

# Speläologische Charakterisierung und Analyse des Hochschwab-Plateaus, Steiermark

## ZUSAMMENFASSUNG

Im Zuge einer 44 km<sup>2</sup> umfassenden karstmorphologischen Kartierung des Hochschwabplateaus im Einzugsgebiet der Wiener Hochquellenwasserleitung konnten 770 neue Höhlen entdeckt werden, von denen knapp 10 % bearbeitet wurden. Gemeinsam mit den im Kataster geführten Höhlen und fernerkundeten Objekten wurden 1284 vorwiegend schachtartige Höhleneingänge in ein GIS (Geographisches Informationssystem) integriert, womit in Kombination mit anderen digitalen Datensätzen statistische Untersuchungen möglich sind. Analysiert werden die räumliche Verteilung der Höhlendichte sowie ihre Abhängigkeit von Seehöhe und Lithologie. Daneben werden die bedeutendsten Höhlen des Untersuchungsgebietes charakterisiert.

Die Höhlen des Hochschwabs sind vorwiegend Schächte und schachtartige Canyons, die in der vadosen Zone entstanden sind. An ehemalige Vorfluter gebundene phreatische Niveaus, wie sie in anderen Karstplateaus der Nördlichen Kalkalpen verbreitet sind, existieren nicht. Die wenigen ausgedehnten phreatischen Höhlenteile sind im Hangenden wasserstauer Schichten entwickelt. Die durchschnittliche Höhlendichte im Untersuchungsgebiet beträgt 24 Objekte/km<sup>2</sup>, in eiszeitlich stark überprägten Gebieten steigt sie bis auf über 400 Höhlen/km<sup>2</sup> an. Bei der Lithologieabhängigkeit ist hervorzuheben, dass der Dachsteinkalk keine überdurchschnittlich hohe Höhlendichte aufweist und dass sie bei den verschiedenen Faziestypen des Wettersteinkalkes sehr unterschiedlich hoch ist.

## ABSTRACT

The Hochschwab is one of the major karst massifs of the Northern Calcareous Alps (NCA), situated in the north of the Austrian province of Styria and provides freshwater for the city of Vienna. Karstmorphological mapping of 44 km<sup>2</sup> of its plateau resulted in the discovery of 770 new caves. Together with formerly recorded caves and possible caves detected on aerial photographs a total of 1284, mainly vertical objects are integrated into a GIS. In combination with additional digital datasets, statistical analyses are performed considering the spatial distribution of cave density as well as the dependence on altitude and lithology. Beside this, the most important caves within the study area are characterised. The investigated caves are mainly pits and vertical canyons which developed in the vadose zone. Phreatic cave levels associated with former valley floors, which are common in the NCA, do not exist in the Hochschwab. A few caves of phreatic origin developed above aquitards. The average cave density in the investigation area is 24 objects/km<sup>2</sup>. In glacially strongly overprinted areas it increases to more than 400 caves per km<sup>2</sup>. As far as the lithological control on speleogenesis is concerned limestones of the Dachstein Formation do not show a cave density higher than that of other Formations. Limestone of the Wetterstein Formation have highly variable cave densities depending on the different facies types.

## Lukas Plan

Institut für Geologische Wissenschaften,  
Althanstraße 14, 2A-344, 1090 Wien  
[lukas.plan@univie.ac.at](mailto:lukas.plan@univie.ac.at)

Eingelangt: 10. 02. 2004  
Angenommen: 30. 04. 2004

## EINLEITUNG

Seit über 10 Jahren wird der Hochschwab im Rahmen des internationalen Karstforschungsprojektes KATER (Karst waTER research program) in Hinblick auf Geologie und Hydrologie, aber auch Landnutzung und Ökologie von diversen Institutionen untersucht (Kuschnig, 2001 & 2003). Ein Teilaspekt der Forschungen ist eine karstmorphologische Kartierung, um die morphologischen Parameter, die Einfluss auf die Vulnerabilität (=Verletzlichkeit) der Karstwässer im Einzugsgebiet der Wiener Hochquellenleitung haben, zu erheben. In den Jahren 2001 bis 2003 wurde dazu vom Autor im Auftrag der Wiener Wasserwerke (MA 31) eine Kartierung von Karstformen am Hochschwabplateau im Einzugsgebiet der Kläfferquelle durchgeführt. Somit liegt ein flächendeckender Datensatz im Aufnahmemaßstab 1:5000 vor, der 10350 kartierte Formen enthält, wovon alleine 5981 auf die Karsthohlformen entfallen. Die kartierten Elemente wurden digitalisiert und in ein GIS (Geographisches Informationssystem) integriert (Plan, 2003c).

Obwohl im Zentrum der Fragestellung karstmorphologische Elemente wie Karsthohlformen,

Ponore und Störungen standen, von denen eine erhöhte Verletzlichkeit der Karstwässer ausgeht, wurden auch Höhlen und andere Karsterscheinungen erfasst. Einige Methoden zur Quantifizierung der Vulnerabilität berücksichtigen das Vorhandensein und die Ausbildung von Höhlen und Karströhren (Doerflinger & Zwahlen, 1998), wobei auch z.T. standardisierte Aufnahmemethoden zum Einsatz kommen (The Karst Task Force, 2001).

Da bis dahin der Hochschwab höhlenkundlich nur punktuell gut bearbeitet wurde, viele Teile aber völlig unbearbeitet waren, wurden im Zuge der Kartierung rund 770 neue Höhlen entdeckt, wovon nur wenige vermessen und bearbeitet werden konnten. Somit steht ein für Österreich einmaliger flächendeckender digitaler Datensatz zur Verfügung, der eine statistische Auswertung der Höhlenverbreitung in Kombination mit anderen Datensätzen erlaubt.

Ein Überblick über die bisherigen speläologischen und karstkundlichen Bearbeitungen des Hochschwabs ist in Herrmann (2003) zu finden.

## DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

### Lage

Das im Norden der Steiermark gelegene Hochschwabmassiv (Untergruppe 1740) zählt zu den großen Karstplateaus der nördlichen Kalkhochalpen. Die Gesamtfläche des Massivs zwischen Präbichl (W), Salzatal (N), Seebergsattel (E) und kleineren Tälern zwischen Aflenz und Bruck/Mur im Süden beträgt 562 km<sup>2</sup>. Das eigent-

liche Karstplateau umfasst einen schmalen, rund 5 bis 10 km breiten Streifen, der von den Aflenzer Staritzen im Osten zum Kollmannstock im Westen 27 km misst. Das gestufte Plateau liegt zwischen 1400 m und 2277 m Seehöhe. Kleinere deutlich abgegrenzte Stöcke sind nördlich (Zeller Staritzen) und südlich (Karlalpe – Mitteralm) angegliedert. Das detailliert kartierte Areal umfasst im Wesentlichen den Plateauanteil des Einzugs-



Abb. 1: Ausdehnung des Kartierungsgebietes, Gebirgsgruppengrenzen und Lage der bedeutenden Höhlen (Hintergrund: schattiertes digitales Höhenmodell des Bundesamtes f. Eich- u. Vermessungswesen).

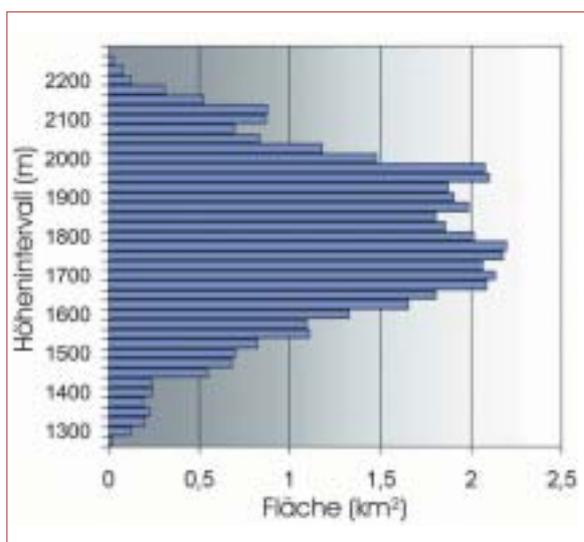


Abb. 2: Histogramm der Höhenverteilung im Untersuchungsgebiet (Daten: DHM des BEV).

gebietes der Kläfferquelle und erstreckt sich von der Graualm im Osten bis zum Schafhalsattel (zwischen Schaufelwand und Brandstein) im Westen. Die Grenze des 44,2 km<sup>2</sup> großen Untersuchungsgebietes ist der Abb. 1 zu entnehmen, die Höhenverteilung der Abb. 2.

Das Gebiet umfasst Teile folgender Teilgruppen des Österreichischen Höhlenverzeichnisses:

- 1743 – Brandstein: 0,96 km<sup>2</sup>
- 1744 – Hochschwab: 24,24 km<sup>2</sup>
- 1745 – Karlalpe: 3,22 km<sup>2</sup>
- 1746 – Aflenzer Staritzen: 15,57 km<sup>2</sup>

## Geologie

Der Hauptteil des Hochschwabmassivs gehört zu den Nördlichen Kalkalpen, nur randliche Teile im Osten und Süden sind bereits Teil der schwach metamorphen Serien der Grauwackenzone.

Die stratigraphischen und faziellen Verhältnisse sind in Abb. 3 (verändert nach Bryda, 2001) dargestellt: Das Untersuchungsgebiet liegt zur Gänze innerhalb der juvavischen Mürzalpendecke, wobei die Hauptmasse der Hochschwabeinheit (4) zuzurechnen ist. Sie wird aus einer einheitlichen Basis aus Werfener Schichten, Gutensteiner Kalk bzw. Dolomit und Steinalmkalk aufgebaut. Darüber liegt eine differenzierte Abfolge des Ladin und Unterkarn mit mächtigem lagunärem Wettersteinkalk und -dolomit, Wettersteinkalk in Vorriff- und Hangfazies, der sich nach Süden mit geringmächtigen allodapischen Kalken und Beckenkalken (Grafensteigkalk, bunte pelagische Kalke der Sonnschienenformation sowie Hornsteinflaserkalke) verzahnt. Aufgrund dieser unterschiedlichen Schichtfolgen wird das Gebiet in die Hochschwab-Nordabdachung (4a) mit der Karbonatplattform und die Hochschwab-Südflanke (4b) unterteilt. Decker (in Mandl et al., 2000) differenziert innerhalb der Hochschwabeinheit die störungsbegrenzte rhomboedrische Edelbodeneinheit (4c), die als konvergenter Blattverschiebungsduplex interpretiert wird. Diese Einheit umfasst allodapische Kalke und Dolomite der sogenannten „Sonderentwicklung“ sowie Wettersteindolomit.

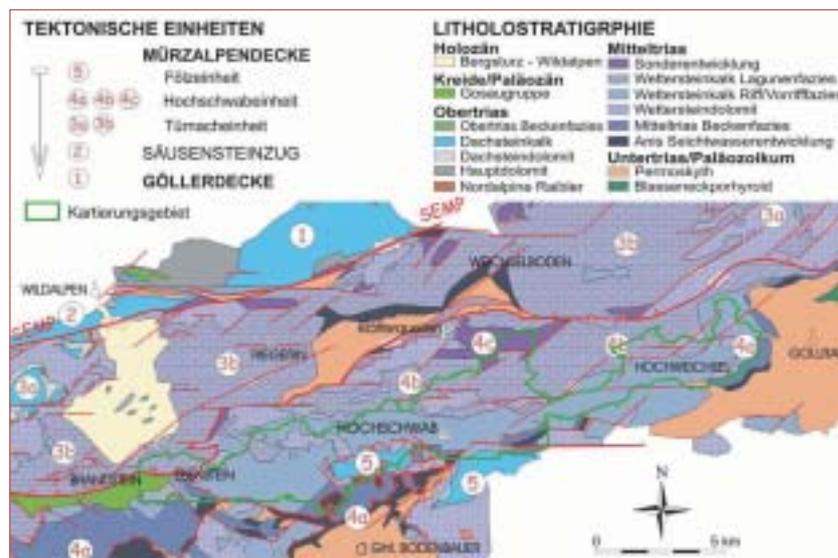


Abb. 3: Vereinfachte geologische Karte des Hochschwabs (verändert nach Bryda, 2001).

Die im Süden teilweise auf die Hochschwabeinheit aufgeschobene Fölzeinheit (5) weist neben einem Sockel aus Wettersteindolomit im Gegensatz zur Hochschwabeinheit auch eine Obertriasentwicklung mit Dachsteinkalk und Dachsteindolomit auf.

Nicht ins Untersuchungsgebiet fallen die nördlich gelegene Türnacheinheit (3) sowie die von einer der bedeutendsten alpinen linksseitigen Blattverschiebung, der Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberger-Linie (SEMP-Linie, Linzer et al., 1995), abgetrennte tirolische Göllecke (1) und der Säusensteinzug (2).

Genaue Beschreibungen der geologischen und tektonischen Verhältnisse finden sich in Mandl et al. (2000); Bryda (2001) sowie Decker (2000).

### Glaziale Überprägung

Wie auf anderen Plateaus der Nördlichen Kalkalpen sind auch am Hochschwab glazial wenig überprägte Altflächen in verschiedenen Höhenlagen erhalten (Abb. 4). Diese wurden von Frisch et



Abb. 4: Altflächen im Bereich der Aflenzner Staritzen. Blick vom Hochschwabgipfel Richtung Osten.

al. (2002) als „Dachstein-Altflächen“ definiert. In diese greifen Kare ein, die zum Teil von mehreren hundert Meter hohen Wänden umrahmt sind, und auch weniger eindeutig begrenzte, aber trotzdem glazial markant überprägte Gebiete. Markante Abbruchkanten wurden kartiert und sind in Abb. 5 dargestellt. Eine Gliederung der Flächensysteme der Altlandschaft nach Höhenlagen und den Versuch, diese zeitlich einzustufen, liefert Schappelwein (1966).

## METHODIK

### Datengrundlagen

Aufgrund der vielen Forschergruppen, die am Hochschwab tätig sind, waren die Unterlagen auf mehrere Institutionen verteilt. Folgende Quellen wurden verwendet:

- SPELDOK-Austria, Höhlenverzeichnis des Verbandes Österreichischer Höhlenforscher und der Karst- und höhlenkundlichen Abteilung am NHM-Wien
- Katasterarchiv des Landesvereins für Höhlenkunde in der Steiermark
- Katasterarchiv des Landesvereins für Höhlenkunde in Wien und NÖ
- Liste von R. Pavuza, die für die Arbeiten zur Karstgefährdungskarte östliche Kalkhochalpen (unpubl.) erstellt wurde
- Einzelne Pläne, Berichte und Messdaten von: H. Eichler, W. Mauerer und K. Zanger (alle Sektion Kapfenberg d. Lv. f. Hk.) sowie F. Darrer und H. Grillhofer (beide V. f. Hk. „Höhlenbären“)

Für die Geländekartierung und GIS-Bearbeitung standen im Rahmen des Projektes von den Wiener

Wasserwerken (MA 31) folgende georeferenzierte Daten zur Verfügung:

- Digitale Infrarot-Orthofotos des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) mit einer Auflösung von 25 cm. Diese Daten wurden ursprünglich für eine Vegetationskartierung verwendet, da sich das nahe Infrarot (nicht zu verwechseln mit dem thermischen IR) gut zur Unterscheidung von Vegetationstypen eignet.
- Digitales Gelände-Höhenmodell (DHM) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen (BEV) mit 20 m Auflösung. Aus diesem können im GIS Höhenschichtlinien, Hangneigung und Hangexposition, aber auch die Höhe von Objekten berechnet werden.
- Digitale geologische Karte im Maßstab 1:25 000 (Aufnahmemaßstab 1:10 000) der Geologischen Bundesanstalt (Bryda, 2002).

### Kartierung

Die karstmorphologische Kartierung durch den Autor erfolgte in den Jahren 2001-2003 jeweils im Sommer und Herbst in insgesamt rund 70 Gelän-

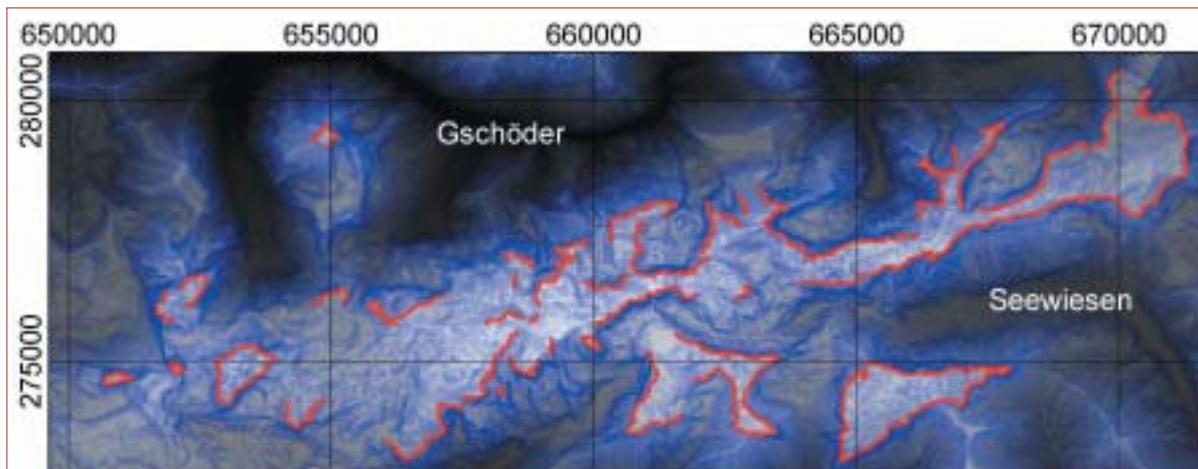


Abb. 5: Verbreitung glazial wenig überprägter Altflächen am Hochschwab-Plateau. Durch Kombination von Höhen- und Hangneigungswerten sind hochgelegene und ebene Flächen, die den Altflächen entsprechen, hell dargestellt, tiefergelegene sowie steile Flächen dunkel. Die roten Linien markieren markante Abbrüche der Hochfläche. In vielen Bereichen besteht ein fließender Übergang zwischen glazial stark überprägten Gebieten und den Altflächen (Hintergrund: DEM des BEV).

detagen, wobei tageweise von den verschiedenen Bergunterkünften aus das Gelände flächendeckend begangen wurde. Felswände und undurchdringbare Latschenfelder konnten nicht detailliert kartiert werden.

Für die Kartierung wurden Ausdrucke der Orthofotos im Maßstab 1:5000 mit BMN-Raster und 10-m-Höhenschichtlinien angefertigt. In diese Karten wurden Lage und Form der Karststrukturen und Höhlen eingezeichnet, sowie die jeweiligen Attribute vermerkt. In Gebieten mit sehr großer Höhlendichte kamen Karten in größerem Maßstab (bis 1:1000) zum Einsatz.

Folgende Oberflächenformen wurden bei der Kartierung berücksichtigt: Karsthohlformen (Dolinen, Poljen und polygenetische Karsthohlformen), Karstgassen, Trockentäler, Karrenfelder, Karstische, Störungen, tertiäre Lehm Böden, Moränen, Quellen, Karstgerinne, Ponore, Karsttumpel und Paläokarstaufschlüsse. Die Ergebnisse dieser Kartierung sind in Plan (2003c) veröffentlicht.

Bei den Höhlenobjekten wurde folgende Unterscheidung gemacht: Bereits im Kataster verzeichnete Höhlen wurden aufgrund von Beschreibungen und Skizzen aufgesucht und die exakte Lage festgehalten. Bei neu aufgefundenen Objekten wurden neben der Lage auch Anmerkungen und die Mindesterstreckung vermerkt. Die Tiefe der Schächte wurde aufgrund der Fallzeit von Steinen geschätzt. Horizontale Objekte wurden, soweit es mit Stirnlampe und ohne spezielle Höhlenausrüstung möglich ist, befahren. Die

Daten über diese 701 neuen, unerforschten Höhlen stehen für weitere Forschungen zur Verfügung und können beim Autor bezogen werden. Darüber hinaus wurden 827 Objekte mit weniger als 5 m Länge bzw. Tiefe erfasst, die als Horizontal-, Vertikalhöhlen oder Felsentore klassifiziert wurden. Wegen Unzugänglichkeit des Geländes, zum Teil aber auch aus Zeitmangel, wurden aufgrund der Luftbilder bzw. Sichtung mit dem Fernglas 342 weitere mögliche Objekte vermerkt. Die Seehöhe wurde automatisch mit dem DHM ermittelt, was in ebenem Gelände zu sehr genauen Werten führt, im steileren Gelände Fehler von  $\pm 10$  bis 20 m verursachen kann.

### Bearbeitung von Höhlen

Etliche der neu entdeckten Höhlen wurden entweder im Zuge der Kartierung – manche auch als Einmann-Aktion – oder bei eigenen Fahrten nach den in Österreich üblichen Standards vermessen und dokumentiert. Einige Objekte wurden aufgrund ihrer Nähe zu bearbeiteten Höhlen in den Kataster aufgenommen, obwohl eine Vermessung noch aussteht. Manche der schon früher in den Kataster aufgenommenen Objekte wurden erst- oder neuvermessen. Somit sind im Untersuchungsgebiet zur Zeit 247 Höhlen in den Kataster aufgenommen; 124 davon wurden vollständig oder teilweise vom Autor bearbeitet. Beschreibungen der im Zuge des Projektes erforschten und vermessenen Höhlen finden sich in Plan (2003a, 2003b u. 2004).

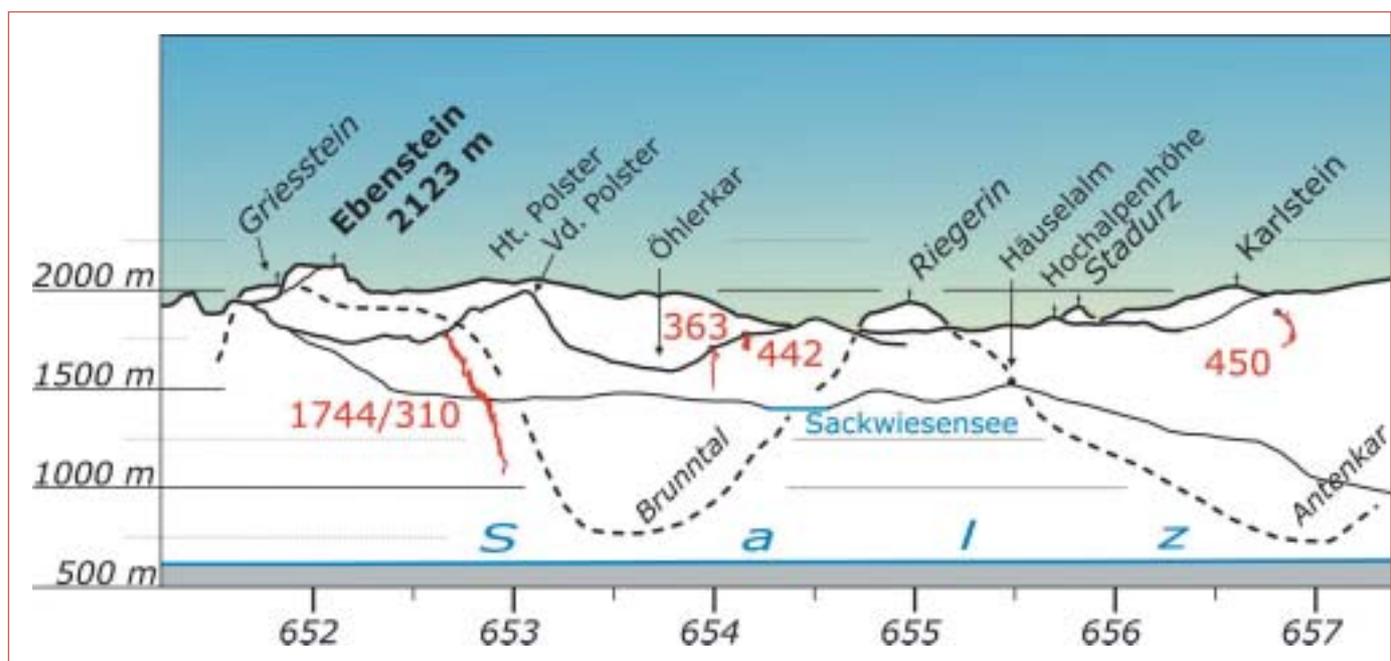


Abb. 6: West-Ost-Schnitt durch den Hochschwab mit Höhlenverläufen (Ortsnamen im Hintergrund sind kursiv; Horizontale Skala: BMN-Rechtswert in km).

## ÜBERBLICK ÜBER BEDEUTENDE HÖHLEN

Da die meisten der bedeutenden Objekte im Untersuchungsgebiet erst seit relativ kurzer Zeit bearbeitet sind und deswegen noch wenig publizierte Unterlagen existieren, soll im Folgenden

eine kurze Charakterisierung erfolgen. Einen Überblick über die Basisdaten gibt Tabelle 1, die Lage der Objekte zeigt Abb. 1, ein Profil mit den Höhlenverläufen Abb. 6.

Tab. 1: Basisdaten der bedeutendsten Höhlen des Untersuchungsgebiets.

Name	Kat.-Nr.	Typ	L	H	He	tS	Sh	Gestein
Hundsbodenschacht	1744/11	S	110	-95	26	45	2050	Dk
G'hacktsteinschacht	1744/14	S	180	-122	60	60	2180	Wk
Furtowischacht	1744/310	SW	1448	713	310	>90	1785	Wk
Sargdeckelschacht	1744/363	S	385	-209	44	120	1705	Wk
Tremmel-Schacht-413	1744/413	SE	162	-130	32	>130	1925	Wk
EBNK-Schacht	1744/426	S	200	-142	25	114	1700	Wk
Schrägschacht	1744/442	S	383	-81	69	25	1780	Wk
Hirschgrubenhöhle	1744/450	TSW	1116	172	153	60	1890	Dk/Wd
Melkbodeneishöhle	1745/1	SE	653	-540	?	451	1789	Wk
Eis-Schacht-39	1745/39	SE	150	-119	21	83	1863	Wk
Spaltenschacht	1745/43	S	531	-307	103	173	1840	Wk

**Typ:** nach Österr. Höhlenverzeichnis (Stummer & Plan, 2002)

**L:** Ganglänge

**H:** Höhenunterschied

**He:** horizontale Erstreckung

**tS:** tiefste Schachtstufe

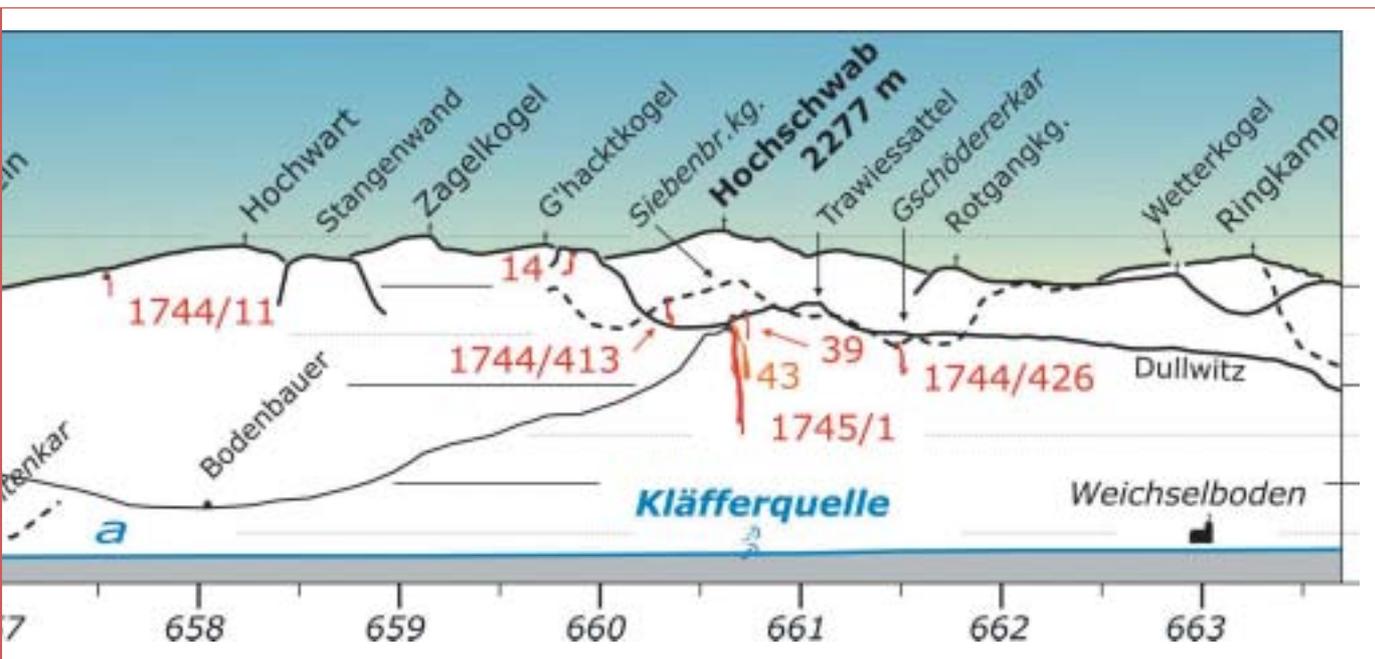
**Sh:** Seehöhe des Eingangs  
Angaben in Metern.

**Gesteine:**

Dk = Dachsteinkalk

Wk = Wettersteinkalk

Wd = Wettersteindolomit



#### Hundsbodenschacht (1744/11)

Vom schmalen Eingang, der sich in der Wand einer kleinen Doline befindet, bricht der Schacht in drei Stufen gegliedert ab, wobei die mittlere 45 m tief ist (Plan: Weißensteiner, 1966).

#### G'hacktsteinschacht (1744/14)

Mit Stufen bis zu 60 m Tiefe bricht der zum Teil 10 m durchmessende Schacht mit einem engen Durchstieg in den Möhlerdom ab, der 40 x 15 m misst (Weißensteiner, 1988). Eine zumindest wetterwegsamen Verbindung zur noch unerforschten Zaglkar-Eishöhle (1744/453) ist wahrscheinlich.

#### Furtowischacht (1744/310 a, b)

Über die tiefste Höhle des Hochschwabs finden sich Raumbeschreibungen sowie geologische und hydrologische Untersuchungen und weitere Literaturverweise in: Herrmann & Plan (2001 und 2003) sowie Plan (2002).

#### Sargdeckelschacht (1744/363)

Nach dem Eingangsschluf führen kleinere Stufen auf -25 m, wo ein abzweigender Parallelast auf -58 m unbefahrbar eng endet, während eher kleinräumige Stufen bis -83 m unter den Eingang führen. Hier gelangt man in den 120 m tiefen und

bis zu 7 m durchmessenden Seilmörderschacht, an dessen Grund eine Canyonfortsetzung nur mehr wenige Meter befahrbar ist (Plan: Darrer, 1990).

#### Tremmel-Schacht-413 (1744/413)

Vom 6 m durchmessenden Eingang bricht der Schacht ab und erweitert sich in 60 m Tiefe zu einer 8-10 m breiten und knapp 30 m langen Halle. Im August 2002 lag der Firm- und Eisboden in 75 m Tiefe, während in einer Randkluft bis -130 m abgestiegen werden konnte (Plan, 2003b). 70 m nördlich befindet sich der mindestens 80 m tiefe, noch unerforschte Tremmel-Schacht-415.

#### EBNK-Schacht (1744/426)

In einer kleinen Schachtdoline setzt ein gestufter Canyon an, der in eine kleine Halle leitet. Hier bricht ein 114 m tiefer Schacht (Don Gil) mit Querschnitten von bis zu 5 x 8 m ab (Abb. 7). Am schuttbedeckten Grund zieht ein stark bewetterter, unerforschter Canon aufwärts. In tropfwassergeschützten Bereichen befinden sich mächtige Sinterbildungen (Plan, 2004).

#### Schrägschacht (1744/442)

Von der schrägen phreatischen Eingangsröhre führt ein verzweigtes System zu mehreren bis 25 m tiefen Schachtabstiegen. Zumindest Teile der groß-



Abb. 7: 114-m-Stufe im EBNK-Schacht (1744/426). Forscher (Pfeil) in ~25 m Höhe über dem Schachtgrund.



Abb. 8: Phreatischer Gang mit Deckenkarren in der Hirschgrubenhöhle (1744/450).

teils an einer mit 70° gegen ESE einfallenden Störung angelegten Höhle sind unter phreatischen Bedingungen entstanden. (pers. comm. K. Zangger). Eine mögliche Verbindung mit dem unerforschten Öhl-Schacht-396 (1744/396), der an derselben Störung angelegt ist, wurde noch nicht überprüft.

#### Hirschgrubenhöhle (1744/450 a, b)

Eine Einsturzdoline vermittelt den Zugang zu einem rund 600 m langen bis auf kleine Abstiege horizontalen verzweigten Gangsystem. Elliptische Raumprofile, gegensinnige Gefälle, große Fließfacetten und Deckenkarren (Abb. 8) weisen eindeutig auf eine Entstehung unter phreatischen Bedingungen hin. Ein 80 m tiefer Schacht bricht in eine knapp 30 m durchmessende Halle ab. Eine hier abzweigende Fortsetzung entlang einer Störung ist erst ansatzweise erforscht. Die Höhle ist im oberen Teil im gebankten Dachsteinkalk der Fölzeinheit entwickelt und durchschlägt im 80-m-Schacht die tektonische Grenze zur unterlagernden Hochschwabeinheit. Sie weist bedeutende Sinterbildungen sowie Augensteinkonglomerate auf.

Die Höhle wurde bereits 1984 informativ befahren (Weißensteiner, 1985). Weitere Befahrungen erfolgten durch Grazer und Kapfenberger Höhlenforscher. Die Vermessung wurde im Nov. 2003 begonnen und ist noch nicht abgeschlossen (Plan, 2004).

#### Melkbodeneishöhle (1745/1)

Vom 25 m durchmessenden Einstiegstrichter folgt nach einer kurzen, bis vor einigen Jahren noch völlig zugeeisten Schrägstrecke ein 451 m tiefer Schachtabbruch mit an die 20 m Durchmesser, der auf einen Eisboden führt. In einer Randkluft konnte bis zum tiefsten Punkt abgestiegen werden (Plan nach R. Zenz in Kusch & Kusch, 1998).

#### Eis-Schacht-39 (1745/39)

In der Begrenzung eines über 10 m durchmessenden Schachts mit Eisverschluss leitet ein Schachtfenster in 20 m Tiefe in einen insgesamt 83 m tiefen kleinräumigen Schacht. Kleine störungsgebundene Schachtabbrüche führen zum tiefsten Punkt (pers. comm. V. Weißensteiner).

**Spaltenschacht (1745/43)**

Der Eingangsteil führt über Stufen in eine Halle. Ein störungsgebundener hoher Spalt leitet in mehreren Absätzen und Engstellen bis -135 m

Richtung NE. Hier setzt ein 173 m tiefer großräumiger Direktschacht an, der sich zu einer 30 m langen Halle mit Grobschuttboden erweitert (pers. comm. F. M. Darrer).

**ERGEBNISSE****Höhlenverbreitung**

Abb. 9 gibt einen Überblick über die Höhlenverbreitung im Untersuchungsgebiet. Aufgrund des Geländebefundes kann die Verteilung wie folgt charakterisiert werden: Die meisten Höhlen finden sich in Gebieten mit mäßiger bis starker glazialer Überprägung (Polsterkar, Seemauer – Hochalpen Höhe – Häuseltrog, Kellerbrunn, N G'hacktkogel, Eisgruben, S Wetterkogel). In manchen dieser Gebiete wie z.B. ESE des Öhlers (Abb. 10) oder N des Kellerbrunnens sind zwischen den einzelnen Schachtobjekten nur mehr schmale Grate vorhanden, sodass teilweise eine Begehung nicht mehr möglich ist. In einigen Karen (z.B. Öhlerkar, oberes Gschödererkar, Bs Schlagstatt) sind allerdings keine befahrbaren Höhlen vorhanden, da diese mit Moränenresten und glazialen Schutt oder Bergsturzmaterial verfüllt sind, wobei der Ausräumprozess im Gang ist, wie die zahlreich vorhandenen Subsidenzdolinen anzeigen (Abb. 11).

In den glazial wenig überprägten Altflächen findet sich eine weit geringere Anzahl von Höhlen. Diese sind teilweise in großen Dolinen, aber auch unauffällig in den meist grasbedeckten Hängen gelegen. Bei letzteren ist eine Häufung von tiefen Ein-

stiegsschächten (> 30 m) zu bemerken. Auffällig ist bei diesen Objekten oftmals auch die Nähe zu tertiären Lehm Böden. In manchen Bereichen der Altflächen (z.B. Karlstein, W und N Hochschwabgipfel N Ringkamp, N Karlhochkogel), gibt es sehr wenige oder keine Eingänge. Generell gibt es auf den Aflenzer Staritzen deutlich weniger Höhlen.

**Charakterisierung der Höhlen**

Wie in Abb. 12 zu sehen ist, sind 88 % der im Kataster erfassten und neuen Höhlen vorwiegend vertikal entwickelt. Fast alle diese Objekte sind in der vadosen Zone entstandene Schächte und schachtartige Canyons. Eine Ausnahme ist der Schrägschacht (1744/442), der zumindest teilweise unter phreatischen Bedingungen angelegt wurde. Darüber hinaus sind im Furtowischacht unbedeutende phreatische Röhren angefahren, was eventuell auf ihre schwierige Erforschbarkeit zurückzuführen ist.

Die als vorwiegend horizontal zu bezeichnenden Objekte sind flachere Canyons, Halbhöhlen und Höhlenruinen, die ebenfalls unter vadosen Bedingungen entstanden sind. Lediglich die oberen Teile der Hirschrubenhöhle, sowie drei kleinere

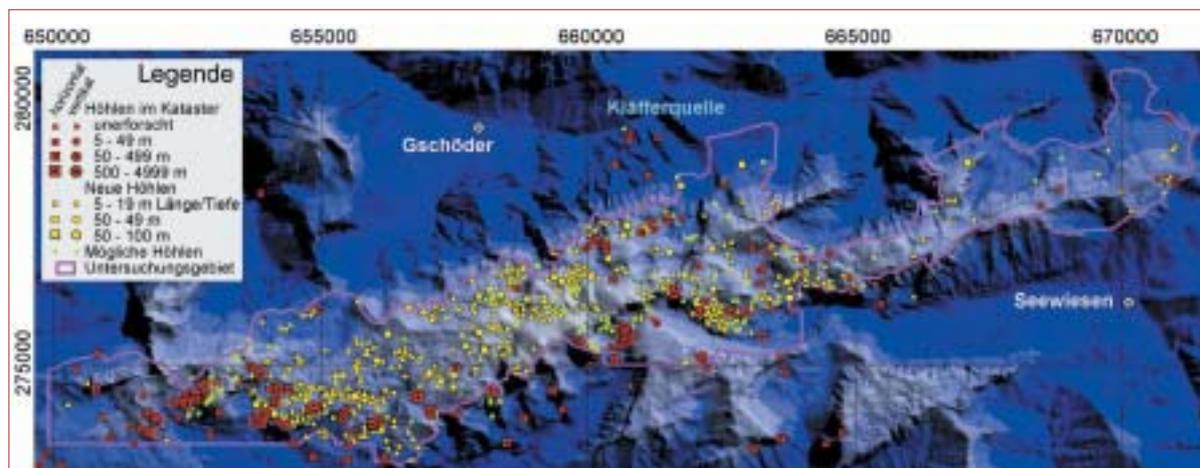


Abb. 9: Höhlenverbreitungskarte (Hintergrund: DHM des BEV).



Abb. 10: Extrem verkarstete Zone ESE des Öhlers. Zwischen den einzelnen Schächten existieren z.T. nur mehr schmale, brüchige Grate (Infrarot-Orthofoto des BEV in Falschfarbendarstellung).



Abb. 11: Subsidenzdolinen im Öhlerkar (Die markante Doline im linken Bildteil misst 50 m im Durchmesser).

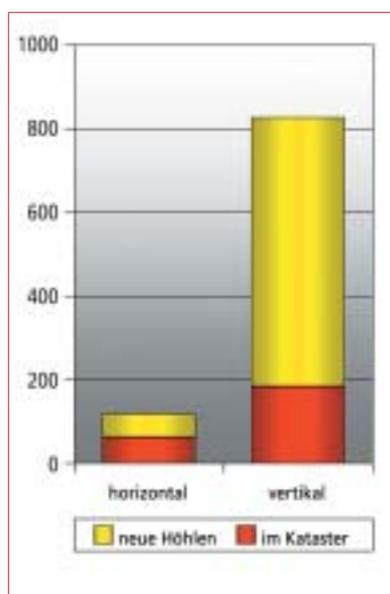


Abb. 12: Vergleich zwischen horizontalen und vertikalen Höhlen.

unbearbeitete Höhlen knapp nördlich dieser sind unter phreatischen Bedingungen gebildet worden. In einigen Höhlen sind kleine phreatische Teile angefahren (z.B.: Öhler-Eishöhle, 1744/395) und bei manchen kann eine phreatische Anlage vermutet werden (z.B.: Zagelkar-Eishöhle, 1744/453).

### Statistische Untersuchungen

Mit den vorliegenden Datensätzen können mit Hilfe eines GIS (ArcView inkl. Spatial- und 3D-Analyst) verschiedene quantitative Analysen durchgeführt werden. Dabei können allerdings nur die Höhleneingänge berücksichtigt werden, da aufgrund des noch recht geringen und inhomogenen Erforschungsgrades eine Verwendung der Längen- und Tiefenwerte nicht sinnvoll ist.

### Höhlendichte

Abb. 13 gibt die Verteilung der Höhlendichte im Untersuchungsgebiet wieder. Im Kataster geführte Höhlen (242) und neue Objekte (701) wurden mit dem Wert 1 gewichtet, mögliche Objekte (341) mit 0,33 (da in etwa nur jedes dritte fernerkundete Objekt katasterwürdig ist), womit sich eine Zahl von 1056,7 „Höhlen“ für die statistische Auswertung ergibt. Die durchschnittliche Höhlendichte im Untersuchungsgebiet beträgt 24,0 Objekte/km<sup>2</sup>. Die Verteilung der Höhlendichte wurde mit der Kernel-Methode (Worton, 1989) und einem Suchradius von 300 m errechnet (Abb. 13). Noch deutlicher als in Abb. 9 sind Zonen mit sehr hoher Höhlendichte (max. 422 Objekte/km<sup>2</sup>) bis hin zu Bereichen, wo es keine Höhleneingänge gibt, zu erkennen.

### Höhenabhängigkeit der Höhlenverteilung

In Abb. 14 ist die Anzahl der Höhlen (die Gewichtung erfolgte wie bei der Berechnung der Höhlendichte) je 25-m-Höhenintervall normiert auf die untersuchte Fläche in diesem Intervall dargestellt. Deutliche Maxima sind bei 1775 m, 1925 m und 2050 m Seehöhe zu erkennen. In den Höhenlagen unter 1675 m liegt die Höhlendichte deutlich unter dem Durchschnitt.

### Lithologieabhängigkeit der Höhlen

Durch Verschneiden der Höhlendaten mit der digitalen geologischen Karte und anschließenden händischen Korrekturen können Statistiken über die Gesteinsabhängigkeit der Höhlenverbreitung er-

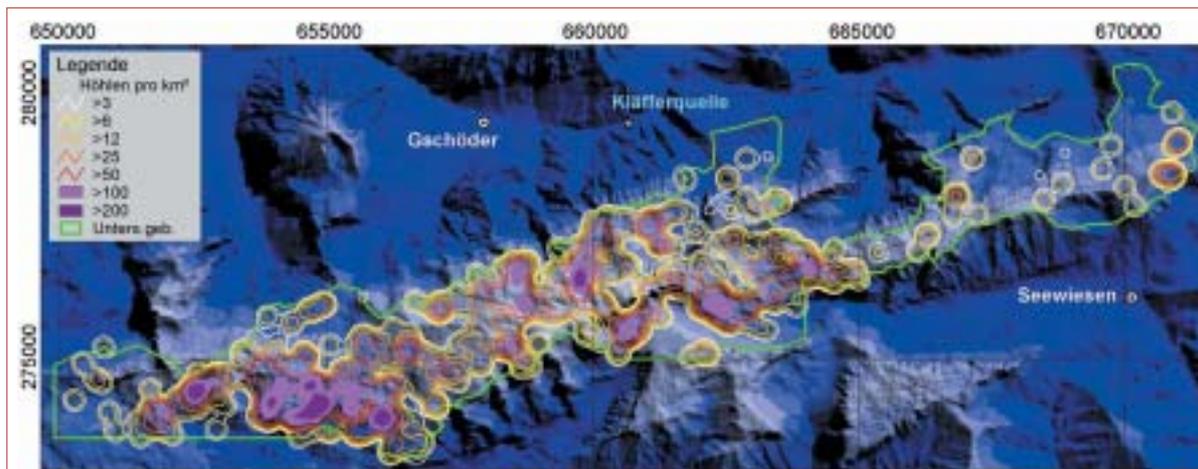


Abb. 13: Höhlendichte (Berechnung: Kernel-Methode, Radius 300 m; Hintergrund: DHM des BEV).

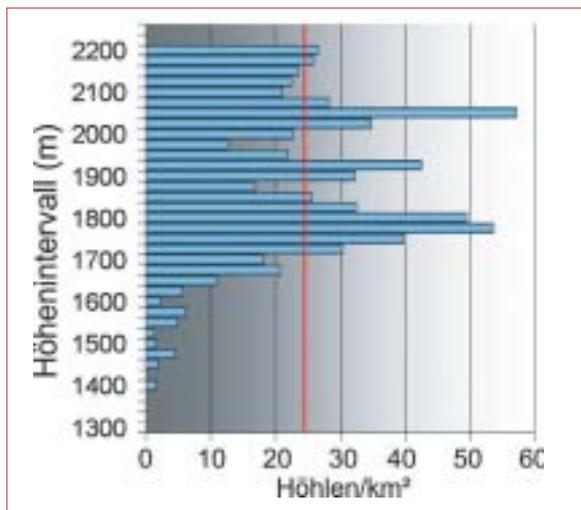


Abb. 14: Anzahl der Höhleneingänge in 25m-Höhenintervallen pro Fläche in diesem Intervall (Rote Linie markiert Durchschnitt).

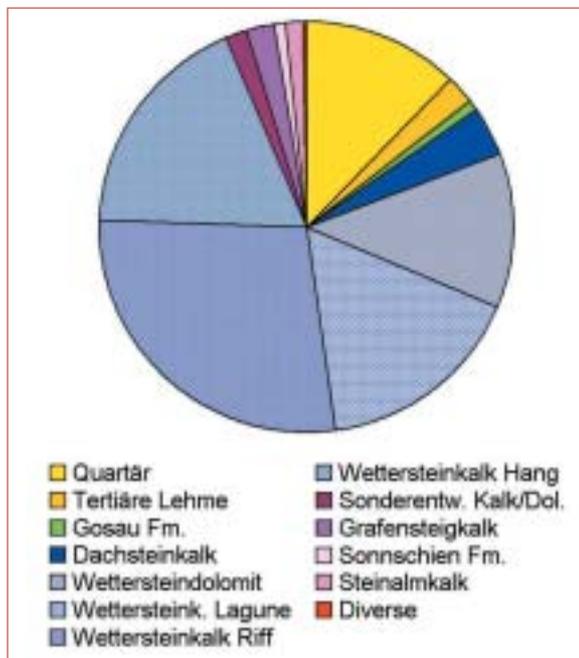


Abb. 15: Prozentuelle Verteilung der Lithologien im Untersuchungsgebiet.

stellt werden. Zum Teil wurden die kartierten lithologischen Einheiten gruppiert. Unter „Diverse“ wurden Lithologien, die im Untersuchungsgebiet nur kleine Flächen einnehmen und keine Höhlen enthalten, zusammengefasst (z.B. Werfener Formation, Gutensteiner Formation etc.). Die Verteilung der Lithologien im Untersuchungsgebiet ist in Abb. 15 wiedergegeben.

Obwohl aufgrund der automatischen Erhebung mit kleinen Fehlern zu rechnen ist (da Höhlen aufgrund des kleineren Maßstabs der geologischen Karte in benachbarten Einheiten zu liegen kommen), zeigt Abb. 16 einige signifikante Unterschiede in der Höhlendichte. Während Dachsteinkalk (Riff und lagunäre Fazies), Wetter-

steinkalk in Riff-Fazies, Grafensteigkalk, Kalke der Sonnschienformation und Steinalmkalk keine signifikanten Abweichungen von der durchschnittlichen Höhlendichte aufweisen, ist die Anzahl der Höhlen in Wettersteinkalken der Hang-Fazies mit 59 pro km<sup>2</sup> stark erhöht. Dafür weisen die Karbonate der Gosau-Formation, Wettersteindolomit und Wettersteinkalk in lagunärer Fazies geringere Höhlendichten auf. Keine Höhlen enthalten die unter „Diverse“ zusammengefassten Lithologien und die allodapischen Kalke und Dolomite der sog. „Sonderentwicklung“. Das im Gelände beobachtete Fehlen von Höhlen in quartären Sedimenten und tertiären Lehmen wurde bereits bei der manuellen Korrektur bereinigt.



Eine markante Abhängigkeit der Höhlendichte von der Seehöhe ist zu erkennen. Die beobachteten Verteilungsmuster mit drei deutlichen Maxima können derzeit nicht erklärt werden, da fast alle Höhlen vados entstanden sind und somit eine Bindung an ehemalige Vorfluterniveaus nicht verantwortlich sein kann. Die geringe Höhlendichte in den Höhenlagen zwischen 1300 und 1600 m ist eine Eigenheit des Kartierungsgebietes, da in diese Höhenlagen die Poljen nördlich und östlich der Sonnschianalm fallen, in denen nur eine Ponorhöhle befahrbar ist. Im Gegensatz dazu steht das systematisch bearbeitete Gebiet um die Bärensbodenalm SW des Untersuchungsgebietes, das in etwa zwischen 1550 und 1600 m Höhe liegt. In diesem wurden rund 170 Höhlen von Neunkirchner Höhlenforschern vermessen (z.B. Morgenbesser, 1999), wobei die Höhlendichte bis zu 235 Objekte/km<sup>2</sup> beträgt.

Das bereits vermutete Fehlen von ausgedehnten phreatischen Höhlenniveaus am Hochschwab (Plan, 2002: 51) kann aufgrund der großflächigen Kartierung bestätigt werden, wobei jetzt auch Areale, die aus Dachsteinkalk aufgebaut sind, erfasst wurden. Höhlenniveaus, wie sie für andere Karstplateaus der Nördlichen Kalkalpen (Totes Gebirge, Tennengebirge, Steinernes Meer, Untersberg etc.) charakteristisch sind, werden mit der Entwicklung des Vorfluters bzw. mit alpinen Hebungsphasen in Zusammenhang gesehen (u.a. Haseke-Knapczyk, 1989; Kuffner, 1998; Frisch et al., 2002). Der einzige ausgedehnte phreatische Höhlenteil im Untersuchungsgebiet ist der obere Teil der Hirschgrubenhöhle, in dem bis jetzt ~600 m vermessen wurden. Da dieser Höhlenteil an der Basis des Dachsteinkalkes knapp oberhalb schlecht bzw. nicht verkarstungsfähiger Gesteine (Wettersteindolomit, Leckkogelschichten) angelegt ist, kann er nicht als ein vorflutergebundenes Höhlenniveau interpretiert werden. Gleiches gilt für die ausgedehnten Riesenhöhlen im westlichen Hochschwab (Frauenmauer-Langstein-Höhlensystem, 1742/1, und Langsteineishöhle, 1744/1), die ebenfalls oberhalb der wasserstauenden

Werfener Schichten angelegt sind (Weißensteiner, 1980). Zwei Faktoren, die für das Fehlen der Höhlenniveaus verantwortlich sein könnten, wie die unterschiedliche Entwicklung des Vorfluters oder abweichende klimatische Bedingungen, können ausgeschlossen werden (Plan, 2002). Die Analyse der lithologieabhängigen Höhlendichte spricht gegen eine Erklärung der Unterschiede aufgrund der Dominanz des Wettersteinkalkes am Hochschwab im Vergleich zu den vorwiegend aus Dachsteinkalk aufgebauten Karstplateaus, in denen Höhlenniveaus entwickelt sind. In den aus Dachsteinkalk aufgebauten Gebieten am Hochschwab innerhalb der Fölzeinheit kann weder eine erhöhte Höhlendichte (Abb. 16) festgestellt werden, noch konnten ausgedehnte phreatische Höhlen gefunden werden, die nicht im Hangenden von relativen Wasserstauern entwickelt sind.

Als Erklärung wird somit eine unterschiedliche Hebungsgeschichte des Hochschwabs wahrscheinlich. Diese kann im Zusammenhang mit der Lage des Hochschwabs südlich der SEMP-Linie (Linzer et al., 1995), einem der bedeutendsten alpinen linksseitigen Blattverschiebungssysteme, stehen. Auch Veitsch, Schneealm, Rax und Schneeberg, ebenfalls Karstplateaus, in denen Höhlenniveaus fehlen, liegen südlich dieses Störungssystems. Aufgrund von palinspastischen Rekonstruktionen nimmt Frisch (2002) im Oligozän für das Hochschwabgebiet eine relative Lage südöstlich des Toten Gebirges an. Wenn auch die paläogeographische Lage, die relativ zu den höhlenreichen nördlich gelegenen Karstgebieten stark verändert war, keine Rolle spielen dürfte, so könnten generelle Unterschiede in der Hebungsgeschichte für das Fehlen von Höhlenniveaus südlich der SEMP-Linie ausschlaggebend sein. Während das von Frisch (2002) ins frühe Oligozän gestellte Ruinenhöhlenniveau und das miozäne Riesenhöhlenniveau am Hochschwab fehlen, ist zumindest das jüngste plio- und pleistozäne Quellhöhlenniveau im Hochschwab ansatzweise entwickelt (z.B. Schwarze Lacke, 1741/6, und Feistringgrabenhöhle, 1745/7).

## SCHLUSSFOLGERUNG

Die erforschten Höhlen und Beobachtungen an Höhleneingängen zeigen, dass störungsgebundene, unter vadosen Bedingungen entstandene

Schächte und Canyons dominieren. Schichtgebundene Höhlen bzw. Höhlenteile sind nur vereinzelt zu finden. Bei den erforschten Schacht-

objekten kann festgestellt werden, dass sie ungewöhnlich viele tiefe Direktschächte aufweisen. Immerhin 5 der 11 Objekte bergen Schachtstufen mit mehr als 100 m Tiefe. Der 451-m-Abstieg der Melkbodeneishöhle ist einer der tiefsten in Österreich. Die Befahrbarkeit der Schächte endet allerdings durch Firn, Blockwerk oder Engstellen noch sehr weit vor Erreichen der phreatischen Zone. Eine Ausnahme ist der Furtowischacht (-712 m) mit einer weiter in die Tiefe führenden unerforschten Fortsetzung, der beweist, dass in den zentralen Teilen des Hochschwabs die vadose Zone über 1000 m mächtig ist. Die Karstwasseroberfläche konnte bisher in keiner Höhle des Plateaus erreicht werden.

Im Gegensatz zu den meisten anderen Karstplateaus der Nördlichen Kalkalpen fehlen am Hochschwab an den Vorfluter gebundene phreatische Höhlenniveaus. Dies könnte mit einer abweichenden Hebungsgeschichte der Kalkalpen südlich der SEMP-Linie in Verbindung stehen. Alle beobachteten phreatischen Höhlenteile sind im Hangenden von relativen Karstwasserstauern entwickelt oder nur von geringer Ausdehnung.

Statistisch ausgewertet wurden Daten von 1284 erforschten, unerforschten oder fernerkundeten Höhlenobjekten was für das Untersuchungsgebiet eine Höhlendichte von 24,0 Objekte/km<sup>2</sup> ergibt. Sie steigt in manchen Gebieten bis auf über 400 Höhlen pro km<sup>2</sup> an, während einige Gebiete keine oder nur wenige Höhlen aufweisen. Große Höhlendichten sind an Kare und Tröge mit verstärkter Gletschererosion gebunden, während die Altflächen wenige bis keine Höhlen aufweisen.

Weiters zeigt die Höhlendichte eine Abhängigkeit von der Höhenlage. Während zwischen 1300 und 1650 m nur wenige Objekte pro km<sup>2</sup> ausgebildet sind, was aber als Besonderheit des Untersuchungsgebiets zu interpretieren ist,

werden bei 1775 m, 1925 m und 2050 m Seehöhe Maxima von mehr als dem Doppelten der durchschnittlichen Dichte erreicht. Eine Erklärung dafür kann zur Zeit nicht gegeben werden.

Die Lithologieabhängigkeit zeigt, dass der Dachsteinkalk keine überdurchschnittlich hohe Höhlendichte aufweist. Unterschiede zwischen den Faziesbereichen im Wettersteinkalk mit extrem hohen Werten für die Hang-Fazies, durchschnittlichen für die Riff-Fazies und geringeren für die Lagunen-Fazies bedürfen weiterer Untersuchungen. Die geringere Höhlendichte im Wettersteindolomit und den Karbonaten der Gosauabfolge entspricht den zu erwartenden Werten.

Neben den vorgestellten Ergebnissen zeigen die Untersuchungen, dass Geographische Informationssysteme (GIS) für die Karstforschung sehr wertvolle Hilfsmittel sind und statistische Untersuchungen sowie die Darstellung raumbezogener Höhlendaten wesentlich erleichtern. Als Grundlagen sollten allerdings systematische und nach gleichbleibenden Standards erhobene Daten verwendet werden.

Für Höhlenforscher steht durch die flächendeckende Oberflächenkartierung eine 700 Objekte umfassende Liste mit Daten über unerforschte Höhlen zur Verfügung, die als Basis für die Bearbeitung dienen kann. Für die praktische Höhlenforschung hat die Aufnahme gezeigt, dass in kleineren Gebieten, die bereits als flächendeckend erforscht galten (Polsterkar, Seestein, Allaloch, Baumstall, Melkboden) jeweils mit Hilfe der Orthofotos weitere Eingänge lokalisiert werden konnten. Somit ist die Verwendung solcher Hilfsmittel dringend anzuraten, wenn eine flächendeckende systematische Erforschung angestrebt wird.

## DANK

- Finanzierung: Wiener Wasserwerke (MA 31), namentlich Gerhard Kuschnig als Projektleiter.
- Unterstützung bei der Erforschung von Höhlen und im Gelände: Michael Behm, Robert Fröhlich, Andreas Glitzner, Wilhelm und Helga Hartmann, Eckart Herrmann, Monika Hölzel, Alexander Klampfer und Stephan Oswald.
- Zur Verfügung-Stellung von Höhlendaten: Franz M. Darrer, Heinrich Grillhofer, Helmuth Eichler, Werner Maurer, Volker Weißensteiner und Klaus Zanger
- Beherbergung: Sigrid und Wolfgang (Sonn-schienalm), Karl (Sackweisenalm), Anni und Bernd (Häuselalm), Steffi, Christian und Benedikt (Schiestlhaus), Mini und Toni (Graualm) sowie Klaus und Eva (Wildalpen).
- Begutachtung des Manuskripts: Max H. Fink, Rudolf Pavuza und Kurt Decker.

**LITERATUR**

- Bryda, G. (2001): Geologische Kartierung im Hochschwabgebiet - Entscheidungshilfe zur Abgrenzung von Quelleinzugsgebieten. In: Mandl, G.W., Geologische Bundesanstalt Arbeitstagung 2001.: 220-231, Wien (Geol. B.-A.).
- Bryda, G. (2002): Geologische Karte des Hochschwabgebietes, 1:25000. - Unveröffentl. Arbeitsexemplar. Wien (Geol. B.-A.).
- Doerflinger, N. & Zwahlen, F. (1998): Praxishilfe: Kartierung der Vulnerabilität in Karstgebieten (Methode EPIK). - Bern (BUWAL).
- Decker, K. (2000): Tektonik/Strukturgeologische Grundlagen. In: Mandl, et al., Karstwasserdynamik und Karstwasserschutz Hochschwab - Geologische Karte. Folgeprojekt Hochschwab West & Süd WA4A / F 1998 & StA028n. - Unveröffentl. Endbericht.: 49-74, Wien (Geol. B.-A.).
- Frisch, W., Kuhleemann, J., Dunkl, I., Székely, B., Venemann, T. & Rettenbacher, A. (2002): Dachstein-Altfläche, Augenstein-Formation und Höhlenentwicklung - die Geschichte der letzten 35 Millionen Jahre in den zentralen Nördlichen Kalkalpen. - Die Höhle, 53 (1): 1-36.
- Morgenbesser, W. (1999): Das Forschungsjahr 1999 auf der Bärnsbodenalm. - Mitt. des LV f. Hk. i. d. Steiermark, 28 (1-4): 19-23.
- Haseke-Knapczyk, H. (1989): Der Untersberg bei Salzburg. Die ober- und unterirdische Karstentwicklung und ihre Zusammenhänge. Ein Beitrag zur Trinkwasserforschung. - Veröff. d. Österr. MaB-Programms, 15, Innsbruck.
- Herrmann, E. & Plan, L. (2001): Der Furtowischacht (Kat. Nr. 1744/310) - nunmehr tiefste Höhle des Hochschwabmassivs (Steiermark). - Die Höhle, 52 (4): 102-103.
- Herrmann, E. (2003): Das Hochschwabmassiv (Steiermark) - ein neues Zentrum wissenschaftlich orientierter Höhlenforschung in Österreich. - Die Höhle, 54(1): 1-9.
- Herrmann, E. & Plan, L. (2003): Forschungen des Jahres 2002 im Furtowischacht und Polsterkar, westliches Hochschwabgebiet, Stmk. - Höhlenkundl. Mitt. des LV f. Hk. Wien und NÖ, 59 (2): 37-40.
- Kuffner, D. (1998): Höhlenniveaus und Altflächen im Westlichen Toten Gebirge. - Wiss. Beiheft z. Z. „Die Höhle“, 53, Wien (Verband Österr. Höhlenforscher).
- Kusch, H. & Kusch, I. (1998): Höhlen der Steiermark. Graz, (Steirische Verlagsgesellschaft).
- Kuschnig, G. (2001): Das Karstforschungsprogramm der Wiener Wasserwerke. In: Mandl, G.W., Geologische Bundesanstalt Arbeitstagung 2001.: 213-219, Wien (Geol. B.-A.).
- Kuschnig, G. (2003): KATER II Projekt Web Portal. www.kater.at, abgerufen 2.2004.
- Linzer, H.G., Ratschbacher, L. & Frisch, W. (1995): Transpressional Collision Structures in the upper Crust: the fold-thrust belt of the Northern Calcareous Alps. Tectonophysics, 242: 41-61.
- Mandl, G.W., Bryda, G., Kreuss, O., Decker, K., Draxler, I., Krystin, L., Piros, O. & Reiter, F. (2000): Karstwasserdynamik und Karstwasserschutz Hochschwab - Geologische Karte. Folgeprojekt Hochschwab West & Süd WA4A / F 1998 & StA028n. - Unveröffentl. Endbericht, Wien (Geol. B.-A.).
- Plan, L. (2002): Speläologisch-tektonische Charakterisierung der Karstwasserdynamik im Einzugsgebiet der bedeutendsten Quelle der Ostalpen (Kläfferquelle, Hochschwab). - Speldok 11, Wien. (Verband Österr. Höhlenforscher).
- Plan, L. (2003a): Hochschwab (1744) und Aflenzer Staritzen (1746) - Beschreibung der Höhlen, die in den Jahren 2000 und 2001 bearbeitet wurden. - Höhlenkundl. Mitt. des LV f. Hk. Wien und NÖ, 59 (2): 16-31.
- Plan, L. (2003b): Neuentdeckte Höhlen in der Hochschwabgruppe (1740) im Jahr 2002. - Höhlenkundl. Mitt. des LV f. Hk. Wien und NÖ, 59 (2): 31-36.
- Plan, L. (2003c): Tektonisch-karstmorphologische Kartierungen als Grundlage für den Karstwasserschutz im Bereich des Hochschwab-Plateaus. - Unveröff. Endbericht an die MA31, Wien (Inst. f. Geologische Wissenschaften).
- Plan, L. (eingereicht 2003): Factors controlling carbonate dissolution rates quantified in a field test in the Austrian Alps. - Geomorphology.
- Plan, L. (2004): Im Jahr 2003 bearbeitete Höhlen in der Hochschwabgruppe (1740). - Höhlenkundl. Mitt. des LV f. Hk. Wien und NÖ, 60 (5): 52-56.
- Stummer, G. & Plan, L. (2002): Speldok-Austria - Handbuch zum Österreichischen Höhlenverzeichnis. - Speldok 10, Wien. (Verband Österr. Höhlenforscher).
- Schappelwein, K. (1966): Geomorphologische Untersuchungen in den nordöstlichen Steirischen Kalkalpen (Östl. Hochschwab, Zeller Staritzen, Veitschalpe). Geogr. Jahresber. a. Österr., 31: 95-131.
- The Karst Task Force (2001): Karst Inventory Standards and Vulnerability Assessment Procedures for British Columbia. British Columbia (Resources Inventory Committee).
- Weissensteiner, V. (1988): Der G'Hacksteinschacht. - Mitt. des Landesverein für Höhlenkunde in der Steiermark, 17 (1-4): 29-30.
- Worton, B. J. (1989): Kernel methods for estimating the utilisation distribution in home range studies. - Ecology, 70(1): 164 - 168.