1955a) und NAGL (1970) haben drei Dolinen SW von Ablaß dokumentiert. Eine der Dolinen wird als Trichter mit zwei Schlundlöchern („Zwillingerdfall“) beschrieben mit einigen Metern Durchmesser. Da die topographische Grundlage schlecht ist, ist es schwer seine Karte nachzuempfinden. Bild 1 in NAGL (1970) zeigt eine Dolinenreihe von drei einzelnen großen Trichtern auf einer Wiese, angelegt in SSW-NNE Richtung von Ablaß. Im DGM sind keine so großen Hohlformen in dieser Ausrichtung zu finden. Die einzigen Hohlformen mit dieser Größe sind die Ponordolinen SE von Ablaß. Es wird daher angenommen, dass die Dolinen verfüllt worden sind.

Opponitz

Das Landschaftsbild des Gipskarstes von Opponitz bietet neben den flach welligen Weiden auch eine Vielzahl an gut ausgebildeten Suffusionsdolinen. An den Trichterböden lässt sich gut nachvollziehen, wo das Lockermaterial in den Hohlraum gerieselst sein muss. In der Mitte zieht ein Sog nach unten und formt so den Trichter. Im Wald weisen die Dolinen eine asymmetrische Form auf und an den Weidewiesen sind die Dolinen wie Schüsseln ins Gelände eingetieft. Die Gipslösung macht sich nicht nur an den Dolinen bemerkbar, sondern auch ganze Hänge werden wellig mit großen flachen Depressionen. Im Graben sind die Dolinentrichter an steilen Hängen ausgebildet.

AMPFERER (1930) beobachtet im Bereich des Grabens, dass es in den steilwandigen Gräben wegen der vielen Quellaustritte vermehrt zu Rutschungen kommt. Die

Rutschungen haben Gips freigelegt. Aufgrund der Wasserarmut im Sommer 2018 gab es keine Gipsaufschlüsse in der Gegend, wie es z.B. in RUTTNER und SCHNABEL (1988) eingezeichnet ist. Schon zum Zeitpunkt von AMPFERER (1930) gab es auf der Hochfläche zahlreiche Dolinen, die er auf Gipslösung im Untergrund zurückführt. In der geologischen Karte von RUTTNER und SCHNABEL (1988) sind ebenfalls Gipsdolinen verzeichnet, die zum größten Teil nicht mehr zu finden waren.

Semmering

Der Semmering stellt als Gipskarstlandschaft ebenfalls eine Besonderheit dar, da überall wo Gips im Untergrund zu finden ist, auch Gips abgebaut wurde. Beim Katharinalager ist die Landschaft durch die vielen Pingen sehr unruhig. Morphologisch schauen Pingen den natürlichen Hohlformen sehr ähnlich. Wüsste man nicht, dass in diesem Gebiet abgebaut wurde, würde man keinen wirklichen Unterschied erkennen. Die Pingen können in unterschiedlichsten Größen und Formen auftreten. Viele der kleinen Pingen sind durch Sackung entstanden und haben flache Seitenwände und eine geringe Mächtigkeit. Es gibt aber auch große Trichter mit Schlundloch und steilen Wänden. Wie GÖTZINGER (1955b) beschreibt, lässt sich die natürliche Erdfall-bzw. Trichterbildung anhand von Versturzstollen gut nachempfinden. Es beginnt mit einer Nachsackung der Oberfläche durch die Hangneigung. Der Prozess läuft allmählich ab und kann durch ein „Trigger-Event“ wie z.B. Starkniederschläge zum Erdfall führen.

6.3 *Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Gips- und Karbonatkarst*

In den Niederösterreichischen Alpen findet man unterschiedliche Karstlandschaften, hinsichtlich der *Verbreitung*, der *Oberflächenformen*, deren *Ausbildung* im Landschaftsraum, der *Morphologie* und zum Teil auch nach dem Alter der Dolinen.

In den NKA sind vor allem Kalkgesteine und Dolomite der Trias *großflächig verbreitet* und für die Ausbildung von Karstlandschaften am relevantesten. Evaporite kommen viel *kleinräumiger* vor, sind aber aufgrund der schnellen Lösungsfähigkeit ebenso für die Entstehung von Karstlandschaften in Niederösterreich von Bedeutung.

Die charakteristische Landschaft entsteht durch die Gesteinslösung und führt an der Oberfläche zu typischen Formen, wie *Dolinen*, *Karren* oder *Ponoren* und im Untergrund zu Hohlräumen und Schächten. Die Karbonatkarstlandschaften sind auf den Altflächen (Plateaus) der alpinen und voralpinen Bereiche der NKA zu finden. Die ebenen, meist waldfreien, Flächen bieten eine große „Angriffsfläche“ für die Gesteinslösung. Sowohl lineare, als auch runde Karren und tiefe Klüfte sind großflächig vertreten. Am Hochplateau kommen zahlreiche Dolinen unterschiedlichster Form und Größe vor. Gipskarstlandschaften hingegen, sind im Tal oder an steilen Bergflanken anzutreffen. Durch die leichte Löslichkeit von Gips findet man kaum natürliche Aufschlüsse. FINK (1973) sagt, wo Gips zutage tritt, weist er eine stark korrodierte Oberfläche auf. Karrenfelder gibt es in Niederösterreich nur in Bergbaugebieten, bilden aber auch die karsttypischen Karrenformen aus. Dolinen sind hingegen die dominanteste Oberflächenform im Gipskarst. Die Verbreitung von Gips lässt sich anhand der Dolinenvorkommen gut nachvollziehen.

Ponore sind im Gips- und im Karbonatkarst zu finden. Das Fehlen oder Verschwinden von Oberflächenwasser ist in Karstgebieten häufig. Die Entwicklung des natürlichen Gewässernetzes an der Oberfläche wird in Karstgebieten gestört, da sich unterirdische Wasserwege entwickeln. Durch die rasche Lösung könnte die Entwicklung der Gewässernetze im Gips unter Umständen noch mehr gestört werden (GÖTZINGER 1955b).

Die unruhige wellige Morphologie der Hänge und die zahlreichen Dolinen im Gipskarst bezeichnet GÖTZINGER (1955b) als eine regelrechte Perforierung der Geländeoberfläche, die die gleichmäßige Böschung, der sonst so sanften Hügel der Werfener Schichten stört. Die schnelle Laugung im Untergrund erlaubt dem Gipskarst, unter Einfluss von Grund- und Tagwässern, die Ausbildung von Dolinen in Steilhängen. Diese Eigenschaft bleibt den Gipsdolinien vorbehalten und stellt im Karbonatkarst eine Ausnahmeerscheinung dar (GÖTZINGER 1955a), vor allem auch weil die Hänge während und nach den Eiszeiten durch Erosion verändert wurden und sich große Schuttflächen gebildet haben. Die markante kreisrunde Form der Gipsdolinien ist hierbei hervorzuheben (SPENGLER 1931: 2), die es so im Karbonatkarst in Niederösterreich nicht gibt. Die Karren im Gips unterscheiden sich morphologisch nicht von jenen im Kalkgestein. Die größere Löslichkeit des Gipses zieht andere Dimensionen der Karren mit sich. Es konnten Karrengassen von 10 m Länge und bis zu 3 m Tiefe festgestellt werden (FINK 1973).

Die Altflächen in den NKA bleiben dem Karbonatkarst vorbehalten, der Gipskarst kommt außerhalb der Altformen vor und kann sich auch in jungen (eiszeitlichen) Flächen entwickeln (GÖTZINGER 1955a). PLAN und DECKER (2006) untersuchten die Mengen- und Größenverteilung der Dolinen nach der Seehöhe auf dem Hochswab Plateau im Karbonatkarst. Es zeigte sich, dass kleine Dolinen (Volumen unter 10^3 m^3) am häufigsten auf einer Seehöhe von ca. 1800 m vorkommen. Mittelgroße Dolinen (Volumen zwischen 10^3 und 10^4 m^3) kommen im Bereich zwischen 1700 und 2300 m Seehöhe vor. Die wirklich großen Dolinen (Volumen zwischen 10^4 und 10^6 m^3) liegen auf den Altflächen auf über 2000 m Seehöhe.

FRISCH et al. (2002) setzt die Entstehung der verkarsteten Altflächen der NKA ins späte Eozän bis ins frühe Oligozän. Das Karstrelief der Altflächen war weitestgehend vor Erosionsprozessen geschützt, da es durch Subsidenz zuerst von den Augenstein Sedimenten überlagert und in späterer Folge wieder exhumiert und freigelegt wurde. Bei der darauffolgenden Hebung erfuhren die Kalkalpen eine intensive Verkarstung, die sich durch unterirdische Entwässerung auszeichnet, womit die Oberflächenerosion und die Zerstörung der Altflächen stark eingeschränkt wurden. Während der Eiszeiten ragten die

Altflächen als Nunataks aus dem Eisstromnetz heraus und erfuhren so auch kaum glaziale Überprägung (VAN HUSEN 1987).

Im Schneeberggebiet z.B. liegen die besonders großen Karbonatdolinen auf der Altfläche. Das Alter der Dolinen kann nur schwer ermittelt werden, aber die Entstehung des verkarsteten Plateaus begann im späten Eozän. An der Stirn der Endmoräne in Schneebergdörfel liegt eine große Hohlform in quartären Schottern. Es ist auszuschließen, dass es sich um ein Toteisloch handelt, da es außerhalb des glazialen Bereichs liegt. Die Entstehung kann auf Gipslösung im Untergrund zurückgeführt werden. Die Gipsdoline muss sich post-Würm gebildet haben, da sich das Tal nach dem Abschmelzen der Gletscher mit Schotter aufgefüllt hat und eine ältere Doline verfüllt hätte. Das Alter der Dolinen, von Beginn der Entstehung weg, liegt zwischen ca. 30 Ma und ca. 10.000 Jahre oder jünger.

6.4 Gefahren in Gipskarstlandschaften

Die natürliche Entwicklung der Oberflächenformen, durch schnelle Auslaugung von Gips im Untergrund, führt in urbanen Gebieten zu Herausforderungen bei baulichen Vorhaben und Problemen bei der Entstehung von Erdfällen und Zerstörung der Infrastruktur.

Durch das Gutachten von POSCH-TRÖZMÜLLER et al. (2015) für die Gemeinde Hinterbrühl wurde ersichtlich, dass sich großflächig Gips im Untergrund befindet. In den vergangenen Jahren kam es oftmals zu Erdfällen oder zu Schäden an Fassaden, wobei man versuchte auf die Gefahr im Untergrund aufmerksam zu machen. Um die Seegrotte wurde eine Bausperre verhängt und das Gebiet von Hinterbrühl bis Weissenbach als Gefahrenzone ausgeschrieben. Bei zukünftigen baulichen Vorhaben, muss im Vorhinein eine Bohrung mit geologischem Gutachten durchgeführt werden, um mächtige Gips Horizonte und Hohlräume ausschließen zu können.

AMPFERER (1930) beschreibt, dass beim Bau des Stollens von Opponitz nach Göstling auch Gips und Anhydrit angetroffen wurde. Die Betonröhren hielten dem schwefelsäurehaltigen Wasser nicht Stand und wurden zum Teil zerstört und mussten aufwändig repariert werden. Viele der Ableitungsrohre wurden durch Versinterungen verstopft und mussten ebenfalls erneuert werden.

Beim Stollenmeter 8800 kam es zum Schlammeinbruch, der vermutlich durch einen Gipsschlot verursacht wurde. An der Geländeoberfläche (60 m über dem Stollen) bildete sich eine Pinge aus. Bei 10.080 m im Mitterriegelstollen stürzte ein „Gipsloch“ ein, das die Stollenwasser „verschluckte“ (AMPFERER 1930: 45ff.).

Als etwas anderen Aspekt der Mensch-Umwelt Beziehung in Gipskarstlandschaften sollen hier die Pingen erwähnt werden. Durch das Eingreifen des Menschen in die Umwelt und durch das Ausbeuten von Gips als Rohstoff entsteht ein künstliches Karstrelief beim Versturz unterirdischer Stollen oder bei der Freilegung von großen Gesteinsflächen. Dieser Eingriff führt zur Zerstörung von Kulturflächen und zu einer vom Menschen direkt oder indirekt veränderten Landschaft (GÖTZINGER 1955b).

7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die niederösterreichischen Gipskarstvorkommen sind in den Ostalpen nur sehr kleinräumig ausgedehnt. Die Forschungsfrage, wo und in welchen stratigraphischen Einheiten Gips vorhanden ist, wird anhand der Hypothesen beantwortet. Die mit Abstand bedeutendsten Gipsvorkommen befinden sich im permischen Haselgebirge und in den Werfener Schichten (Skyth). Beide Schichtglieder liegen an der Basis des kalkalpinen Deckenstapels und treten hauptsächlich entlang der Deckengrenzen lokal begrenzt auf. Die Hypothese, dass die Gipsvorkommen vorwiegend an das Haselgebirge gebunden ist kann bestätigt werden. Weitere Gipsvorkommen gibt es in der Opponitz-Formation (Obertrias) und in niedriggradig metamorphen Gesteinen („Bunter Keuper“, Obertrias) des Unterostalpins im Semmeringgebiet, die beide nicht an tektonische Abscherhorizonte gebunden sind und somit die Hypothese, dass die Gipsvorkommen in Niederösterreich nur an Deckengrenzen vorkommen, falsifiziert werden muss. Die Größe der Gipsvorkommen lässt sich anhand der Oberflächenhohlformen nachvollziehen und fällt oft deutlich größer aus, als sie in den geologischen Karten oder Bergbaurevieren eingezeichnet sind.

Prinzipiell können sich in allen verkarstungsfähigen Gesteinen ähnliche Oberflächenformen ausbilden, weshalb man auch in den Gipskarstgebieten Dolinen, Karren und Ponore findet. Die Forschungsfrage 2 kann beantwortet und die Hypothesen können verifiziert werden. Diese Die prävalenteste Oberflächenform sind Dolinen, deren Entwicklung auf die Hohlraumbildung im Untergrund zurückzuführen ist. Die Gesteins-, Lockersediment- oder Bodenaufgabe bestimmt die Morphologie, die Größe des Hohlraums bestimmt auch die Größe der Doline. Die häufigsten Dolinenarten sind die Trichterdolinen (Suffosionsdolinen), Erdfälle und Einsturzdolinen. Gips findet man aufgrund seiner schnellen Lösungsfähigkeit kaum an der Oberfläche anstehend, weshalb die Karrenbildung weitestgehend auf die freigelegten Gesteinsflächen der Obertagsbergbaue beschränkt ist. Bedingt durch die rasche Lösung, entstehen schnell tiefe Karren und spitze Pfeiler. Bei kleinen Gipsaufschlüssen kann man Rillenkarren und spitze Lösungerscheinungen beobachten. An den Schichtgrenzen von Gipskarst zu

nichtverkarstungsfähigen Gesteinen fungieren Dolinen oft als Ponor, wo oberflächlicher Abfluss im Untergrund verschwindet.

Wie sich Gipskarst und Karbonatkarst unterscheiden (Forschungsfrage 3) wird im folgenden Abschnitt geklärt. Die Gips- und Karbonatkarstlandschaften der niederösterreichischen NKA lassen sich hinsichtlich der Verbreitung, der Oberflächenformen, deren Ausbildung im Landschaftsraum, der Morphologie und hinsichtlich des Alters unterscheiden, was die erste Hypothese verifiziert und noch erläutert wird.

In den NKA sind vor allem Kalkgesteine und Dolomite der Trias großflächig verbreitet und für die Ausbildung von Karstlandschaften am relevantesten. Evaporite kommen viel kleinräumiger vor, sind aber aufgrund der schnellen Lösungsfähigkeit ebenso für die Entstehung von Karstlandschaften in Niederösterreich von Bedeutung. Die alpinen Gipskarstlandschaften befinden sich im Tal oder an (teils steilen) Bergflanken. Unterdessen sind Karbonatkarstgebiete auf die ebenen Altflächen (Plateaus) der NKA beschränkt, sind aber in ihrer Ausdehnung wesentlich größer und vielfältiger.

Das Besondere an meisten Gipsdolinen ist die oft kreisrunde Trichterform, die sich auch im Steilhang ausbilden kann. Die Größe kann mehrere Zehner Meter betragen und wird vom unterirdischen Hohlraum bestimmt. Durch die rasche Lösungsfähigkeit unterscheiden sich die Größenverhältnisse der Oberflächenformen von jenen vom Karbonatkarst und die Abgrenzung der Dolinenform ist weniger definiert. Die Karrenbildung ist auf bergbauliche Bereiche beschränkt, die Dimension der Karren übertrifft aber jene im Karbonatkarst beträchtlich. Dass Karren in Gipskarstgebieten seltener zu finden sind, kann verifiziert werden.

Was bereits GÖTZINGER (1955b) und VUCKOVIC (1993) festgestellt haben, scheint auch im Jahr 2019 noch zu gelten: das Forschungsgebiet des alpinen Gipskarsts ist noch lange nicht erschöpft. Es gibt nicht viele Arbeiten über Gipskarst in Österreich, vor allem eine umfassende geomorphologische Kartierung steht in den meisten Bundesländern noch aus.

8. LITERATURVERZEICHNIS

AMPFERER O. (1930): Geologische Erfahrungen in der Umgebung und beim Bau des Ybbstal-Kraftwerkes –In: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt (80): 45-86. –Wien.

BAUER F. (1967): Gipslagerstätten im zentralalpinen Mesozoikum (Semmering, Stanzertal) – In: Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt (80): 70-90. –Wien.

BARDOLF G., FINK M.H., STUMMER G. und TRIMMEL H. (1978): Die Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten Österreichs im Maßstab 1:50.000. –In: Verband österreichischer Höhlenforscher (Hrsg.): Wissenschaftliche Beihefte zur Zeitschrift „die Höhle“. –Wien.

BÖGL H. (1986): Geologie in Stichworten. –Bonn.

BUCH L.v. (1802): Geognostische Beobachtungen auf Reisen durch Deutschland und Italien. –Berlin.

CORNELIUS H.P. (1951): Die Geologie des Schneeberggebietes (Erläuterungen zur geologischen Karte des Schneeberges 1:25.000). -In: Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Sonderbände (2): 1-111. –Wien.

CVIJIĆ J. (1893): Das Karstphänomen: Versuch einer morphologischen Monographie. – Wien.

EGGER H. (2011): Ostalpin. –In: RUPP C., LINNER M. und Mandl G. W. (Hrsg.): Geologische Karte von Oberösterreich 1:200.000 Erläuterungen, 61. – Wien.

FAUPL P. (2003): Historische Geologie. –Wien.

FINK M. H. (1967): Eine Gipshöhle beim Wirtshaus „Bergbauer“ (nordöstlich Annaberg) -In: Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich (Hrsg.): Höhlenkundliche Mitteilungen (3): 35-36. -Wien.

FINK M. H. (1973): Beobachtungen über Gipskarren – In: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft (115): 170-173. -Wien.

FINK M. H. (1999): Die Karstverbreitungs- und Karstgefährdungskarten Österreichs im Maßstab 1:50.000. –In: Verband österreichischer Höhlenforscher (Hrsg.): Blatt 73 Türrnitz. –Wien.

FORD D. und WILLIAMS P. (2007): Karst Hydrology and Geomorphology. – Chichester.

FRISCH W., KUHLEMANN J., DUNKL I., SZEKELY B., VENNEMANN T. und RETTENBACHER A. (2002): Dachstein-Altfläche, Augenstein-Formation und Höhlenentwicklung – die Geschichte der letzten 35 Millionen Jahre in den zentralen Nördlichen Kalkalpen. –In: Die Höhle Zeitschrift für Karst- und Höhlenkunde (53/1): 1-37. –Wien.

FROITZHEIM N., PLASIENKA D. und SCHUSTER R. (2008): Alpine tectonics of the Alps and Western Carpathians. –In: McCANN T. (Hrsg.): The Geology of Central Europe. Volume 2: Mesozoic and Cenozoic, 1141-1232. – London.

GÖTZINGER G. (1955a): Der voralpine Karst und seine Gesetzmäßigkeiten – In: R. v. Klebelsberg-Festschrift der Geologischen Gesellschaft in Wien (48): 33-48. –Wien.

GÖTZINGER G. (1955b): Beobachtungen im Gipskarst der n.-ö. Kalkvoralpen –In: Mitteilungen der Höhlenkommission Wien (2): 3, 33-40. –Wien.

GROTZINGER J., JORDAN T.H., PRESS F. und SIEVER R. (2008): Allgemeine Geologie. –Berlin Heidelberg.

GUNN J. (Hrsg) (2004): Encyclopedia of Caves and Karst Science. –New York und London.

HERRMANN, A. (1966): Vergipsung und Oberflächenformung im Gipskarst. – In: Internationaler Speläologischer Kongress (5): 99-103. –Wien.

HERRMANN E. (1987): Überarbeitung der Teilgruppe 1861 – Gösing-Hochberg (II). Die Schrattensteinhöhle (1861/15). –In: Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich (Hrsg.): Höhlenkundliche Mitteilungen 43(4): 93-94. –Wien.

HOCK R. (1954): Das "Meerauge" und seine benachbarte Mineralquelle bei Sulzbach im Triestingtal. –In: Monatsblatt des Vereines für Landeskunde von Niederösterreich und Wien, 160-164. -Wien.

HOLZER H. (1963): Bericht über lagerstättliche Arbeiten 1962 – In: Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 66-71. -Wien.

HOLZER H. (1965): Bericht über lagerstättliche Arbeiten 1964 – In: Verhandlungen der Geologischen Bundesanstalt, 57-59. -Wien.

HÜTTER L. A. (1979): Wasser und Wasseruntersuchungen. – Frankfurt am Main.

KÖRNER M. (1986): Zur Neuvermessung der Kohlerhöhle (1833/1). –In: Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich (Hrsg.): Höhlenkundliche Mitteilungen 42(3): 66. –Wien.

KRYSTIN L. und LEIN R. (1996): Exkursion A4: Triassische Becken- und Plattformsedimente der östlichen Kalkalpen. –In: Exkursionsführer 11. Sedimentologentreffen. -Wien.

LEITNER C. und SPÖTL C. (2017): The Eastern Alps: Multistage Development of Extremely Deformed Evaporites. – In: Soto J.I., Flinch, J.F. und Tari G. (Hrsg.): Permo-Triassic Salt Provinces of Europe, 467–482. –Amsterdam

MACHE W. und PAVUZA R. (1996): Die Froschhöhle bei Trübenbach. –In: Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich (Hrsg.): Höhlenkundliche Mitteilungen 52 (12): 172-174. –Wien.

MANDL G. (2000): The Alpine sector of the Tethyan shelf – Examples of Triassic to Jurassic sedimentation and deformation from the Northern Calcareous Alps. –In: Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft (92): 61-77. –Wien.

MANDL G. W., BRYDA G., KREUSS O., MOSER M., PAVLIK W. (2002): Erstellung moderner geologischer Karten als Grundlage für karsthydrogeologische Spezialuntersuchungen im Hochschwabgebiet. –In: Endbericht für den Projektabschnitt, GBA.-Wien.

- MAYER A. (1963): Die Trübenbachhöhle (1816/21) und die Froschhöhle (1816/22) im Trübenbachgraben. –In: Landesverein für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich (Hrsg.): Höhlenkundliche Mitteilungen 19 (3): 30. –Wien.
- MERK E. (1975): Die Untersuchung von Wasser. –Darmstadt.
- MOSEER E. (2018): Problemstellungen und Lösungsansätze bei der Tragfähigkeit von Böden aus der Sicht einer Gemeinde. –In: Berichte Geol. B.-A. (127): Hohlräume im Boden/Untergrund und ihre Auswirkungen auf die Oberfläche. –Langenlois.
- MURAWSKI H. und MEYER W. (1998): Geologisches Wörterbuch. –Stuttgart.
- NAGL H. (1970): Karstmorphologische und -hydrologische Beobachtungen in den Göstlinger Alpen – In: Die Höhle Zeitschrift für Karst- und Höhlenkunde (021): 9-32. –Wien.
- PAVUZA R. (2018) Naturhistorisches Museum Wien. Mündliche Mitteilung. September 2018.
- PAVUZA R. (2019) Naturhistorisches Museum Wien. Schriftliche Mitteilung. Jänner 2019.
- PFEFFER K.-H. (2010): Karst. Entstehung – Phänomene – Nutzung. –Stuttgart.
- PLAN L. und DECKER K. (2006): Quantitative karst morphology of the Hochschwab plateau, Eastern Alps, Austria. –In: Z. Geomorph. N.F. (147): 29-54. –Berlin und Stuttgart.
- PLAN L. (2016): Projektantrag NÖ-Karst an das Amt der NÖ Landesregierung, Baudirektion-Geologischer Dienst. –Wien.
- PLAN L. (2018) Naturhistorisches Museum Wien. Mündliche Mitteilung. Dezember 2018.
- POSCH-TRÖZMÜLLER G., ATZENHOFER B. und HOBIGER G. (2015): Geologische Grundlagen zu Gipsvorkommen im Gebiet der Marktgemeinde Hinterbrühl. –Wien.

POSCH-TRÖZMÜLLER G., ATZENHOFER B. und HOBIGER G. (2017): Gipsvorkommen in den Kalkalpen: Erdfallprävention mittels Geologie und Hydrochemie. In: WIMMER-FREY I., RÖMER A. und JANDA C. (Hrsg.): Arbeitstagung 2017: 42-45.-Wien.

PRIESNITZ M.A. (1968): Über die Vergleichbarkeit von Lösungsformen auf Chlorid-, Sulfat- und Karbonatgestein – Überlegungen zu Fragen der Nomenklatur und Methodik der Karstmorphologie. –In: Geologische Rundschau 58 (2): 427-438.

SCHAUBERGER O. (1986): Bau und Bildung der Salzlagerstätten des ostalpinen Salinars. –In: Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt (7): 217-254.-Wien.

SCHUSTER R., DAURER A., KRENMAYR H., LINNER M., MANDL G., PESTAL G. und REITNER J. (2013): Rocky Austria. Geologie von Österreich – kurz und bunt. – Wien.

SEEGROTTE (Hrsg.) (o.J.): Seegrotte Einst und Jetzt; online 12.02.2019, <http://www.seegrotte.at/seegrotte-einst-und-jetzt.html>.

SEIDL S. (2012): Quartärgeologie des Raumes Schneebergdörfel Puchberg am Schneeberg. –In: Unveröffentlichte Masterarbeit, Universität Wien, Wien.

SPENGLER E. (1931): Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Republik Österreich, Blatt Schneeberg-St.Ägyd. –Wien.

SPÖTL C. (1988): Sedimentologisch-fazielle Analyse tektonisierter Evaporitserien – Eine Fallstudie am Beispiel des Alpinen Haselgebirges (Permoskyth, Nördliche Kalkalpen). – In: Geologisch Paläontologische Mitteilungen Innsbruck (15): 59-69. –Innsbruck.

STRANZL C.S. (2007): Vergleichende Untersuchungen der chemischen Zusammensetzung von Rauchgasentschwefelungsgips, Chemiegips und Naturgips/Anhydrit von Spišská Nová Ves. –In: Unveröffentlichte Diplomarbeit, Montanuniversität Leoben, Leoben.

THENIUS E. (1974): Geologie der Österreichischen Bundesländer in kurzgefassten Einzeldarstellungen: Niederösterreich. –In: Verhandlungen der geologischen Bundesanstalt, Bundesländerserie, Heft Niederösterreich. –Wien.

TRIMMEL H. (1952): Die Kohlerhöhle bei Erlaufboden (Niederösterreich). In: Die Höhle Zeitschrift für Karst- und Höhlenkunde (003): 46-54. –Wien.

VUCKOVIC U. (1993): Gipsvorkommen und Gipskarst in Österreich. –In: Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Wien, Wien.

WESSELY G. (2006): Geologie der österreichischen Bundesländer. Niederösterreich. –Wien.

WESSELY G. und HEINRICH M. (2015): Geologische Spaziergänge. Gesteinslehrpfad Panoramastraße Puchenstuben Niederösterreich. –Wien.

ZEPP H. (2017): Geomorphologie Eine Einführung. –Paderborn.

Geologische Karten:

BAUER F.K. und SCHNABEL W. (1998): 72 Mariazell Maßstab: 1:50.000

RUTTNER A. und SCHNABEL W. (1988): 71 Ybbsitz Maßstab: 1:50.000

SUMMESBERGER H. (1991): 75 Puchberg am Schneeberg Maßstab: 1:50.000

VAN HUSEN D. (1987): Die Ostalpen und ihr Vorland in der letzten Eiszeit (Würm)

WEBER L. (1997): Metallogenetische Karte von Österreich 1:500.000: unter Einbeziehung der Industriemineralien und Energierohstoffe.

Höhlenpläne:

Archiv der Höhlenkataster des Landesvereins für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich.

Vermessung

HARTMANN H., HARTMANN W. und HOFFMANN H. (1980): Gipshöhlenruine 1836/62.

HERMANN E. und HÄUSLER M. (1987): Schrattensteinhöhle 1861/15.

HÖLLERER O. (1958): Erdfall 1854/38.

KÖRNER M., CUDY R., GASSELHUBER G. und VAVRA A. (1985): Kohlerhöhle 1833/1.

MAYER A., ALLINGER W. und KURZ H. (1963): Trübenbachhöhle 1816/21 und Froschhöhle 1816/22.

MACHE W., PAUSCH A., PLAN L. und WINKLER R.L. (1995/1996): Froschhöhle 1816/222.

Anhang

Signatur	Form	Kürzel
Punkt	<ul style="list-style-type: none"> • Dolinen mit einem Durchmesser < 25 m • Gipsdolinen mit einem Durchmesser < 25 m • Dolinen mit Tümpel mit einem Durchmesser < 25 m • Ponore • Höhlen • Karren 	<ul style="list-style-type: none"> • d Doline • dg Gipsdoline • dt Doline mit Tümpel • p Ponor • dp Doline mit Ponor • h Höhlen • k Karren allgemein • ks subkutane Karren • kf freiliegende Karren • nix Massenbewegungen, falsch errechnet aus dem Laserscan, bereits kartierte Elemente mit falscher Lage etc. • palaeokarst z.b. Sinter die im Wald herumliegen oder dergleichen (jeweils mit Anmerkung)
Linie	<ul style="list-style-type: none"> • Trockentäler • Karstgassen 	<ul style="list-style-type: none"> • t (auf Karstplateaus bzw. Hochflächen) • k
Polygon	<ul style="list-style-type: none"> • Dolinen bzw. Karsthohlformen mit einem Durchmesser >25 m • Gipsdolinen mit einem Durchmesser >25 m • Dolinen mit Tümpel mit einem Durchmesser >25 m • ev. mächtige Lehmbedeckungen 	<ul style="list-style-type: none"> • d • dg • dt Dolinen mit Tümpel mit einem Durchmesser >25 m eventuell in Doline gelegener Ponor wird lagerichtig als Punktsignatur eingefügt