

Die Karstvorkommen der Leithakalk-Areale entlang der Mittelsteirischen Schwelle (Steirisches Becken)

ZUSAMMENFASSUNG

Die Leithakalke entlang der Mittelsteirischen Schwelle (Steirisches Becken) sind in bisherigen karstmorphologischen Untersuchungen nur wenig beachtet worden. Die Vorkommen der miozänen Karbonate erstrecken sich als nicht zusammenhängende, isolierte Areale in einem schmalen Streifen von Wildon im Norden bis knapp an die Landesgrenze bei Spielfeld im Süden. Diese Studie gibt eine erste karstmorphologische Charakterisierung dieses Gebietes. Im Zuge einer GIS-basierten Detektion von Hohlformen wurden auf Basis eines hochauflösenden Geländemodells erstmals flächendeckend Oberflächenkarstformen analysiert. Die Ergebnisse zeigen dabei eine durchaus deutliche karstmorphologische Prägung der Leithakalk-Areale. Die dominanten Elemente sind einerseits eine ausgeprägte Dolinenlandschaft, die sich auch in den südlichsten, bisher völlig unbeachteten Arealen wiederfindet, und andererseits ein gut entwickelter Kontaktkarst in den Arealen östlich der Mur. Nur von untergeordneter Bedeutung sind unterirdische Karstformen. Nach derzeitigem Stand der Forschung sind nur wenige Höhlen katastermäßig erfasst. Von diesen Objekten sind darüber hinaus einige menschlichen Ursprungs, beziehungsweise zumindest stark durch menschliche Aktivitäten modifiziert. Als siedlungsnah lokalisiert, weisen die Leithakalk-Areale allgemein eine sehr starke menschliche Überprägung auf, wobei der historisch lange zurückreichende Abbau von Kalkstein als dominantes Element zu werten ist.

EINLEITUNG

Die Karstvorkommen im Nahbereich der Landeshauptstadt Graz wurden von Bock (1913) in einer Publikation erstmals zusammengefasst und als *Mittelsteirischer Karst* begrifflich definiert. Bock nimmt in

ABSTRACT

Karst features in the Leitha Limestone along the Central Styrian high (Styrian Basin)

Karstified Neogene carbonates (Leitha Limestone) in Styria have received little attention in karst morphological studies. These Miocene carbonates are present as discontinuous, isolated areas in a narrow strip from Wildon in the north to almost down to the Slovenian border at Spielfeld. This study provides a first karst morphological characterisation of this area. A GIS-based delineation algorithm was applied to a high-resolution digital terrain model to analyse surface karst features. The results show that karst processes are geomorphically significant in the Leithakalk areas. The dominant karst features are pronounced doline landscapes and a well-developed contact karst in the area east of the River Mur. Subsurface karst features are of minor importance and only a few caves are known. Some of these objects are of anthropogenic origin or have been significantly modified. Due to their occurrence near settlements, the areas composed of Leitha Limestone are strongly affected by anthropogenic activities (e.g. quarries).

Christian Bauer

Institut für Geographie und Raumforschung
Karl-Franzens-Universität Graz
Heinrichstraße 36, 8010 Graz
christian.bauer@uni-graz.at

Anna-Maria Weissinger

Institut für Geographie und Raumforschung
Karl-Franzens-Universität Graz
Heinrichstraße 36, 8010 Graz
anna.weissinger@edu.uni-graz.at

Eingelangt: 15.7.2019
Angenommen: 4.2.2020

fen von Karbonaten im Raum Wildon westlich und östlich der Mur. Damit kennzeichnet sich der Mittelsteirische Karst durch ein abwechslungsreiches Landschaftsbild mit hohen Vertikaldistanzen: Westlich, nördlich und östlich von Graz dominiert ein ausgeprägter Mittelgebirgscharakter mit Höhen von knapp über 1700 Meter (Hochlantsch, 1720 m). Aufgebaut werden diese Gebiete überwiegend von paläozoischen Gesteinen, wobei das Relief tendenziell in silikatischen Gesteinen sanfter, in karbonatischen Gesteinen steiler ausgebildet ist. Hierzu zählen die markanten Berggipfel des Röthelstein, Schöckl und Hochlantsch. Im Süden reicht das Gebiet weit in das Steirische Becken. Die überwiegend aus neogenen Kiesen, Sanden und Tonen bestehende Füllung dieses Beckens ist landschaftlich durch sanfte Formen (breite Talböden und Riedel) und geringe absolute Höhen charakterisiert. Im Kontrast dazu treten neben den neogenen Vulkanitvorkommen (z.B. Riegersburg) die größeren Karbonat-Areale des Sausals (paläozoisch) und die Leithakalke als morphologisch härter (d.h. höhere Reliefenergien) in Erscheinung. Markant ersichtlich ist dies im Bereich des Karbonatplateaus des Wildoner Buchkogels, der mit 550 m Höhe das angrenzende Murtal deutlich überragt (z.B. Ortschaft Wildon ca. 300 m). Karstmorphologische Arbeiten des Mittelsteirischen Karsts beschäftigten sich bisher überwiegend mit den paläozoischen Vorkommen (ausgenommen die des Sausals). Auch in der genannten Publikation von Bock selbst finden sich keine weiteren Verweise auf die Karstvorkommen im Steirischen Becken südlich von Graz. Die Erforschungsgeschichte der Karstvorkommen der neogenen Karbonate ist daher als überschaubar zu bezeichnen. Eine erste explizite Erwähnung betreffs der Oberflächenkarstformen in den Leithakalk-Arealen findet sich bei Fabian (1905). Auch Sölch (1928) verweist auf Dolinen auf den Leithakalken östlich von Wildon. In seinen Forschungen zur geomorphologischen Entwicklungsgeschichte des Steirischen Beckens weist Winkler-Hermaden (1957: 353) den Wildoner Buchkogel als *verkarstete Kalkoberfläche* aus. Im Zuge hydrologischer Forschungen zu den Grundwasservorkommen quartärer Talfüllungen wurden Karstwassereintritte im Leithakalk-Areal bei Sukdull östlich der Mur thematisiert (Zötl, 1968). Im Zuge dieser Untersuchungen entstand auch die einzige quan-

tifizierende Erfassung von Oberflächen-Karstvorkommen (begrenzt auf das Gebiet Sukdull) durch Fabiani (1973). Die jüngste Arbeit hinsichtlich des Leithakalkvorkommens am Wildoner Buchkogel betraf eine automatisierte GIS-basierte Ableitung von Hohlformen auf Basis hochauflösender Geländemodelle (Bauer, 2015). Allgemein ist anzumerken, dass aufgrund der morphologischen und hydrologischen Dominanz des Karstes paläozoischer Serien (z.B. Tannebenmassiv, Weizklamm) im Mittelsteirischen Karst den neogenen Karbonaten und deren Verkarstung auch in jüngster Zeit wenig Beachtung zuteil wurde (cf. Benischke et al., 2016).

Dass der Leithakalk aber aus karstmorphologischer Hinsicht ein sehr interessantes Forschungsfeld ist, belegen unter anderem die langjährigen Studien in der namensgebenden Typuslokalität Leithagebirge. Dieser Höhenzug erstreckt sich SE-NW von Eisenstadt (Burgenland) bis Bruck an der Leitha (Niederösterreich) auf einer Länge von ca. 35 km. Während Oberflächenkarstformen in diesem Gebiet eher die Ausnahme bilden, sind vor allem Höhlen erwähnenswert. Viele davon wurden im Zuge des Abbaues in den zahlreich vorhandenen Steinbrüchen angefahren. Allein im Nahbereich des Steinbruchgeländes rund um Mannersdorf (am Leithagebirge) wurden über 20 Höhlen kartiert (Plan & Spötl, 2016). Von hohem karstmorphologischem Interesse ist aber weniger die Anzahl an Höhlen in diesem Gebiet, sondern deren Entstehung. So gibt das Rauminventar der Höhlen Hinweise auf eine thermal beeinflusste (d.h. hypogene) Speläogenese. Die diesbezüglich bekannteste und auch in ihren räumlichen Dimensionen (Länge 260 m; Tiefe 40 m) sehr beachtliche Höhle ist der *Nasse Schacht* (Plan et al., 2006). Die Forschungen im Leithagebirge leisten damit auch einen wichtigen Beitrag zur Kenntnis der thermal beeinflussten Höhlenentstehung in Österreich.

Die vorliegende Arbeit versucht die Forschungslücke im steirischen Leithakalk-Karst zu schließen und eine erste karstmorphologische Charakterisierung der Leithakalk-Areale zu geben. Dazu wird der Untersuchungsraum nicht auf den von Bock (1913) als dem Mittelsteirischen Karst zugehörigen Raum um Wildon begrenzt, sondern auf die gesamten Vorkommen der Leithakalke entlang der Mittelsteirischen Schwelle erweitert.

UNTERSUCHUNGSGEBIET

Als Teilbereich des pannonischen Beckensystems wird das Steirische Becken durch die südburgenländische Schwelle von eben diesem getrennt. Das Steirische

Becken selbst wird ebenfalls durch eine markante Schwelle, die sogenannte Mittelsteirische Schwelle, in ein seichtes Weststeirisches (bekannt durch die zahl-

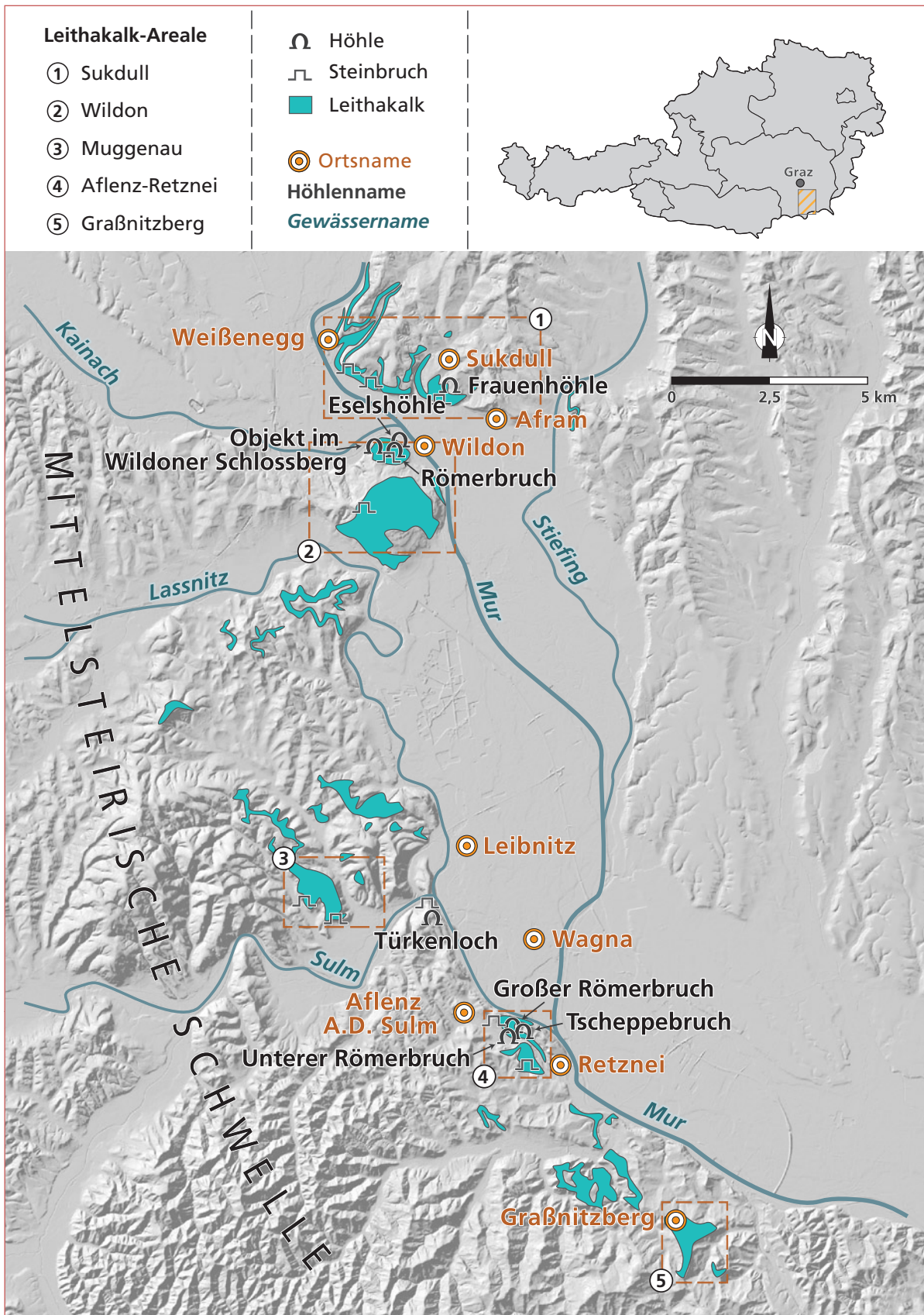


Abb. 1: Leithakalk-Karstgebiete entlang der Mittelsteirischen Schwelle
 Fig. 1: Karst areas in Leitha Limestone along the Central Styrian high.

Tabelle 1: Gliederung der Leithakalk-Areale im Steirischen Becken.
 Table 1: Classification of the Leithakalk areas in the Styrian Basin.

Geologische Gliederung nach Friebe (1990)	Karstmorphologische Gliederung	Fläche ¹	Höhlenkataster
Leithakalk-Areal Wildon	Wildon Sukdull	1,3 km ² 1,5 km ²	Unteres Kainachgebiet (2792) Oststeirisches Hügelland zwischen Mur und Raab (2811)
Korallenriffe an der Ostflanke des Sausals	Muggenau	1,1 km ²	Sausal (2791)
Leithakalk-Areal südlich von Leibnitz	Aflenz-Retznei	1,2 km ²	Sausal (2791)
Leithakalk- und Leithakonglomeratareal Gamlitzer Bucht	Keine Karstformen lokalisiert	-	Sausal (2791)
Areal von Graßnitzberg	Graßnitzberg	1,6 km ²	Sausal (2791)

¹Als Leithakalk ausgewiesene Lithologien

¹Lithologies designated as Leitha Limestone in the geological map.

reichen historisch genutzten Kohlevorkommen) und ein bis zu 8 km tiefes, größeres Oststeirisches Becken getrennt. Die Schwelle verläuft vom Norden im Bereich des Plabutsch über das Sausal nach Süden. Bis auf sehr kleinräumig aufgeschlossene Karbonate im Osten des Steirischen Beckens (u.a. St. Anna am Aigen, Bezirk Südoststeiermark) sind die oberflächlichen Vorkommen der Leithakalke in der Steiermark überwiegend auf den Bereich der Mittelsteirischen Schwelle beschränkt. Auch innerhalb dieses Gebietes dominieren die Karbonatvorkommen im Abschnitt westlich der Mur. Östlich davon sind Leithakalke in einem sehr schmalen Streifen im Bereich Sukdull bei Wildon vertreten (Abb. 1).

Ursprünglich wurden unter dem Begriff Leithakalk die miozänen karbonatischen Sedimente im Randbereich des Wiener Beckens bezeichnet (Keferstejn, 1828; zitiert nach Friebe, 1990). Der Begriff wurde in Folgearbeiten auf die zeitlich und faziell analogen Karbonatablagerungen im Steirischen Becken übertragen. Die Leithakalke entstammen marinen Flachwassersedimenten (Corallinaceen-Kalke, Bryozoen-Kalke). Die

Bildung der Leithakalke entlang der Mittelsteirischen Schwelle fand vor ca. 16 Millionen Jahren im Zuge eines ansteigenden Meeresspiegels statt. Im Bereich der Mittelsteirischen Schwelle bilden diese Kalke keine zusammenhängenden Körper, sondern sind voneinander isolierte Bereiche in unterschiedlicher fazieller und stratigraphischer Position (Friebe, 1990).

Die untersuchten Areale umfassen die Höhlenkatastergebiete (a) Sausal (2791), (b) Unteres Kainachgebiet (2792), sowie (c) Oststeirisches Hügelland zwischen Mur und Raab (2811; Abb. 1 und Tab. 1). Das Gebiet zeichnet sich durch eine weitgehend geschlossene Vegetationsdecke aus, wobei Mischwaldbestände dominieren (Abb. 2A). Es entspricht damit dem Typus des Grünkarstes. Der gesamte Verbreitungsraum der Leithakalke im Nahbereich des Murtales ist darüber hinaus ein bedeutender und historisch weit zurückreichender Siedlungsraum des Menschen. Die daraus resultierenden menschlichen Beeinflussungen des Karstes im Untersuchungsgebiet werden in einem eigenen Abschnitt thematisiert.

OBERFLÄCHENKARSTVORKOMMEN

Abgesehen vom Kontaktkarstbereich im Bereich Sukdull (siehe unten) sind Dolinen die dominanten landschaftsbildenden Karstformen im Bereich der neogenen Karbonate. Sie bilden neben den Höhlen damit auch die einzig quantifizierbare Karstform. Für eine solche Quantifizierung wurden Karsthohlformen (Dolinen und Ponordolinen) morphometrisch abgeleitet und analysiert (Weissinger, 2019). Die Definition bzw. morphologische Abgrenzung basiert dabei auf der Form der äußersten geschlossenen Isohypse einer Hohlform. Diese Ableitung ist abhängig von der zur Verfügung stehenden Geländeinformation. Dienten bis in die frühen 2000er Jahre noch häufig topographische Karten oder stereoskopische/photogramm-

metrische Auswertungen von Luftbildern als Datengrundlage, so liefern hochauflösende Geländemodelle auf Basis von Laserscans neue Datengrundlagen für die Analyse. Insbesondere in Grünkarstgebieten bieten luftgestützte Laserscan-Systeme (airborne laser scanning, ALS) durch deren Möglichkeiten der Durchdringung einer geschlossenen Vegetationsbedeckung für morphometrische Analysen einen großen Vorteil. Das Grundprinzip des Laserscans besteht in der Messung der Laufzeit eines von einem Scanner ausgesandten Laserimpulses und dessen Reflexion auf einem Objekt (z.B. Baum, Boden). Da die Lichtgeschwindigkeit des Laserimpulses eine Konstante ist, lässt sich aus der gemessenen Laufzeit die Entfernung berechnen. Wird

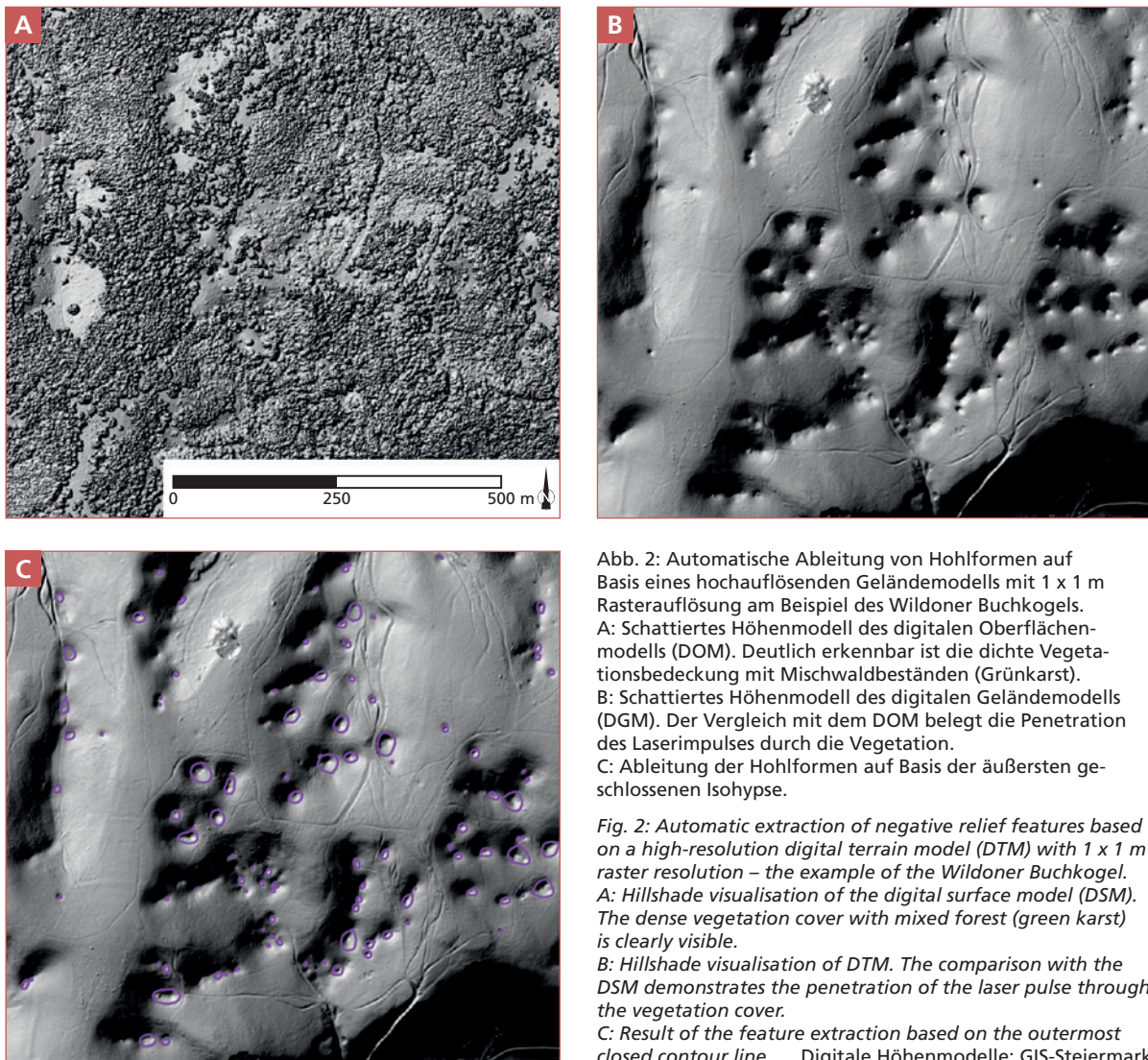


Abb. 2: Automatische Ableitung von Hohlformen auf Basis eines hochauflösenden Geländemodells mit 1 x 1 m Rasterauflösung am Beispiel des Wildoner Buchkogels. A: Schattiertes Höhenmodell des digitalen Oberflächenmodells (DOM). Deutlich erkennbar ist die dichte Vegetationsbedeckung mit Mischwaldbeständen (Grünkarst). B: Schattiertes Höhenmodell des digitalen Geländemodells (DGM). Der Vergleich mit dem DOM belegt die Penetration des Laserimpulses durch die Vegetation. C: Ableitung der Hohlformen auf Basis der äußersten geschlossenen Isohypse.

Fig. 2: Automatic extraction of negative relief features based on a high-resolution digital terrain model (DTM) with 1 x 1 m raster resolution – the example of the Wildoner Buchkogel. A: Hillshade visualisation of the digital surface model (DSM). The dense vegetation cover with mixed forest (green karst) is clearly visible. B: Hillshade visualisation of DTM. The comparison with the DSM demonstrates the penetration of the laser pulse through the vegetation cover. C: Result of the feature extraction based on the outermost closed contour line. Digitale Höhenmodelle: GIS-Steiermark

der Scanner auf einer Flugplattform montiert, entspricht die gemessene Entfernung der Seehöhe des reflektierten Objektes. ALS-Systeme erfassen dabei eine Vielzahl an reflektierten Impulsen, mindestens aber zwei: die erste und die letzte Reflexion. In einem bewaldeten Bereich entspricht die erste Reflexion der Höhe der Vegetationsoberfläche (Baumkrone) und die letzte Reflexion wird als Höhe der Erdoberfläche (Erdboden) angenommen (hier kann es in sehr dichten Waldbeständen zu Ungenauigkeiten kommen). Die gewonnenen Punktdaten werden für einfache Anwendungen in Rasterdatensätze mit definierter Zellengröße (z.B. 1 x 1 m) gespeichert. Aus den ersten Reflexionen wird so ein digitales Oberflächenmodell (DOM) erstellt und aus den letzten Reflexionen, unter Anwendung spezifischer Filteralgorithmen, ein digitales Geländemodell (DGM) des Bodens abgeleitet. Abbildung

2A und 2B zeigt die Effektivität der Vegetationsdurchdringung des Laserscans im Bereich des von einem Hochwald besetzten Wildoner Buchkogels.

Die für die Analyse verwendeten ALS-Daten haben eine Rasterauflösung von 1 x 1 m. Aus diesem Datensatz wurden Isohypsen mit einem Intervall von 0,5 m gerechnet und daraus die Dolinen extrahiert. Da gerade sehr kleine Formen nicht immer eindeutig Karstprozessen zuordenbar sind (so können z.B. auch herausgebrochene Wurzelstöcke im Grünkarst gleichmäßige Hohlformen bilden), wurde eine Mindestgröße von 5 m² festgelegt. Aufgrund der starken Überprägung des Gebietes durch den Menschen wurde abschließend eine manuelle Überprüfung auf Basis selektiver Geländeerhebungen in den fünf Karstgebieten sowie für alle abgeleiteten Formen in einem Geographischen Informationssystem (GIS) durchgeführt.

Gegebenenfalls wurden Korrekturen vorgenommen und einzelne Formen von der weiteren Analyse exkludiert. Vor allem Kriegsrelikte erwiesen sich dabei als problematisch. Der Großraum Graz war im Zuge des Zweiten Weltkrieges (insbesondere in den Jahren 1944 und 1945) vermehrt das Ziel von alliierten Luftangriffen (Brunner, 2015). Relikte verstreuter Bombenabwürfe bzw. Fehlabbwürfe finden sich als Explosionskrater dementsprechend auch in den stadtnahen Karstgebieten. Die automatisierte Unterscheidung von Explosionskratern und Dolinen erweist sich mitunter als recht schwierig. Im Falle einer ausgeprägten Lockersedimentauflage lässt sich eine markante Wallstruktur am Rande der Form erkennen (dies sowohl am digitalen Geländemodell als auch im Gelände). Gelangte die Bombe aber direkt auf Festgestein zur Detonation, ist diese Wallstruktur meist nicht deutlich ausgebildet. Erst ein morphometrischer Vergleich mit Bombenkratern in neogenen Lockersedimenten ermöglichte eine Differenzierung über die Fläche bzw. die Geometrie der Formen. So weisen Bombenkrater eine nahezu perfekte kreisrunde Form sowie sehr gleich große Flächen auf. Die extrahierten Karsthohlformen wurden hinsichtlich ihrer Fläche und ihrer Tiefe analysiert (Abb. 2C).

Das Ergebnis erbrachte 211 extrahierte Dolinen in den fünf untersuchten Gebieten (Abb. 3A). 83 % aller detektierten Dolinen (184) entfallen dabei auf die Areale Wildon (130 Dolinen) und Sukdull (54 Dolinen). Dies unterstreicht die außergewöhnlich hohe Anzahl an Karsthohlformen in diesen beiden kleinen Arealen. Überraschenderweise listet die Kartierung im Maßstab 1:1.000 von Fabiani (1973) für den Raum Sukdull sogar 90 Dolinen auf, von denen aber 2/3 auf Kleinstformen entfallen. Im südlichsten Gebiet Graßnitzberg konnten

mit 26 Dolinen (12 %) aber auch erstaunlich viele Hohlformen in einem bis dato nicht als Karst assoziierten Gebiet detektiert werden. Das Relief dieses Gebietes wurde durch intensive menschliche Beeinflussungen stark verändert (siehe unten). Weniger stark karstmorphologisch geprägt sind die Gebiete Muggenau (7 Dolinen) und Aflenz-Retznei (4 Dolinen). Letzteres ist aber aufgrund des großflächigen Abbaus von Kalkstein sehr stark verändert. Daher sind die vier extrahierten Hohlformen im Bereich Aflenz-Retznei allein auf Grundlage des ALS-Datensatzes nicht eindeutig Karstprozessen zuordenbar. Eine Verifikation im Gelände ist jedoch aufgrund der Erweiterung des Steinbruches und damit einhergehender Zerstörung der Formen nicht mehr möglich (siehe unten).

Im Bezug zur Fläche ergeben sich somit für die einzelnen Areale Dolinendichten (= Anzahl von Dolinen pro Quadratkilometer) von: Wildon: 100, Sukdull: 36, Graßnitzberg: 16, Muggenau: 7, Aflenz-Retznei: 3.

Morphologisch ist der überwiegende Anteil als kleine, tendenziell flache Hohlformen zu klassifizieren. Dementsprechend dominieren Dolinen mit einer Fläche < 200 m² und einer Tiefe < 3 m (Abb. 3B). Die größeren Hohlformen sind auf die Areale Wildon und Sukdull beschränkt. Eine Ausnahme bildet die größte extrahierte Doline in Muggenau mit ca. 1200 m² Fläche. Im Gegensatz zu der sonst klaren Korrelation von Fläche zu Tiefe ist diese Form dabei sehr flach ausgebildet. Die angesprochene Korrelation von Tiefe zur Fläche gilt als allgemeines morphometrisches Indiz, um Hohlformen als Lösungsdoline zu klassifizieren (Abb. 3C). Die zugrundeliegende Theorie dabei ist, dass eine Erweiterung der Tiefe mit einer Vergrößerung der Fläche einhergeht (Details siehe Bauer, 2015).

DER KONTAKTKARST VON SUKDULL

Im östlich der Mur gelegenen Areal Sukdull sind die Leithakalke nur als sehr schmaler Streifen zwischen Schloss Weißeneck im Norden und Aframberg im Süden aufgeschlossen. Karstmorphologisch ist das Gebiet als ein sehr gut entwickelter Kontaktkarstbereich zu klassifizieren. Dieser Typus der Verkarstung zeichnet sich durch eine spezifische räumliche Anordnung von Karstformen im oder entlang des Kontaktes von verkarstungsfähigen und nichtverkarstungsfähigen Gesteinen aus. Allochthone karbonatuntersättigte Wässer aus den nicht verkarstungsfähigen Bereichen bedingen zusätzlich eine erhöhte Löslichkeit und somit die Entstehung ausgeprägter Karstformen (Ford & Williams, 2007; Lauritzen, 2001). Im Bereich Sukdull

entstammen diese allochthonen Wässer angrenzenden neogenen Sedimenten. Die aus den nicht verkarstungsfähigen Gesteinen kommenden Oberflächengrinne sind in der Geländeschummerung der ALS-Daten als markante lineare Erosionsformen eindeutig identifizierbar (Abb. 4/A&C). Wie bereits erwähnt zeichnen sich die relativ schmalen Leithakalkzüge im Bereich Sukdull (beidseitig des Wurzingbaches) durch eine hohe Anzahl an Dolinen aus. Die räumliche Verteilung der Dolinen ist stark an die vorhandenen Vererbnungsflächen gebunden und zeigt gewisse Konzentrationen. Teilweise befinden sich Dolinen in Gebieten, die in der geologischen Karte als Tonmergel, Ton und Sande ausgewiesen sind. Dieser auf den ersten

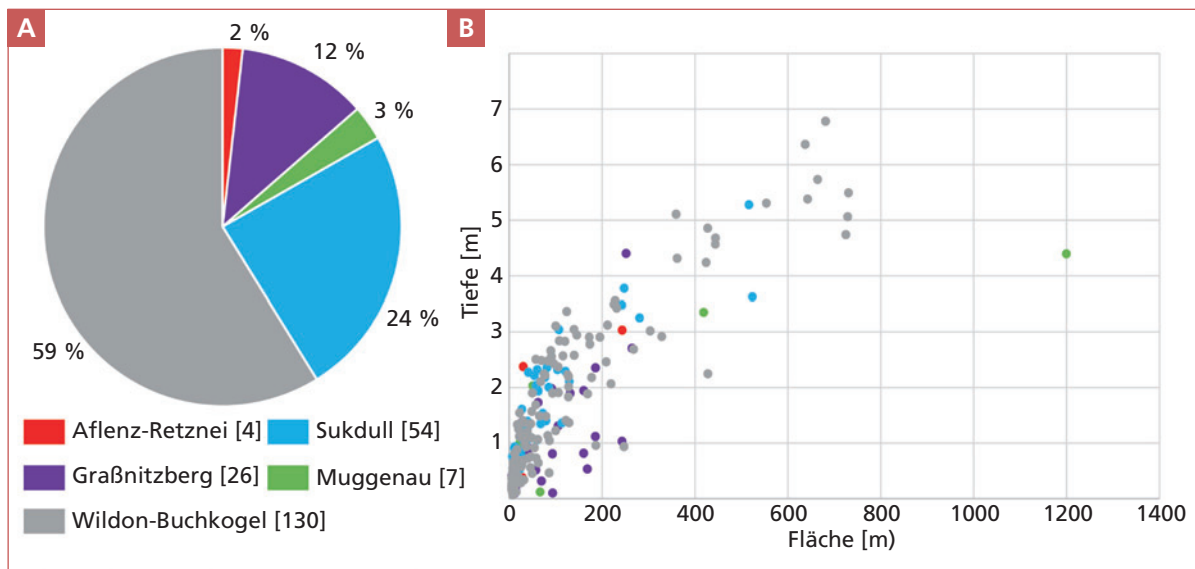


Abb. 3: Analyse der Dolinen auf Basis des digitalen 1 x 1 m Geländemodells. Die Zahl in eckigen Klammern gibt die extrahierten Dolinen pro Teilgebiet wieder. A: Prozentuale Aufteilung aller detektierten Dolinen in den jeweiligen Untersuchungsgebieten; B: Beziehung von Dolinentiefe und Fläche. C: Schüsselförmige Lösungsdoline im Bereich Wildoner Buchkogel.

Fig. 3: Analysis of dolines based on the 1 x 1 m ALS. The numbers in square brackets show the extracted dolines per area. A: Percentage distribution of all detected dolines in the respective study areas; B: Correlation of doline depth and area. C: Bowl-shaped solution doline in the area of Wildoner Buchkogel.

Foto: Christian Bauer, 2008.

Blick etwas überraschende Befund hat im Wesentlichen zwei Erklärungen. Einerseits werden die teilweise sehr geringmächtigen neogenen Sedimente in einigen Bereichen von den Leithakalken unterlagert. In diesem Fall pausen sich die Lösungsformen der Doline an der Oberfläche durch. Andererseits kann die Verteilung auch eine gewisse Lageungenauigkeit der geologischen Karte im Vergleich mit dem hochauflösenden Geländemodell zeigen. Dieser Umstand darf nicht a priori als Fehler im engeren Sinne gewertet werden, sondern spiegelt den unterschiedlichen Kartierungsstand sowie Kartierungsmaßstab bzw. Zielmaßstab der geologischen Karten wider.

Den Kontaktbereich von nichtverkarstungsfähigen Gesteinen (hier dominant Lehme) und Leithakalk kennzeichnen fünf Ponordolinen mit teilweise perennie-

renden Wassereintrittsstellen (Abb. 4A und 4B). Sölch (1928: 35) bezeichnet in seiner Arbeit über die Karstformen der Steiermark neben der Lurgrotte auch die Kontaktkarstbereiche von Sukdull als Blindtäler. Interessant ist in diesem Kontext ein Vermerk bei Kollmann (1964: 539), der die aus dem Slawischen kommende topographische Bezeichnung Sukdull als „Trockental“ deutet.

Durch den Kontakt mit den neogenen Sedimenten ergeben sich für die geringe Ausdehnung der Karbonatbereiche (nur selten erreichen die Karbonate eine Ausdehnung von mehr als 500 m Breite) erweiterte Einzugsgebiete. Auf Basis des digitalen Geländemodells lassen sich in den sehr gering permeablen Lithologien des Kontaktkarstbereiches von Sukdull die Größen der oberflächlichen Einzugsgebiete berechnen

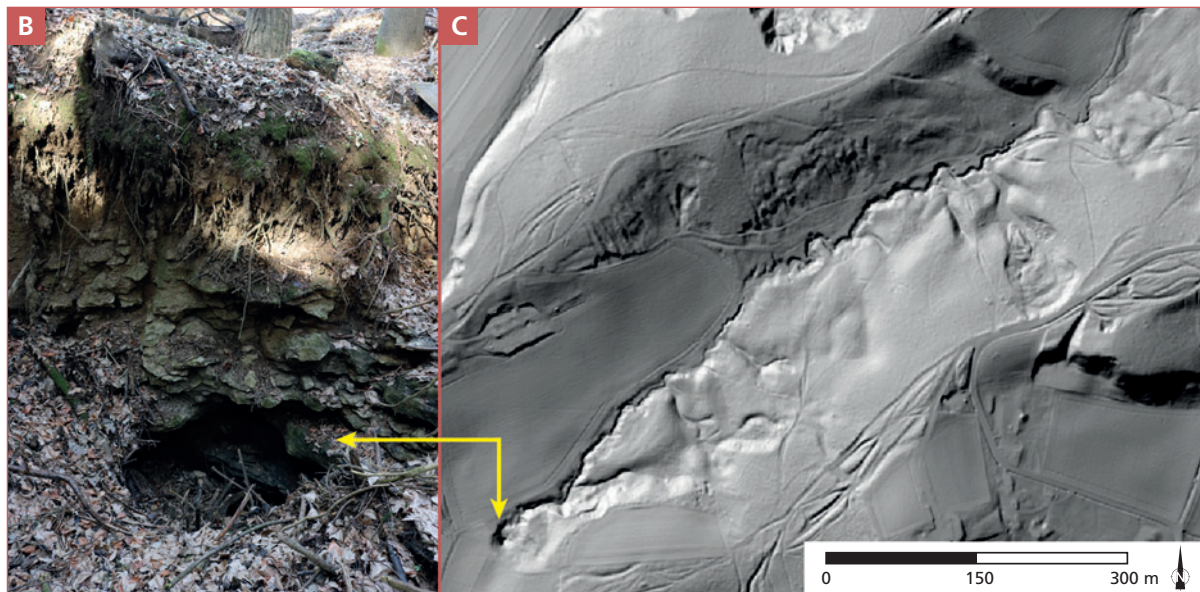
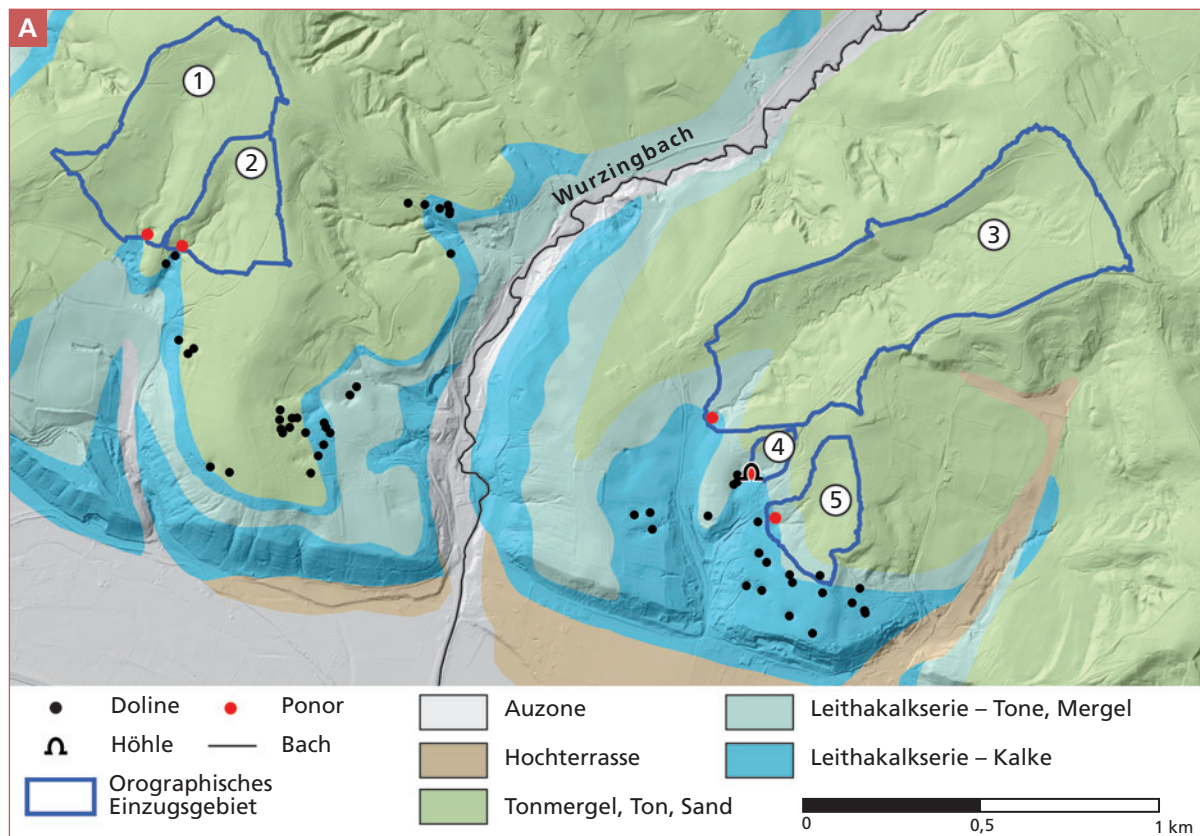


Abb. 4: Kontaktkarstbereich Sukdull. A: Karte des Kontaktkarstes und Verteilung der Einzugsgebiete. Im Einzugsgebiet 4 findet sich auch die einzige befahrbare Höhle (Frauenhöhle) in diesem Gebiet. Geologische Karte: Moser (2015); B: Finaler Ponor des Einzugsgebietes 3. Das eingeschwemmte Sediment (samt größeren Ästen) belegt den erhöhten Abfluss im Zuge von Starkniederschlagsereignissen; C: Schattiertes Höhenmodell des Einzugsgebietes 3. Deutlich ersichtlich ist die für das Steirische Becken dominante Morphologie nichtverkarstungsfähiger Lithologien: sanfte Reliefformen und gravitative Massenbewegungen (Rutschungen).

Fig. 4: Contact karst area Sukdull. A: Map of the contact karst and distribution of catchments. Catchment area 4 also includes the only accessible cave (Frauenhöhle) in this area. Geological map: Moser (2015); B: Final ponor of catchment 3. The sediment (including larger branches) documents the increased runoff during heavy precipitation events; C: Hillshade visualisation of catchment 3. The morphology of the Styrian Basin in areas underlain by lithologies that are not prone to karstification is clearly visible: gentle relief forms and gravitational mass movements (landslides).

Digitales Höhenmodell: GIS-Steiermark. Foto B: Anna Weissinger, 2019

(1 = 0,20 km²; 2 = 0,08 km²; 3 = 0,40 km²; 4 = 0,01 km²; 5 = 0,06 km²). Allerdings sind diese Flächen nur grobe Richtwerte, da auch in Kontaktkarstgebieten das oberflächliche Einzugsgebiet und das tatsächliche Einzugsgebiet häufig nicht ident sind. Die tatsächlich zur Versickerung in den Ponoren gelangenden Mengen sind

abhängig von der Materialeigenschaft bzw. Mächtigkeit der angrenzenden, nicht verkarstungsfähigen Gesteine und der Menge bzw. Intensität des Niederschlages. In tonreichen Sedimenten kann Wasser kaum eindringen. Sedimente mit beispielsweise höherem Anteil an Sand besitzen demgegenüber ein

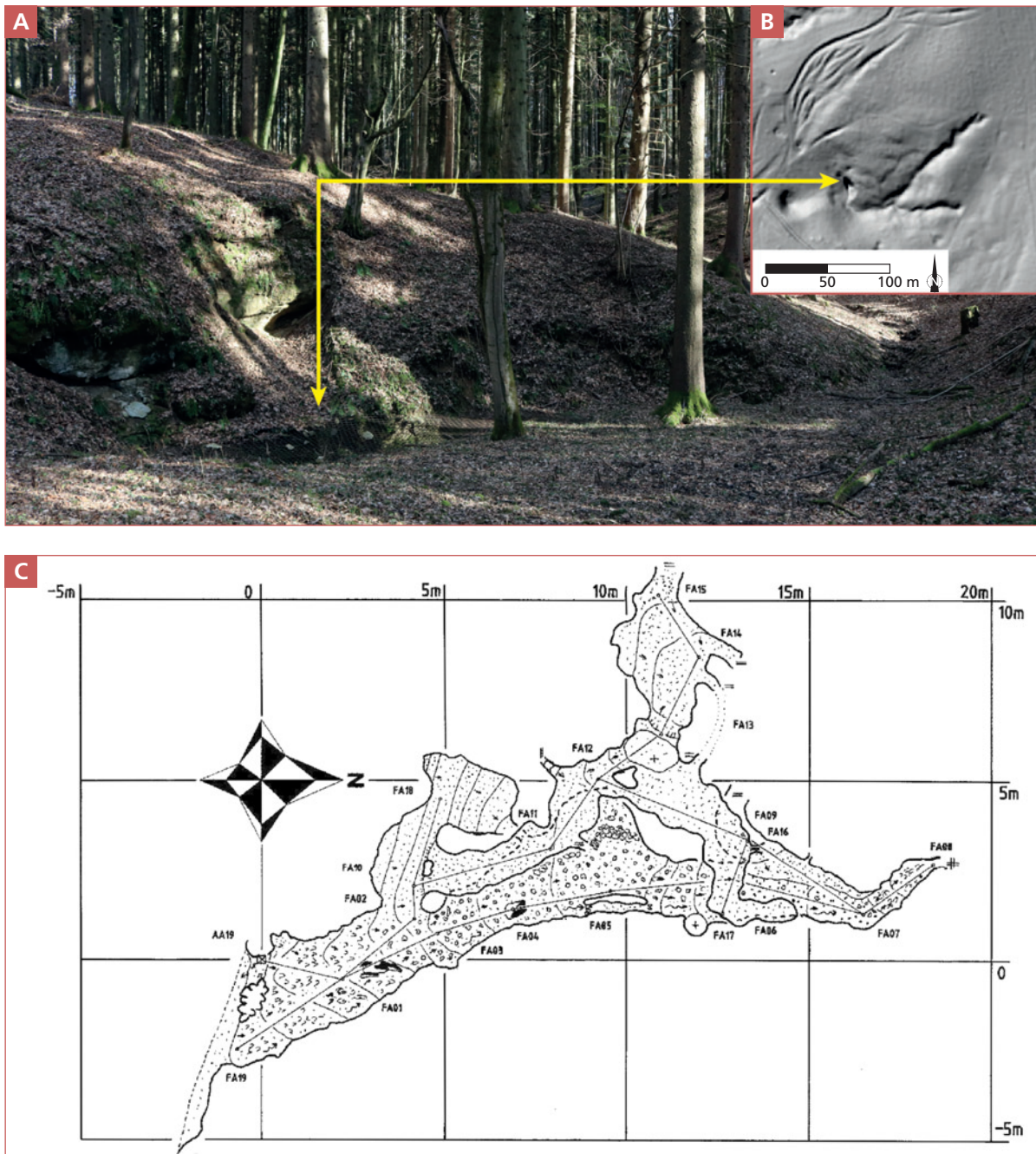


Abb. 5: Kontaktkarstgebiete Frauenhöhle. A: Kontaktkarstbereich Frauenhöhle mit der Höhlenöffnung. Das Portal der Höhle ist mit Baustahlgittermatten abgedeckt; B: Hillshade Visualisierung des Einzugsgebietes 4 im Kontaktkarstbereich mit dem Ponor in der Frauenhöhle (cf. Abb. 4/A); C: Grundriss der Frauenhöhle nach Fuchs & Polt (2006).

Fig. 5: Contact karst area Frauenhöhle with cave entrance. The portal of the cave is protected by steel mesh mats; B: Hillshade visualisation of catchment 4 in the contact karst area with the ponor at Frauenhöhle (cf. Fig. 4/A); C: Plan view of Frauenhöhle (Fuchs & Polt, 2006).
Foto A: Anna Weissinger, 2019

erhöhtes Infiltrationsvermögen. Das Speichervermögen der Sedimente ist zudem stark abhängig von deren Mächtigkeit. Ein weiterer Faktor ist die Menge sowie die Intensität des Niederschlages. Geringer Niederschlag mit geringer Intensität kann in den neogenen Sedimentauflagen nicht-abflusswirksam zwischengespeichert werden. Anders verhält sich die Situation bei lang andauernden Niederschlägen oder intensiven, gewittrigen Niederschlagsereignissen (im Raum Wildon betrug im Zeitraum 1994–2005 der durchschnittliche Anteil der gewittrigen Niederschläge am Gesamtniederschlag im Jahr 40 % (Wakonigg, 2010)). In diesem Fall können die geringmächtigen, nur wenig durchlässigen Sedimente einerseits die großen Niederschlagsmengen nicht aufnehmen, andererseits kann bei intensiven Niederschlägen die Aufnahmekapazität der Sedimente geringer sein als der Niederschlagsinput. Folglich wird das Wasser oberflächlich abgeleitet. Über die Fließwege in den Untergrund gibt es bis dato keine karsthydrologischen Untersuchungen. Einen teilweisen Übertritt von Karstwässern in den markant eingeschnittenen Wurzingbach, der als ganzjährig aktives Gerinne zugleich den einzigen Vorfluter im Nahbereich des Kontaktkarstes bildet (Abb. 4A), wird von Fabiani (1973) angenommen. Das Fehlen von Austrittsstellen an der Süd- bzw. Südwestseite der Karbonate legt einen größeren Übertritt der Karstwässer in den quartären Porengrundwasserkörper des Murtales nahe (Zötl, 1968).

HÖHLEN IN DEN AREALEN WILDON, MUGGENAU UND AFLENZ-RETZNEI

Im Vergleich zu den Oberflächenkarstformen (Dolinen) sind Höhlen in den Leithakalk-Arealen an der Mittelsteirischen Schwelle nach derzeitigem Forschungsstand nur von untergeordneter Bedeutung. Die oben genannte *Frauenhöhle* bei Sukdull stellt diesbezüglich eine der wenigen Ausnahmen dar. Im Bereich Wildon finden sich am Schlossberg drei Objekte im Höhlenkataster, von denen aber nach derzeitigem Forschungsstand zwei als künstlich zu klassifizieren sind. Nur die *Eselshöhle* (2792/1) ist eine natürliche Kleinhöhle, die genetisch als Auswitterungshöhle entlang einer Schichtgrenze im Leithakalk zu bezeichnen ist. Das bekannteste Objekt ist der künstliche *Römerbruch* (B2792/1) östlich des Karrenweges, der zur Ruine Wildon führt (Abb. 6A, 6B). Deutlich erkennbar sind die menschlichen Veränderungen dieses auch in der ÖK50 verorteten Hohlraumes. Zu diesen zählen neben einer Stiege, die in den Hohlraum führt, auch geradlinige Abbruchnischen als Indizien einer ehemaligen Kalksteinentnahme. Ein weiteres, auf knapp über 130 m Länge

Der Ponor in Einzugsgebiet 4 ist auch die einzige bekannte befahrbare Höhle im Untersuchungsgebiet Sukdull. Das als *Frauenhöhle* (2811/5) geführte Objekt wurde 2006 vermessen (Fuchs & Polt, 2013). Das Befahren der Höhle ermöglichte erst der Einsatz eines Baggers. Die Höhle erstreckt sich horizontal auf eine Länge von knapp 20 m (bei einer Vermessungslänge von ca. 54 m) und vertikal knapp über 6 m (Abb. 5A–5C). Sie gliedert sich in zwei Stockwerke. Das untere Stockwerk ist entlang einer Schichtfläche ausgebildet. Die Raumdimensionen erreichen 3 m Breite und 1 m Höhe. Den Abschluss dieses Stockwerkes bildet ein sehr flacher, unschließbarer Gangabschnitt, der auch von den eintretenden Wässern durchflossen wird, die dort versickern. Das obere Stockwerk wurde erst im Zuge der Befahrung des unteren entdeckt. Es dürfte demnach einen älteren Höhentheil darstellen. Als Höhleninhalt werden Sinterdecken, Tropfsteinbildungen sowie menschliche Ablagerungen genannt. Im Jahr 2016 konnte die Höhle aufgrund starker Sedimentanlagerung nicht befahren werden.

In den Archivunterlagen des Landesvereins für Höhlenkunde in der Steiermark findet sich ein Vermerk über ein zweites Objekt in einem Steinbruch bei Kollisch südlich des Schlosses Weißenegg. Den spärlichen Unterlagen zufolge dürfte die als *Steinbruchhöhle* (2811/4) geführte Trockenhöhle aber bereits vor einer näheren Prospektion verstürzt sein.

vermessenes Objekt befindet sich westlich des Römerbruches (Abb. 6C, 6D). Ein Befahrungsbericht von Polt aus dem Jahr 2012 bezeichnet es als *Objekt im Wildoner Schlossberg*. Es handelt sich dabei um ein bereits im Jahr 2003 durch Weissensteiner und Glitzner erkundetes und vermessenes Objekt am Südhang des Schlossberges (Polt, 2012). Der derzeit einzige Zutritt erfolgt über einen 18 m tiefen, stark von Versturzmateriale geprägten, steilen Abstieg. Ein weniger steiler Zustieg wird im Bereich des Versturzes angenommen, ist bisher aber nicht schließbar. Daran grenzt eine geräumige Halle. Der Hohlraum ist geprägt durch händische sowie maschinelle Bearbeitungspuren, wobei eine detaillierte kulturgeschichtliche Begutachtung noch ausständig ist. Die vorgefundenen Spuren lassen auf eine Bearbeitung mittels Hauen sowie modernen Geräts (Bohrlöcher sind vorhanden) schließen (Polt, 2012).

Am Frauenberg westlich von Leibnitz und östlich Bereich Muggenau befindet sich eine Höhle in Leithakalkkonglomeraten (Abb. 1). Sie wird als *Türkenloch*



Abb. 6: Künstliche Objekte im Bereich Wildoner Schlossberg. A: Römerbruch; B: Innenaufnahme des Römerbruchs; C: Einstiegsbereich des Objektes im Wildoner Schlossberges; D: Haupthalle des Objektes im Wildoner Schlossberg. Der Zustieg (gelber Pfeil) ist stark von Versturzmateriale geprägt.

Fig. 6: Artificial caves in the area of Wildoner Schlossberg. A: Römerbruch; B: Interior view of the Römerbruch; C: Entrance area of Objekt im Wildoner Schlossberg; D: Main hall of the Objekt im Wildoner Schlossberg. The entrance (yellow arrow) is strongly influenced by breakdown.

Fotos: A, B: Christian Bauer, 2008; C, D: Harald Polt, 2012.

am Frauenberg (2791/2a-c) geführt und wird in einem Befahrungsbericht von Fuchs (1978) als Überdeckungshöhle, entstanden durch eine gravitative Massenbewegung, klassifiziert. Betreten wird die 15 m lange Höhle über ein 2 m breites und 1,7 m hohes Portal, wobei es zwei weitere Zugänge gibt.

Ein karstmorphologisch interessantes Objekt befindet sich in den sogenannten Römersteinbrüchen bei Aflenz-Retznei. Das im Zweiten Weltkrieg durch KZ-Häftlinge ausgebaute Stollensystem erstreckt sich nordwestlich des Obertage-Abbaus Aflenz-Retznei. Geplant war hier (wie in der etwas später errichteten Stollenanlage in der Peggauer Wand) eine unterirdische Rüstungsproduktion von Flugzeugteilen. In Aflenz an der Sulm wurde zu diesem Zweck 1944 ein Außenlager des KZ Mauthausen errichtet, der Höchststand an inhaftierten Zwangsarbeitern wird mit 711 Personen angegeben. Nach der Auflösung des Lagers im April 1945 wurden die Häftlinge auf einem Fußmarsch ins KZ Ebensee getrieben. Kranke und Marschunfähige wurden erschossen (Halbentrainer, 2012).

Abb. 7A und 7B zeigen die Lage dreier bekannter Stollen nordwestlich des obertägigen Abbaus. Der *Große Römerbruch* (B2791/5) besitzt mehrere Eingänge (der Haupteingang ist in der Abbildung mit dem gelben Pfeil markiert). Der tiefer gelegene sogenannte *Untere Römerbruch* (B2792/1) ist schließbar mit dem *Großen Römerbruch* verbunden. Das Objekt *Tscheppebruch* stellt einen isolierten Stollenbereich dar. Im Zuge des Vortriebes bzw. Abbaus wurde im *Großen Römersteinbruch* ein natürlicher Hohlraum angefahren (siehe auch Weissensteiner, 2004: 150). Der senkrecht nach oben führende Hohlraum (Abb. 7C, 7D) zeigt kleinere Sinterbildungen. Die Oberfläche der Stollenanlage weist keine morphologisch distinktiven Karstformen auf.

Da dieser Bereich landwirtschaftlich genutzt wird, erscheint hier auch eine starke menschliche Überprägung (Auffüllung) etwaiger Oberflächenformen möglich. Der natürliche Hohlraum selbst belegt aber das Vorhandensein von unterirdischen Karstformen im Leithakalk.

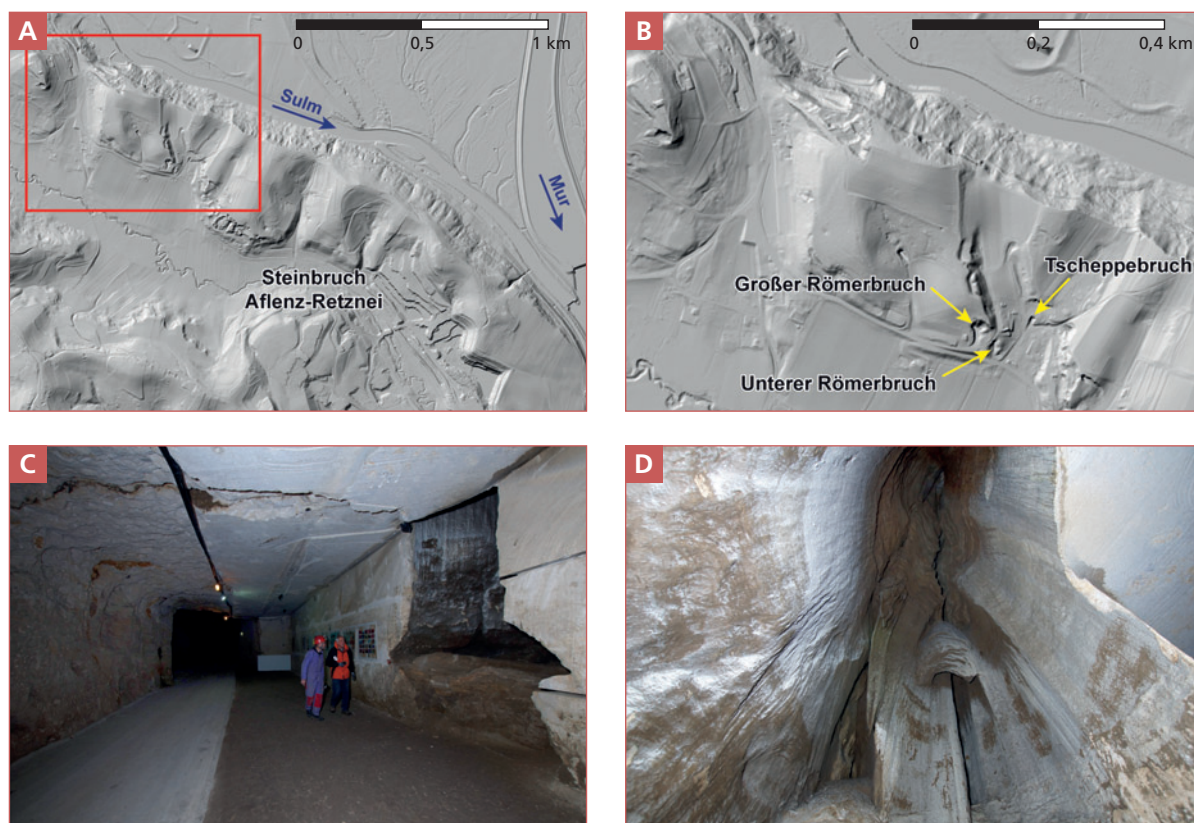


Abb. 7: Stollensystem Aflenz-Retznei. A: Schattiertes Höhenmodell des Karbonat-Areals Aflenz-Retznei. Das rote Rechteck zeigt den Ausschnitt von Abb. 7B; B: ALS Hillshade Visualisierung der Römersteinbrüche und Lage der Haupteingänge (gelbe Pfeile). C: Innenaufnahme des Großen Römerbruches; D: Detailaufnahme des Karsthohlraumes senkrecht nach oben.

Fig. 7: Adit system Aflenz-Retznei. A: Hillshade visualisation of the carbonate area Aflenz-Retznei. The red rectangle shows the extent of Fig. 7B; B: Hillshade visualisation of the subsurface quarries and location of the main entrances (yellow arrows). C: Interior view of the Großer Römerbruch; D: Detailed view of the opened karst cavity looking vertically upward.

Digitales Höhenmodell: GIS-Steiermark. Foto C, D: Harald Polt, 2013

MENSCHLICHE EINFLUSSNAHME

Die bereits erwähnte Nähe zu dichten Siedlungsgebieten, die lange historische Nutzung des Siedlungsraumes sowie die Verwendung des Leithakalkes als Massenrohstoff bzw. auch als Dekorstein sind Gründe für die starke menschliche Beeinflussung der Karstareale. So finden sich etliche Relikte von Kalköfen im Untersuchungsgebiet. Sie dienten bis ins 19. Jahrhundert der Branntkalkerzeugung. Zu den erkennbaren Reliefstrukturen dieser Nutzung zählen einerseits die dafür nötigen Materialentnahmen und andererseits die Brennöfen. Bei gutem Erhaltungszustand sind letztere als kreisrunde Wälle mit kleiner Öffnung, teilweise direkt im Grundbereich von Dolinen situiert, erkennbar (so bei Dolinen in Muggenau und Wildon). Größere gewerbliche bzw. industrielle Kalksteinbrüche (teilweise auch Kalksandsteine) sind im Bereich Wildon, Sukdull, Muggenau sowie Aflenz-Retznei (Abb. 1) lokalisierbar. Als Dekorstein fanden die Leithakalke aus Aflenz-Retznei Verwendung in vielen kulturhistorisch bedeuten-

den Bauwerken (u.a. Herz-Jesu-Kirche in Graz, Stephansdom in Wien) und erlangten damit auch überregionale Bedeutung (Hauser & Urregg, 1950). Sehr deutlich ersichtlich ist die menschliche Beeinflussung durch Abbautätigkeiten im Bereich Aflenz-Retznei. Das Gebiet stellt derzeit auch den einzigen aktiven Abbau von Leithakalken im Untersuchungsgebiet dar. Die im Zuge der automatisierten Extraktion von Hohlformen gefundenen Objekte in diesem Gebiet wurden durch die sukzessive Erweiterung des Steinbruches zerstört. Abb. 8A–8D zeigt diese Entwicklung des Steinbruchgeländes anhand einer Zeitreihe von 2009 bis 2018. Die auf Basis der ALS-Daten aus dem Jahr 2009 extrahierten Hohlformen sind in allen Teilabbildungen, auch nach deren Zerstörung, illustriert, um deren ehemalige Lage zu kennzeichnen. Zum Zeitpunkt der Laserscan-Befliegung befanden sich die Hohlformen noch ca. 200 m entfernt von der Abbruchkante. Die sukzessiven Erweiterungen des Steinbruches sind auf

den Orthofotos der Jahre 2012, 2015 und 2018 deutlich erkennbar. Im Jahr 2015 war die östlichste Hohlform dem Abbau zum Opfer gefallen. Auf dem Orthofoto von der Befliegung 2018 sind bereits alle Hohlformen

zerstört. Als ein intensiv überprägtes Gebiet erweist sich auch das sehr kleine Areal Graßnitzberg (Abb. 9A, 9B). Auch in diesem Bereich kam es zu kleineren Kalksteinabbau (1 in Abb. 9A). Das Dolinenareal wird

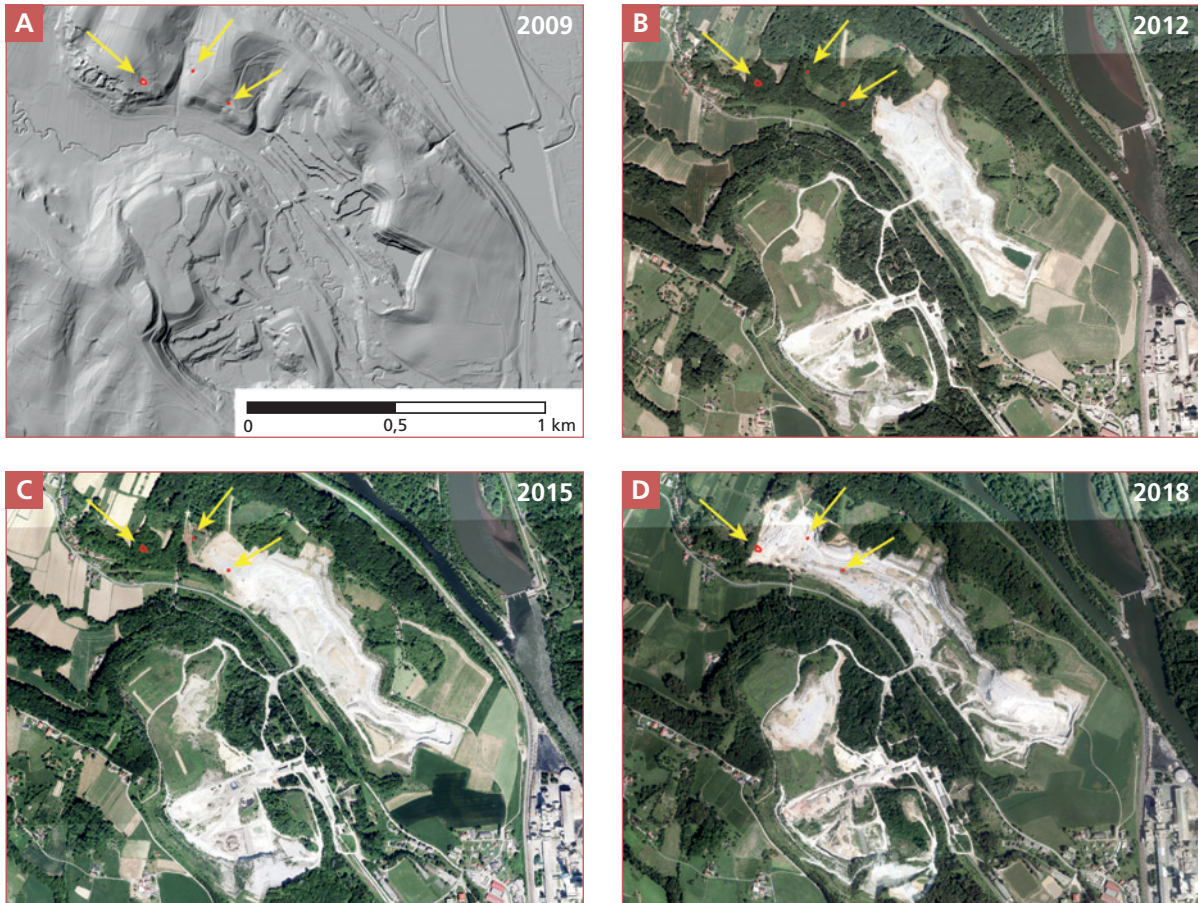


Abb. 8: Menschliche Einflussnahmen im Bereich Aflenz-Retznei. A: Schattiertes Höhenmodell und Ergebnis der Dolinen-Extraktion. Die drei Hohlformen sind zusätzlich mit gelben Pfeilen gekennzeichnet. B-D: Orthofotos 2012, 2015, 2018. GIS-Steiermark. Fig. 8: Anthropogenic modifications in the area of Aflenz-Retznei. A: Hillshade visualisation and result of automated feature extraction. The three dolines are additionally marked with yellow arrows. B-D: Orthophotos 2012, 2015, 2018 GIS Styria.

Digitales Höhenmodell: GIS-Steiermark.

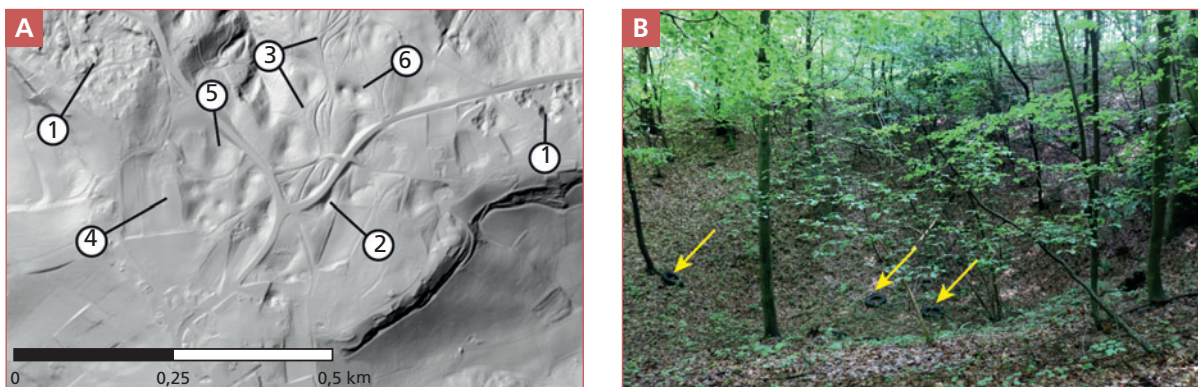


Abb. 9: Menschliche Einflussnahmen im Bereich des Areals Graßnitzberg. A: Schattiertes Höhenmodell. 1 = kleinere historische Kalksteinentnahmen. 2 & 3 = Straßenbau/Hohlwege; 4 & 5 = landwirtschaftliche Nutzung. 6 = Lage von Doline in Abb. 9B; B: Müllablagerungen in Dolinen. Die gelben Pfeile zeigen illegal entsorgte Autoreifen. Fig. 9: Anthropogenic modifications in the area Graßnitzberg. A: Hillshade visualisation. 1 = small historical limestone extractions. 2 & 3 = road constructions. 4 & 5 = agricultural use. 6 = Location of dolines in Fig. 9B; B: Waste deposits in dolines. The yellow arrows show illegally disposed car tyres. Digitales Höhenmodell: GIS-Steiermark. Foto B: Anna Weissinger, 2018.

durch zahlreiche Straßen, Karrenwege und alte Hohlwege (2 & 3 in Abb. 9A) zerschnitten (im Gebiet befinden sich Landesstraßen, die die Orte Leutschach (Westen), Ehrenhausen (Norden) und Spielfeld (Osten) verbinden). Die vormals größte im Gebiet vorhandene Doline wurde im Zuge der Straßenbauarbeiten mit einem kleinen Damm begradigt (2 in Abb. 9A). Diese Form konnte dementsprechend auch nicht in der Dolinenanalyse berücksichtigt werden. Landwirtschaftlich genutzte Flächen, in den ALS-Daten als Bereiche mit sehr geringer Relief-Rauigkeit (glatte Flächen) erkennbar (4 und 5 in Abb. 9A), reichen teilweise

sehr knapp an die Dolinen heran. Ob es im Zuge der landwirtschaftlichen Nutzbarmachung auch zu einer Verfüllung von Karstformen gekommen ist, lässt sich auf Basis der vorhandenen Daten (DGM, Orthofotos und verfügbare historische Karten) nicht exakt eruieren. Im Bereich (5) in Abb. 9/A ist eine sehr seichte, annähernd runde Hohlform erkennbar, die eine derartige Überprägung vermuten lässt. Die Nutzung von Hohlformen als illegale Deponien findet sich auch in den Leithakalk-Arealen. Ein Beispiel stellen zwei Dolinen im Bereich Graßnitzberg dar (6 in Abb. 9A, 9B), in denen auch Autoreifen entsorgt wurden.

DISKUSSION

Die vorliegende Arbeit gibt eine erste Charakterisierung der isolierten Karstareale in den miozänen Leithakalken entlang der Mittelsteirischen Schwelle. Die landschaftlich prägenden Karstformen stellen Dolinen dar. Sie werden aufgrund ihrer Morphometrie (u.a. Korrelation von Tiefe zu Fläche) sowie des weitgehenden Fehlens größerer Höhlen genetisch den Lösungsdolinen zugeordnet. Die in den bisherigen Untersuchungen stets nur auf den Raum Wildon und Sukdull beschränkten Verweise auf Dolinen wurden im Zuge der automatisierten Extraktion von Hohlformen flächendeckend quantifiziert. Dabei konnten auch erstmals Oberflächenkarstformen in den südlicher gelegenen Leithakalk-Arealen Muggenau, Graßnitzberg und Aflenz-Retznei detektiert werden. Die hohe Anzahl an Dolinen auf kleiner Fläche im Raum Wildon ist dabei durchaus mit prominenten Karstgebieten aus den Nördlichen Kalkalpen vergleichbar (z.B. Hochschwab - Plan & Decker, 2006). Allerdings gilt hier anzumerken, dass die Anzahl (sowie auch die Form) der detektierten Dolinen stets auch stark von den verwendeten Datengrundlagen abhängig ist. Während in der Studie von Plan & Decker (2006) die Ableitung auf Basis einer intensiven Geländebegehung und durch Orthofotos erfolgte, konnte in der hier vorgestellten Untersuchung auch auf hochauflösende Geländedaten zurückgegriffen werden. Diese ermöglichen insbesondere in Karstgebieten mit dichter Vegetationsbedeckung auch die Detektion von kleineren Karstformen. Eine weitere Besonderheit ist der gut entwickelte Kontaktkarst im Raum Sukdull. Auffallend dabei ist die unterirdische Entwässerung größerer Einzugsgebiete aus den angrenzenden, überwiegend impermeablen neogenen Sedimenten über mehrere Ponordolinen. Die genauen Fließwege der Karstwässer sind nicht näher erforscht. Mit der *Frauenhöhle* ist einem dieser Ponore auch eine befahrbare Höhle ange-

schlossen. Allgemein sind natürliche Höhlen im Untersuchungsgebiet nur von untergeordneter Bedeutung. Das Untersuchungsgebiet ist geprägt durch eine intensive menschliche Einflussnahme, insbesondere durch den Abbau von Kalkstein ober wie unter Tage. Eine vergleichende wissenschaftliche Betrachtung mit anderen Leithakalk-Arealen liegt derzeit noch nicht vor. Dennoch lassen sich auf Basis vorhandener Studien und einer ersten visuellen Interpretation der ALS-Daten zum Beispiel für die Typuslokalität Leithagebirge (Niederösterreich und Burgenland) bemerkenswerte karstmorphologische Unterschiede feststellen. So fehlen die in den Leithakalk-Arealen entlang der Mittelsteirischen Schwelle dominanten Oberflächenkarstformen (respektive Dolinen) im Leithagebirge fast gänzlich. Eine der wenigen Ausnahmen ist die *Weingartenbachschwinde* (2911/57) nahe Hornstein. Anders verhält es sich mit unterirdischen Karstformen. Während die Leithakalk-Areale der Mittelsteirischen Schwelle nur sehr wenige Höhlen aufweisen, finden sich diese im Leithagebirge häufiger. Allerdings werden auch hier viele Objekte einem künstlichen Ursprung zugeschrieben. Die natürlichen Objekte im Leithagebirge werden auch mit hypogener Speläogenese (zumindest hydrothermalen Überprägung) assoziiert (Plan & Spötl, 2016). Als Beispiel sei hier der *Nasse Schacht* (2911/21) genannt, der jedoch nur in den oberen Etagen im Leithakalk liegt (Plan et al., 2006). Hier gibt es einen Unterschied zu den Arealen entlang der Mittelsteirischen Schwelle: Während das Wiener Becken für seine Thermalwässer bekannt ist, finden sich in der Nähe der Leithakalk-Areale entlang der Mittelsteirischen Schwelle keine Hinweise auf hydrothermale Aktivität. Insgesamt erweisen sich die bisher eher wenig bekannten Leithakalk-Areale der Mittelsteirischen Schwelle als Gebiete mit hohem karstmorphologischem und hydrologischem Forschungspotenzial.

DANK

Dank gebührt dem Landesverein für Höhlenkunde in der Steiermark, insbesondere den Vereinsmitgliedern, die durch ihr Engagement die Datengrundlagen geschaffen haben, sowie dem Katasterwart Johannes Wallner für die Unterstützung bei dieser Arbeit Harald Polt für die wertvollen Hinweise betreffend die Höhlen im Untersuchungsgebiet sowie die Bereitstellung von Fotos und Dokumenten. Das Amt der

Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 17 Landes- und Regionalentwicklung, Referat Statistik und Geoinformation hat dankenswerterweise die für diese Analyse benötigten Geodaten (ALS-Daten, Orthofotos) zur Verfügung gestellt. Wir danken Michael Behm, Lukas Plan und Christoph Spötl für die konstruktiven Anmerkungen und Verbesserungen des Manuskriptes.

LITERATUR

- Bauer, C. (2015): Analysis of dolines using multiple methods applied to airborne laser scanning data. – *Geomorphology*, 250: 78–88.
- Benischke, R., Kusch, H. & Wagner, T. (2016): Mittelsteirischer Karst. In: Spötl, C., Plan, L. & Erhard, C. (Hrsg.): *Höhlen und Karst in Österreich – Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum): 700–718.*
- Bock, H. (1913): Charakter des Mittelsteirischen Karstes. – *Mitt. für Höhlenkunde*, 6(4): 5–19
- Brunner, W. (2015): Bomben auf Graz. – In: Ableitinger, A. (Hrsg.): *Bundesland und Reichsgau. Demokratie, Ständestaat und NS-Herrschaft in der Steiermark 1918 bis 1945.* – Wien (Böhlau): 597610.
- Fabian, K. (1905): Das Miozänland zwischen der Mur und der Stiefing bei Graz. – *Mitt. Naturwiss. Ver. für Steiermark*, 42: 3–21.
- Fabiani, E. (1973): Geologisch-morphologischer Überblick über das nordöstliche Leibnitzer Feld. – *Berichte der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung*, 23: 15–68.
- Ford, D. & Williams, P. (2007): *Karst Hydrogeology and Geomorphology.* Chichester (Wiley).
- Friebe, J.G. (1990): Lithostratigraphische Neugliederung und Sedimentologie der Ablagerungen des Badenium (Miozän) um die Mittelsteirische Schwelle (Steirisches Becken, Österreich). – *Jb. Geol. Bundesanstalt*, 133(2): 223–257.
- Fuchs, G. (1978): Türkenloch am Frauenberg. Befahrungsbericht Nr. 980 vom 20.07.1978. – *Archiv Landesv. f. Höhlenk. Stmk.*
- Fuchs, G. & Polt, H. (2006): Höhlenplan der Frauenhöhle (Fritzberghöhle), Kat.Nr. 2811/5. – *Archiv Landesv. f. Höhlenk. Stmk.*
- Fuchs, G. & Polt, H. (2012). Die Frauenhöhle (Fritzberghöhle), Kat.Nr. 2811/5. – *Mitt. Landesv. f. Höhlenk. Stmk.*, 32–41: 29–41.
- Halbenrainer, H. (2012): NS-Terror in der Steiermark. – In: Halbenrainer, H., Lamprecht, G. & Mindler, U. (Hrsg.): *NS-Herrschaft in der Steiermark. Positionen und Diskurse.* – Wien (Böhlau): 243–266.
- Hauser, A. & Urregg, H. (1950): Die Kalke, Marmore und Dolomite Steiermarks. 2. Teil: Kalke (Mergel) der Neuzeit und des Mittelalters der Erde. – *Die bautechnisch nutzbaren Gesteine Steiermarks*, 4. – Graz (Lehrkanzel f. Techn. Geologie und Lehrkanzel f. Festigkeitslehre und Werkstoffprüfung der Technischen Hochschule).
- Keferstein, C. (1828): *Teutschland geognostisch-geologisch dargestellt.* – Weimar (Landes-Industrie-Comptoirs).
- Kollmann, K. (1964): Jungtertiär im Steirischen Becken. – *Mitt. Geol. Ges. Wien*, 57(2): 479–632.
- Lauritzen S.E. (2001) Marble stripe karst of the Scandinavian Caledonides: An end-member in the contact karst spectrum. – *Acta Carsologica*, 30(2): 47–79
- Moser, M. (2015): Geofast - Zusammenstellung ausgewählter Archivunterlagen der Geol. Bundesanstalt 1:50.000, Blatt 190 Leibnitz. – Wien (Geol. Bundesanst.).
- Plan, L. & Decker, K. (2006): Quantitative karst morphology of the Hochschwab plateau, Eastern Alps, Austria. – *Zeitschrift für Geomorphologie. N.F., Suppl.* 147: 29–54.
- Plan, L., Pavuza, R. & Seemann, R. (2006): Der Nasse Schacht bei Mannersdorf am Leithagebirge, NÖ (2911/21) – eine thermal beeinflusste Höhle am Ostrand des Wiener Beckens. – *Die Höhle*, 57: 30–46.
- Plan, L. & Spötl, C. (2016): Hypogene Karsthöhlen. – In: Spötl, C., Plan, L. & Christian, E. (Hrsg.): *Höhlen und Karst in Österreich.* Linz (Oberösterreichisches Landesmuseum): 49–60.
- Polt, H. (2012): Objekt im Wildoner Schlossberg. – Befahrungsbericht Nr. 980 vom 24.05.2012. – *Archiv Landesv. f. Höhlenk. Stmk.*
- Sölch, J. (1928): *Die Landformung der Steiermark (Grundzüge einer Morphologie).* – Graz (Mitt. Naturwiss. Ver. für Steiermark).
- Wakonigg, H. (2010): Gewitter und Hagel. – In: Prettenhaler, F., Podesser, A. & Pilger, H. (Hrsg.): *Klimaatlas Steiermark.* Wien (ÖAW): 1–38.
- Weissensteiner, V. (2004): Jahresberichte 2003 der höhlenkundlichen Organisationen Österreichs – Landesverein für Höhlenkunde in der Steiermark. – *Die Höhle*, 55: 150.
- Weissinger, A-M. (2019): *Die Karstformen der Leithakalkareale im Steirischen Becken.* Unpublizierte Bachelorarbeit, Inst. für Geographie und Raumforschung, Univ. Graz.
- Winkler-Hermaden, A. (1957): *Geologisches Kräftespiel und Landformung* – Wien (Springer).
- Zötl, J. (1968): Das Grundwasser im Leibnitzer Feld (Steiermark). – *Steir. Beiträge zur Hydrogeologie*, 20: 9–151.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Die Höhle](#)

Jahr/Year: 2020

Band/Volume: [71](#)

Autor(en)/Author(s): Bauer Christian, Weissinger Anna-Maria

Artikel/Article: [Die Karstvorkommen der Leithakalk- Areale entlang der Mittelsteirischen Schwelle \(Steirisches Becken\) 105-119](#)