© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

Genese der Hermannshöhle (Kirchberg/Wechsel, NÖ)

ZUSAMMENFASSUNG

Mit knapp 5 km bekannter Ganglänge ist das Hermannshöhlensystem (HHS) bei Kirchberg am Wechsel (NÖ) die längste Höhle des Unterostalpins. Dieses in schwach metamorphen Mitteltriassischen Kalkmarmoren ausgebildete Kontaktkarstsystem besteht aus vier genetisch zusammenhängenden Höhlen, von denen die Hermannshöhle (2871/7) mit 4,4 km die längste ist. Auf einer Grundfläche von nur 200 x 200 m bei 82 m Höhenunterschied ordnen sich seine Gänge als dichtes, dreidimensional labyrinthisches Netzwerk an. Der Grund für diese komplexe Anordnung sowie die Prozesse, die während ihrer Entstehung wirkten, wurden bisher nicht befriedigend erklärt.

Diese Studie gibt Aufschluss über die Genese der Höhle und die Prozesse, die den einmaligen labyrinthischen Charakter der Höhle formten. Dazu wurden Detailkartierungen der Grenze zwischen verkarstungsfähigem und nicht-verkarstungsfähigem Gestein sowie morphologischer Groß- und Kleinformen innerhalb des Höhlensystems durchgeführt. Strukturelle Elemente wurden eingemessen und dokumentiert. Höhlensedimente wurden auf ihre Korngrößenverteilung untersucht. Es wurden die Alter von 27 Speläothemen mit der ^{230}Th/U-Methode absolut bestimmt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die labyrinthische Anlage der Höhle insbesondere auf die intensive Sedimentverfüllung zurückzuführen ist. Infolge pulsartigen Eintrags klastischer Sedimente konnte sich ein System paragenetischer Canyons ausbilden. Durch wiederholte Verlegung bevorzugter Fließwege kam es zur Erweiterung paralleler Gänge. Kurze Fließwege innerhalb des Höhlensystems und hohe Durchflussmengen entlang vieler verschiedener Wege führten zur gleichmäßigen Erweiterung konkurrierender Gänge, und die Präsenz des Sediments selbst verstärkt ebenfalls den labyrinthischen Charakter. Reste früherer Sedimentverfüllungen konnten im kompletten Höhlensystem nachgewiesen und ihre Ablagerungsbedingungen nachvollzogen werden. Paragenese ist das vorherrschende morphologische Merkmal in einer Vielzahl unterschiedlicher Formen und Ausprägungen. Fließfacetten zeigen eine westwärts gerichtete Paläo-Entwässerung des Karstsystems mit Fließgeschwindigkeiten bis zu 1,5 m/s. Alle Höhlenformen können durch epigene phreatische Bildung erklärt werden. Phasen vadoser Speläogenese konnten im Gegensatz zu früheren Publikationen nicht nachgewiesen werden. Es wurden keine Hinweise für eine hypogene Speläogenese gefunden.

Die Datierungen zeigen, dass Teile des HHS in mittlerer Höhe bereits vor mehr als 500 ka und auch Höhlenteile, die heute auf oder knapp unter dem Niveau des nahe gelegenen Ramsbaches liegen, bereits vor über 125 ka erstmals trocken gefallen sind. Strukturgeologische Aufnahmen weisen eine NNW-SSE-gerichtete Kompression und eine spätere NE-SW-orientierte Kompression nach. Hinweise auf einen Zusammenhang mit der nahe gelegenen sinistralen Mur-Mürz-Störung konnten weder im HHS noch in der Umgebung gefunden werden.

ABSTRACT

Genesis of the Hermannshöhle (Kirchberg/Wechsel, Lower Austria)

The approximately 5 km-long Hermannshöhlen cave system (HHS, Kirchberg/Wechsel, Lower Austria) is the biggest in the Lower Austro Alpine Unit. This contact karst system is well developed in weakly metamorphic Middle Triassic marbles. It

Andrea Schober
Inst. für Geodynamik und Sedimentologie, Univ. Wien, Althanstraße 14, 1090 Wien
andreaschober@gmx.at

Lukas Plan
Karst- und Höhlenarbeitsgruppe
Naturhistorisches Museum Wien
Museumsplatz 1, 1070 Wien
lukas.plan@nhm-wien.ac.at

Denis Scholz
Institut für Geowissenschaften,
Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
J.-J.-Becher-Weg 21, 55128 Mainz
Deutschland
scholzd@uni-mainz.de

Eingelangt: 27.5.2014
Angenommen: 7.8.2014

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

consists of four genetically related caves of which the Hermannshöhle is the longest with a total of 4.4 km of corridors. On a ground area of only 200 x 200 m and an elevation difference of 82 m, its corridors are arranged as a three-dimensional maze. The reasons for this complex arrangement and the driving mechanisms of the evolution of the Hermannshöhle still have not been explained well. This study focuses on the genesis of this cave using detailed mapping of the border of karstic and non-karstic rocks as well as of morphologic features within the cave system. Structural elements were measured and documented. Cave sediments were investigated regarding grain size distribution. 27 speleothem samples were dated using the ^{230}Th/U-method.

The results show that the extensive sediment fills lead to the formation of the extreme maze character. Following pulses of clastic sediment input a distinct system of paragenetic canyons developed. Due to repeated clogging of preferred water paths, parallel corridors could be enlarged and also the sheer presence of the sediment enhances the impression of a labyrinth. Short flow paths within the cave system and high discharge along many alternative routes lead to the equal widening of concurring corridors. Remains of the extensive sediment fills are found throughout the entire cave system, giving insight to the circumstances of their deposition.

Paragenesis is the primary morphologic feature, dominating almost the entire cave in various forms. Scallops indicate a westward flow direction of the karst water at the time of the cave formation with flow velocities of up to 1.5 m/s. All cave features can be explained by epigenic phreatic processes. In contrast to former investigations, phases of vadose speleogenesis could not be confirmed. No proof for a hypogean speleogenesis was found.

The data obtained show that the mid altitude parts of the HHS were dry 500 ka ago and that parts that are nowadays located at the level of or slightly beneath the nearby Rams brook were dry since at least 125 ka ago.

Structural features indicate a NNW–SSE compression and a later phase of NE–SW compression. No evidence was found for a link with the nearby sinistral Mur-Mürz-fault, neither within the HHS nor in the surrounding area.

EINLEITUNG

Die Hermannshöhle im Eulenberg bei Kirchberg am Wechsel (2871/7) ist mit 4,4 km die längste Höhle im Unterostalpin (Pfarr et al., 2014) und daher geologisch von besonderer Bedeutung. Aufgrund ihrer üppigen Sinterbildungen ist sie als Schauhöhle ausgebaut und wird vom Hermannshöhlen-Forschungs- und Erhaltungsverein betrieben.

Im Eulenberg sind in unmittelbarer Nähe drei weitere befahrbare Höhlen entwickelt: Die Antonshöhle (2871/2), die Mäanderhöhle (2871/14) und die Rauchspalten (2871/34). Es kann davon ausgegangen werden, dass alle vier Höhlen eine genetische Einheit bilden (Hartmann et al., 1997). Daher werden sie in weiterer Folge als Hermannshöhlensystem (HHS) bezeichnet. Dieses dichte, netzwerkartige Gangsystem mit einer Gesamtlänge von knapp 5 km ordnet sich dreidimensional auf einer Fläche von nur 200 x 200 m mit 82 m Höhenunterschied an.

Umfassende Studien zur Erforschungsgeschichte, Biologie, Meteorologie und Geologie der Hermannshöhle wurden in einer Monographie von Hartmann et al. (1997) zusammengefasst. Diese enthält eine detaillierte morphologische Beschreibung des HHS (Hartmann & Hartmann, 1997; Hochschorner, 1997), Ideen zu seiner Speläogenese (Mrkos, 1997), einen geologisch-sedimentologischen (Seemann, 1997) und hydrologisch-tektonischen Überblick (Pavuza, 1997) des Höhlensystems und seiner Umgebung sowie Versuche, die Höhlensinter zu datieren (Seemann et al., 1997). Auch frühere Autoren lieferten bereits mögliche Erklärungen zur Speläogenese des HHS (Waldner, 1942; Kempe & Mrkos, 1991; Mrkos, 1997). Die treibenden Mechanismen, die zur Ausbildung der heutigen Raumformen führten, konnten jedoch nicht befriedigend aufgeklärt werden. Darüber hinaus ist die Genese von Höhlen mit einem derart labyrinthischen Charakter generell schwierig zu interpretieren (Palmer, 1975, 2011; Audra & Palmer, 2011).

Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag darin, die Morphologie und die Sedimente des HHS zu untersuchen und sie unter Berücksichtigung moderner speläogenetischer Konzepte (z.B.: Klimchouk et al., 2000; Ford & Williams, 2007; Palmer, 2007) zu interpretieren, um Aussagen über seine Genese zu treffen. Besonderes Augenmerk lag dabei darauf, die Ursache für die ausgeprägte labyrinthische Struktur und die oftmals auftretenden canyonartigen Gänge zu verstehen. Zur zeitlichen Eingrenzung der Höhlenentstehung wurden Altersdatierungen an Speläothemen mittels der ^{230}Th/U-Methode durchgeführt, wobei hier nur ein erster Überblick gegeben wird. Details zu den Ergebnissen und der Methodik sollen gesondert publiziert werden.

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter www.zobodat.at

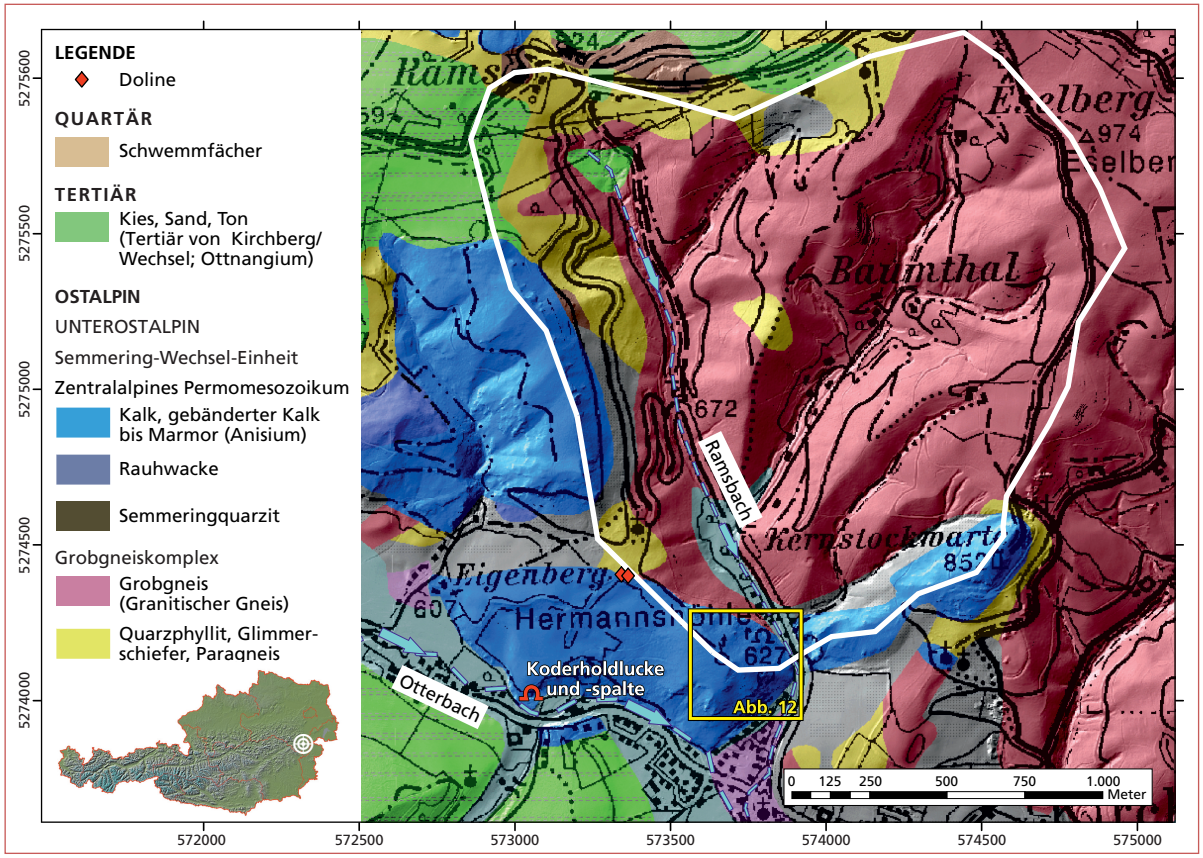

Abb. 1: Geologische Detailansicht des Untersuchungsgebietes (Koordinatensystem: UTM 33N). Das weiße Polygon markiert das heutige Einzugsgebiet des Ramsbaches oberhalb des HHS. Der gelbe Rahmen zeigt den Ausschnitt von Abb. 12. Geologie verändert nach Herrmann et al. (1992) unter Verwendung des Laserscans des Landes Niederösterreich (NÖ Atlas, 2013).
Fig. 1: Detailed geological map of the investigated area (coordinate system: UTM 33N). The white polygon indicates the modern catchment area of the Rams brook above the HHS. The yellow frame marks the map shown in Fig. 12. Geology modified after Herrmann et al. (1992) using the laser scan of the Land Niederösterreich (NÖ Atlas, 2013).

DAS UNTERSUCHUNGSGEBIET

Lage und Geographie

Das HHS liegt im Eulenberg (auch Eigenberg genannt) nahe der Ortschaft Kirchberg am Wechsel im Süden von Niederösterreich. Die UTM-Koordinaten (Zone 33) des Haupteinganges sind 573.802 Ost und 5.274.220 Nord, die Seehöhe beträgt 627 m.

Der Eulenberg liegt an der Nordseite eines breiten Talbodens, in dem der Otterbach (sein unterer Abschnitt nach Kirchberg wird Feistritz(bach) genannt) mit flachem Gefälle zwischen 1,6 % und 1,9 % nach Osten entwässert. Im Osten wird der Eulenberg vom Ramsbach begrenzt, der, von mehreren kleinen Quellen und zum Teil schüttungsmäßig bedeutenderen Zubringern gespeist, mit einem hohen Gradienten in den Otterbach mündet. Aufgrund seiner Steilheit von etwa 8,5 % ist der Ramsbach, dessen Einzugsgebiet rund 3 km² misst (Abb. 1), als stark erosiv einzustufen.

Geologie

Der Eulenberg wird von schwach metamorphen mitteltriassischen Karbonaten aufgebaut, die Teil des Semmering-Wechsel-Systems sind. Dieses komplex aufgebaute tektonische Deckensystem wird traditionell zum Unterostalpin gezählt (Herrmann et al., 1992; Seemann, 1997; Götzinger & Wagreich, 2006). Es setzt sich zusammen aus der tektonisch höheren Semmering-Einheit, die von permo-mesozoischen Sedimenten über einer Serie grobkörniger präpermischer Gneise aufgebaut wird, und der Wechsel-Einheit, die den tektonisch tiefsten Teil des Ostalpins ausmacht. Letztere ist nur in tektonischen Fenstern aufgeschlossen. Am Nordrand des größten dieser Fenster, des Wechselfensters, entwickelte sich im Neogen das Kirchberger Becken (Ebner et al., 1991). Dieses tektonische Becken wurde während der letzten Phase der alpinen Orogenese im Zuge der lateralen

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

Extrusion gebildet (Ebner et al., 1991). Seine Füllung umfasst über 1300 m syntektonische Sedimente, dominiert von Blockschottern und Konglomeraten, in die geringmächtige Lagen von Feinklastika eingeschaltet sind. Diese Sedimente werden hochenergetischen fluviatilen Systemen zugeordnet, die mit Schwemmfächern des Beckenrandes verzahnen (Ebner et al., 1991). Sie sind westlich des Untersuchungsgebietes aufgeschlossen.

Die Karbonate des Eulenberges bestehen aus foliiertem, schwach metamorphem Kalkmarmor (untere Grünschieferfazies; Faupl, 1970). Sie sind überwiegend weiß oder grau bis blau-grau, gebändert und zumeist feinkristallin und bestehen hauptsächlich aus reinem Kalkmarmor; selten konnten 5–10 % Dolomitanteil nachgewiesen werden (Seemann, 1997). Die Marmore sind anisischen Alters (Tollmann, 1959; Herrmann et al., 1992). Im Norden werden sie vom tektonisch tiefer liegenden paläozoischen Gneis-und-Schiefer-Komplex begrenzt, während sie im Süden von quartären Talfüllungen bedeckt werden (Abb. 1).

Früheren Kartierungen zufolge zählt das Kirchberger Becken zu einer Reihe kleinerer und größerer, im Miozän geformter *Pull-Apart*-Becken. Es wurde im Zuge eines mehrphasigen Horizontalversatzes gebildet. Der nordöstliche Randbruch dieses Beckens streicht NW-SO mit dextralem (rechtsseitigem) Schersinn und zieht genau durch die Hermannshöhle (Müller, 1994; Pavuza, 1997).

CHARAKTERISIERUNG DER HÖHLE

Gesamtanlage

Die Hermannshöhle stellt in vielerlei Hinsicht eine Besonderheit dar. Sie ist mit Abstand die größte Höhle im Unterostalpin und hebt sich durch ihre Morphologie deutlich von allen weiteren ab. Sie ist als dreidimensionales Labyrinth angelegt, dessen (derzeit bekannte) 4,4 km Ganglänge sich auf lediglich 140 x 160 x 73 m entwickelten. Ein derart engräumiges Labyrinth ist nicht nur im Unterostalpin, sondern in den gesamten Ostalpen einzigartig. Die Höhle erstreckt sich vertikal von 606 (*Sandtunnel*) bis 679 m (*Taubenloch*) Seehöhe. Obwohl das Gesamtvolumen der bekannten Gänge nur rund 17.000 m³ ausmacht (1 % des umgebenden Gesteinswürfels; Mrkos, 1997), ist die kumulative Länge und Dichte der Passagen bemerkenswert.

In unmittelbarer Nähe zur Hermannshöhle befinden sich drei weitere bedeutende Höhlen: die nordwestlich gelegenen, unbefahrbar verbundenen Antonshöhle und Mäanderhöhle sowie die östlich gelegenen Rauchspalten. Obwohl es keine bekannte befahrbare Verbindung gibt, konnte zwischen der Hermannshöhle (*Irrgang*) und den Rauchspalten durch einen Rauchversuch eine wetterwegsame Verbindung nachgewiesen werden (Waldner, 1942). Die Rauchspalten erstrecken sich mit etwa 345 m Ganglänge auf einer Grundfläche von 30 x 40 m bei ±20 m Höhenunterschied (H). Wie auch die Hermannshöhle sind sie labyrinthisch, weisen Tropfsteine auf und beinhalten große Mengen klastischer Sedimente. Die 28 m lange Mäanderhöhle (H: ±3) und die 163 m lange Antonshöhle (H: ±19) verlaufen kaum verzweigt und störungsgebunden, ihre Sohlen sind ebenfalls sedimentbedeckt.

Hydrologie

Das HHS ist heute weitgehend trocken und nur durch Tropfwässer und kleine Gerinne mit unter 1 l/s Schüttung bei Starkregen geprägt (Pavuza, 1997; Mrkos, 1997). In einigen Bereichen, wie dem *Teich* oder dem *Hexenkessel*, führen diese zu temporären Rückstautümpeln bzw. Sinterbecken.

Obwohl Teile des Höhlensystems (*Wasserschloss* 608 m; *Sandtunnel* 606 m; Rauchspalten 597 m) je nach Schnittwinkel bis auf oder sogar knapp unter das Niveau des Ramsbaches, der nordöstlich unterhalb der Höhle von etwa 608 bis 597 m verläuft, reichen, werden sie auch bei Hochwasserereignissen nicht überflutet. Während der Regulierung des Ramsbaches wurden kleine Ponore entdeckt, die auf ein unbekanntes wasseraktives Karstsystem unterhalb des HHS hindeuten (Mrkos, 1997).

Morphologie

Frühere Autoren teilten die Hermannshöhle in fünf „genetisch nicht identische Untersysteme“ (Kempe & Mrkos, 1991) bzw. sechs „speläogenetisch nicht idente Bereiche“ (Mrkos, 1997). Diese Unterteilung konnte im Rahmen dieser Studie nicht nachvollzogen werden. Viele Gänge des HHS verlaufen entlang prominenter Störungsrichtungen, die etwa NW–SE bzw. auch NE–SW streichen (Hartmann & Hartmann, 1997; Mrkos, 1997; Hochschorner, 1997). Es existiert eine bemerkenswerte Vielzahl von Über- und Unterlagerungen, die den dreidimensional labyrinthischen Charakter entscheidend prägen. Kleine, gewundene Gänge bilden – meist im Deckenbereich – Verbindungen, die nicht nur gleichwertige Gänge zusammen-

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

schließen, sondern auch solche, die sich um mehrere Größenordnungen unterscheiden. Die Räume sind im Allgemeinen schmal und hoch und oftmals als Canyons entwickelt, die nach ihrem Verlauf in zwei Untergruppen unterteilt werden können.

Der nordöstliche und der südwestliche Teil der Hermannshöhle (*Lehmkluftlabyrinth*, *Tropfsteinparadies* mit Durchstieg zum *Kyrlelabyrinth*) sowie die Antons- und Mäanderhöhle zeigen eher die Form eines Netzwerkes. Die Gänge sind annähernd rechtwinkelig angeordnet und folgen augenscheinlich dem vorherrschenden Störungssystem.

Die zentralen sowie die westlichen und südöstlichen Bereiche zeigen ein anderes Bild. Hier sind vor allem mäandrierende Canyons entwickelt, die keiner bevorzugten Richtung zu folgen scheinen. Hervorzuheben ist hierbei das sogenannte „Große Canyonsystem", das vom *Taubenloch* über den *Großen Dom* und die *Erlenschlucht* Richtung *Forscherhalle* zieht (Kempe & Mrkos, 1991; Mrkos, 1997). Dieser zwischen 1 und 3 m breite Canyon bildete über weite Strecken schöne sinusförmige Mäanderschlingen aus (*Hohe Kluft*, *Niagarafall*). Trotz des beachtlichen Volumens, das dieser Canyon innerhalb des labyrinthisch verzweigten HHS einnimmt, zeigt er lediglich wenige Schnittpunkte mit anderen Canyons. An diesen Stellen bildeten sich Raumerweiterungen, wie z.B. der *Große Dom* mit 6 m Durchmesser, der mit 16 m bekannter Raumhöhe den größten Abschnitt des HHS darstellt. Die Sohle des „Großen Canyonsystems" ist von Sediment bedeckt und seine wahre Ausdehnung daher nicht ersichtlich.

Im Gegensatz zu den Canyons des HHS zeigen das *Kyrlelabyrinth* und die Rauchspalten bereichsweise breite Hallen, die keiner erkennbaren Richtung folgen.

Für den Führungsbetrieb wurden einige Teile der Hermannshöhle künstlich angelegt (z.B. der westliche Teil des *Karl-Ludwig-Tunnels* oder der *Eingang ins Kyrlelabyrinth*) bzw. erweitert oder überprägt (z.B. der östliche Teil des *Karl-Ludwig-Tunnels,* die *Umgehung der Dietrichshalle* und die *Vorhalle*).

Stellenweise finden sich vertikale Röhren (z.B. die *Angströhre*, Bereiche im oberen Teil der *Dietrichhalle* und Teile des *Wasserschlosses*), die an sogenannte „feeder" erinnern (Klimchouk, 2009). Dies sind bei hypogenen Höhlen kleine Öffnungen, durch die das Wasser von unten in den Höhlenraum eintritt.

Es zeigt sich des Weiteren, dass das HHS einen ungewöhnlichen Reichtum an klastischen sowie chemischen Sedimenten aufweist. Erstere bedeckten die Sohle beinahe aller bekannten Gänge und verbergen so das gesamte Ausmaß des HHS. Sinter- und Tropfsteinformationen prägen über weite Strecken das Raumbild und überlagern oftmals die klastischen Sedimente.

METHODIK

Oberflächenkartierung

Um einen genauen Überblick über die geologischen Verhältnisse in und um den Eulenberg zu erlangen, wurde eine geologische und geomorphologische Detailkartierung mit Hilfe von Laserscan-Höhenmodell (NÖ-Atlas, 2013) und differentiellem GPS (Trimble® GeoXH™ handheld aus der GeoExplorer® 2008 Serie) vorgenommen. Die differentielle Korrektur der Daten erfolgte offline mit der Trimble® Nachbearbeitungssoftware GPS Pathfinder Office. Bei der Kartierung wurde besonderes Augenmerk auf die lithologischen Grenzen, insbesondere aber auf die Grenzen zwischen verkarstungsfähigem und nicht-verkarstungsfähigem Gestein gelegt.

3D-Visualisierung der Höhle mit Spelix

Für die dreidimensionale Darstellung der Höhle wurden die Polygonzugsdaten samt aus Plänen erhobenen Raumdaten an jedem Messpunkt in die Onlinedatenbank *Spelix* (www.spelix.at) eingegeben. Aus dieser können sie als 3d- bzw. als vrml-File ausgegeben werden. Diese Daten können z.B. mit der frei verfügbaren Software Survex (www.survex.com) dargestellt werden.

Strukturgeologie

Die mylonitische Foliation des Marmors wurde sowohl innerhalb des HHS als auch an umliegenden Oberflächenaufschlüssen eingemessen und mit den Schieferungsflächen der Glimmerschiefer und Phyllite verglichen. Es wurden Störungs- und Drucklösungsflächen in der Höhle und der näheren Umgebung dokumentiert. Soweit erkennbar wurden Lineationen und Schersinnindikatoren aufgenommen.

Morphologische Kartierung

Es wurden alle wesentlichen Abschnitte des HHS befahren und dabei morphologische Merkmale kartiert. Besonderes Augenmerk wurde auf Paläofließrichtungsindikatoren wie Fließfacetten oder Imbrikationen gelegt. Erstere wurden an repräsentativen Stellen vermessen und die Paläofließgeschwindigkeiten anhand der Diagramme in Palmer (2007: 148)

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

Abb. 2: Vermessung der Hohlkehlen mittels Schlauchwaage (nahe Rutsche).
Fig. 2: Survey of the notches with a tube water level (near Rutsche). Foto: L. Plan

ermittelt. Des Weiteren wurde der umfangreiche paragenetische Formenschatz der Höhle dokumentiert. Um zwischen exakt horizontal ausgebildeten Wasserstandsmarken und Sedimenthohlkehlen unterscheiden zu können, wurde eine Schlauchwaage eingesetzt (Abb. 2).

Sedimentuntersuchungen

Als Ergänzung zu den Sediment- und Schwermineralanalysen, die bereits Seemann (1997) durchgeführt hatte, wurden sieben Proben genommen und ihre Korngrößenverteilung bestimmt. Dazu wurden die Korngrößen von 32 bis 2 mm trocken- und von 2 mm bis 63 µm nass gesiebt. Eine Großprobe (HH25) wurde mittels Riffelteiler repräsentativ geteilt. Die Fraktion < 2 mm aller Proben wurde zur Disaggregation und Oxidation von organischem Material mit H_2O_2 versetzt. Weitere Dispergierung erfolgte im Ultraschallbad. Die Silt- und Tonfraktionen wurden nach erneuter Dispergierung mit einem 400 W Ultraschallstab mittels Sedigraph (micromeritics® SediGraph 5100) für sechs Proben bis 0,5 µm und für eine Probe (HH28) bis 0,125 µm ermittelt.

^{230}Th/U-Datierung von Speläothemen

Zur zeitlichen Einstufung des HHS wurden insgesamt 31 repräsentative Sinterproben aus verschiedenen Bereichen der Hermannshöhle und der Rauchspalten entnommen. Die Probenahme erfolgte äußerst behutsam mittels 8 mm durchmessenden Bohrkernen. Wandsinter wurde im Bereich bereits vorhandener Anschnitte von der Anlage des Führungswegs (z.B. *Dietrichshalle*, vor *Großer Dom*) herausgemeißelt. Vier davon wurden im Zuge einer visuellen Vorsortierung aufgrund ihrer detritischen Verunreinigung als nicht datierbar verworfen. Bei den verbleibenden 27 Proben handelt es sich um acht Tropfsteine und 19 Sinterlagen. Details zur Methodik finden sich in Schober (2014). Auch frühere Autoren versuchten bereits, die Speläotheme des HHS zu datieren. Seemann et al. (1997) nahmen acht Proben aus drei verschiedenen Lokalitätskomplexen. Sieben davon wurden mit der ^{14}C-Methode und drei weitere mit der ^{230}Th/U-Methode datiert. Sie berücksichtigen außerdem drei weitere Proben, die aus den Jahren 1951 (analysiert 1967) und 1993 stammen. Die Ergebnisse zeigten zu jenem Zeitpunkt – vor allem aufgrund der damals verwendeten Methode zur Analyse der Th- und U-Isotope (Alpha-Spektrometrie) – ein widersprüchliches Bild. Wir waren bemüht, die Proben, welche von Seemann et al. (1997) bearbeitet wurden, einer Wiederholungsmessung zu unterziehen; sie konnten jedoch nicht mehr aufgefunden werden.

ERGEBNISSE

Geologie und Morphologie der Umgebung

Im Zuge der Oberflächenkartierung wurde die Grenze zwischen den verkarstungsfähigen Karbonaten und den nicht-verkarstungsfähigen Gesteinen des Grobgneiskomplexes detailliert aufgenommen. Sie verläuft im Norden des Eulenberges als mehr oder weniger geradliniger Kontakt in Südost-Nordwest-Richtung. Aufgrund der schlechten Aufschlussverhältnisse kann über das Einfallen dieses Kontaktes jedoch keine Aussage gemacht werden. Die heutigen Eingänge von Mäanderhöhle und Antonshöhle befinden sich nur wenige Meter südlich dieser Grenze.
Zentral auf dem Eulenberg gelegen wurden zwei Dolinen gefunden. Die größere misst 6 m im Durchmesser und ist 2 m tief. Sie liegen direkt am Kontakt der Glimmerschiefer und der Karbonate (Abb. 1).

Strukturgeologie

Die Karbonate des Eulenberges weisen eine deutliche grau-weiße Bänderung auf, die flach nach WSW bzw.

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

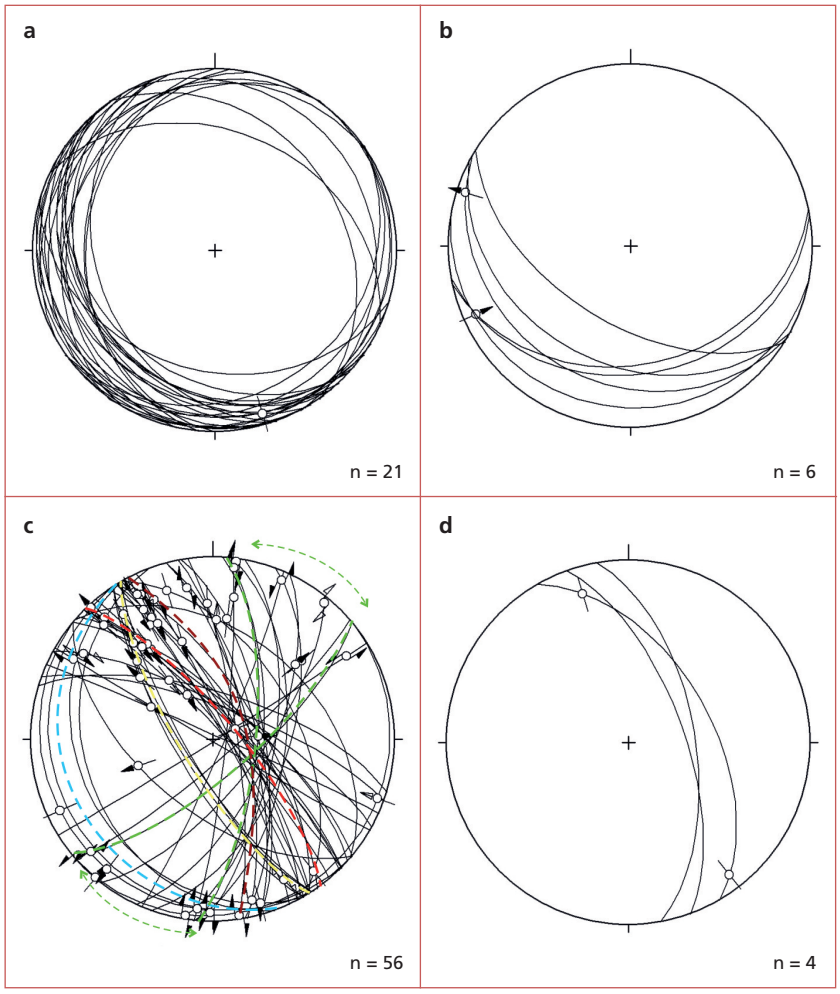

Abb. 3: Plot der gemessenen Flächen als Großkreise im Schmidt'schen Netz, untere Halbkugel.
a) Die metamorphe Bänderung des Marmors fällt generell flach nach WSW bzw. SE ein.
b) Foliationsflächen der nicht-verkarstungsfähigen Schiefer und Phyllite.
c) Störungsflächen. Die dominierenden Störungsrichtungen streichen NW–SE (rot, gelb, orange) bzw. NNE–SSW (grün) und fallen steil nach NE und NW bzw. ESE ein. In beiden Fällen ist die Bewegungsrichtung subhorizontal dextral. Der dritte Typus sind foliationsparallele Störungen, die flach nach WSW (blau) abschieben.
d) Spröde Störungen mit Kataklasiten fallen steil nach NE ein.
Fig. 3: a) Metamorphic foliation of the banded marble, dipping very shallowly towards the WSW and the SE.
b) Schistosity of the non-karstic schists and phyllites.
c) Fault planes. The most dominant faults strike NW-SE (red, yellow, orange), dipping steeply towards the NE. The second most dominant faults strike NNE-SSW (green), dipping steeply towards the ESE. In both cases, the shear sense is dextral, the lineation plunges almost horizontally dextrally. The third relevant type of faults is foliation-parallel, dipping shallowly towards the WSW (blue).
d) Brittle faults (cataclasites) dipping steeply to the NE.

SE einfällt (Abb. 3a). Diese Richtung stimmt mit den Foliationsflächen der nicht-verkarstungsfähigen Schiefer und Phyllite überein, wobei jene teilweise steiler einfallen (Abb. 3b).

Das HHS ist stark von drei Hauptstörungsrichtungen geprägt (Abb. 3c).

Die dominantesten Störungen streichen NW–SE und fallen zumeist steil nach NE, in einigen Fällen steil nach SW, ein. Die zweite bedeutende Störungsrichtung ist NNE–SSW und fällt steil Richtung ESE ein. Zwischen diesen beiden Endgliedern gibt es eine Reihe weiterer Flächen, die ebenfalls steil nach SE einfallen. In beiden Fällen ist der Bewegungssinn dextral (rechtsseitig) wobei die Lineare subhorizontalen Versatz anzeigen. Der dritte wichtige Typ verläuft schichtparallel zur Foliationsrichtung des Marmors und fällt flach Richtung WSW ein. Auf diesen Flächen wurden nur wenige, eine Abschiebung anzeigende Lineare beobachtet.

An so gut wie allen Störungsflächen wurden starke Lineationen dokumentiert, die stellenweise sogar ein deutliches undulierendes Relief bilden. Dabei handelt es sich um sogenannte Slickolite-Striae, die durch Drucklösung entstanden. Sie verlaufen parallel zur Bewegungsrichtung und bilden sich auf Flächen, die normal zu gewöhnlichen Stylolith-Flächen stehen (Means, 1987; Ramsay & Huber, 1987).

Nur an einigen Störungen wurden maximal Dezimeter mächtige Kataklasite gefunden, was zeigt, dass keine großen Bewegungen an diesen Störungen stattgefunden haben. Diese spröden Störungen fallen steil nach NE ein (Abb. 3d).

Höhlenmorphologie

Raumprofile

Die Mehrheit der Gänge des HHS ist canyonartig angelegt, mit hohen und schmalen Räumen, die an fast jeder Stelle undulieren. Geradlinige Passagen sind selten und so gut wie immer an vertikale Initialfugen gebunden (*Rutsche*, *Gemeißelte Röhre*). Runde oder elliptische Profile fehlen völlig, sowohl als Raumform an sich als auch am Top der Canyons. Es konnten im gesamten HHS keine Initialfugen nachgewiesen

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

werden, wenn man von wenigen vertikalen absieht. Dennoch konnten weder Formen vadoser Speläogenese, wie vadose Canyons mit gleichsinnigem Gefälle, noch solche einer epiphreatischen Entstehung, wie z.B. Höhlenkarren (*rills*) oder Lösungskolke (*solution pockets*), gefunden werden.

Deckenkolke

In verschiedenen Bereichen des HHS finden sich Deckenkolke (*Großer Dom*, *Sandtunnel*), die stellenweise mehrere Meter Durchmesser erreichen (*Taubenloch*, Halle vor *Niagarafall*).

Deckenkarren, -kanäle und Hängezapfen (Pendants)

Das HHS zeichnet sich durch seinen Reichtum an phreatischen Kleinformen aus. Es gibt eine Vielzahl von paragenetischen Deckenkanälen, die zum Teil als wunderschöne sinusförmige Mäander ausgebildet sind (*Wildschützenhalle*, vor Abstieg zum *Ölberg*). Sie sind meist einige Zentimeter bis Dezimeter breit und bis zu mehrere Meter lang. An vielen Stellen des HHS findet man Deckenkarren (Anastomosen; z.B. in Bodennähe in der *Hohen Kluft*), doch noch dominanter sind Pendants (Hängezapfen; z.B. Farrant & Smart, 2011). Diese paragenetischen Höhlenformen kommen in fast jedem Abschnitt des HHS vor und sind nicht an geologische Strukturen gebunden. Sie treten in allen Größenordnungen auf, von wenige Zentimeter messenden Kleinformen (*Steiniger Weg*) bis zu mehrere Meter hohen, über weite Strecken raumbestimmenden Großformen (*Sandberghalle* (Abb. 4), *Irrgang*, *Fensterhalle*, *Wasserschloss*).

Lösungsrampen, Wasserstandsmarken und ebene Decken

Lösungskehlen sind Kerben in der Wand, die sich bilden, wenn innerhalb eines Gangquerschnittes an einer bestimmten Stelle ein relativ gesehen erhöhtes Lösungspotential vorhanden ist. Sie werden unterschieden in Lösungsrampen und Wasserstandsmarken (Abb. 5). Erstere bilden sich über Sedimentverfüllungen. Sie können (sub-)horizontal oder geneigt verlaufen oder undulieren (Palmer, 2007; Farrant & Smart, 2011). Schöne Beispiele dafür findet man in der *Vorhalle*, wo mindestens fünf Lösungsrampen identifiziert werden konnten, und im *Barbarastollen* (Abb. 6). Sie zeigen deutliche Fließfacetten, die eine SW-wärts (höhleneinwärts) gerichtete Fließrichtung indizieren. Die Wände des *Steinigen Weges* und des *Krokodilganges* zeigen ebenfalls eine Abfolge von Lösungsrampen mit Fließfacetten, und auch im Bereich der *Rutsche* konnten solche ehemaligen Sedimentverfüllungen nachgewiesen werden. Diese stehen hier an den gegenüberliegenden Wänden windschief zueinander. Lösungsrampen können auch nach oben hin offene Stufen bilden, da im Zuge der fortwährend aufwärts gerichteten Lösung die Oberkante der Kehlen weggelöst wird (Farrant & Smart, 2011). Beispiele dafür sind im *Großen Dom* (Abb. 7) eindrucksvoll aufgeschlossen. Wasserstandsmarken beschreiben horizontale Kerben, die sich an der Luft-Wasser-Grenze ehemaliger, über längere Zeit stationärer Wasserstände bilden (Palmer, 2007). Im HHS wurde nur in zwei Gängen eine Lösungskehle als ehemaliger Wasserstand identifiziert, und zwar am Beginn des *Sandtunnels* und auf gleicher Höhe im nahegelegenen *Traumland*. Im ersten ist oberhalb der exakt horizontalen Kehle das Muttergestein von Kondenswasserkorrosion geprägt (zellige, boxworkartige Verwitterung), darunter sind die Wände eher glatt. Neben dieser vadosen Korrosion konnten an der Decke Fließfacetten beobachtet werden, die jedoch aufgrund der Verwitterung keine eindeutige Fließrichtung anzeigten. Zudem wurden bei beiden Aufschlüssen etwas unterhalb Kalzitplättchen(brezzien) gefunden, die ebenfalls auf stehendes Wasser hindeuten. Knapp vor bzw. oberhalb beider Aufschlüsse befinden sich aber auch deutlich ausgeprägte Lösungsrampen.

Neben den Lösungsrampen fällt die *Vorhalle* durch ihre ebene Decke auf. Diese wurde von Kempe & Mrkos (1991) als Laugdecke beschrieben. Mittels der Schlauchwaage wurde festgestellt, dass die Decke bergeinwärts deutlich abfällt und sich auch die gegenüberliegenden Deckenbereiche nicht auf derselben Höhe befinden. Des Weiteren zeigen die Decke wie auch die Lösungsrampen in diesem Bereich deutliche bergwärts gerichtete Fließfacetten.

Fließfacetten

In über 50 Abschnitten konnte aufgrund von Fließfacetten (FF) die Paläofließrichtung bestimmt werden (Curl, 1974). Man findet sie insbesondere in den tieferen Teilen des HHS bis zu einer Höhe von etwa 645 m. Die höheren Teile der Hermannshöhle sowie die Antons- und Mäanderhöhle zeigen keine FF mit Ausnahme eher zweifelhafter Exemplare an der Decke des *Wildschützenkamins* (etwa 660 m). Bereichsweise bilden FF über ganze Gangabschnitte die dominante Kleinform (*Steiniger Weg*, *Bertlschluf*, *Krokodilgang*). In vier Bereichen des HHS wurden an insgesamt sechs Punkten die Längen der FF vermessen. Daraus konnte nach Palmer (2007: 148; die Formeln stammen von Curl, 1974) die Fließgeschwindigkeit des Wassers zur Zeit der Bildung der FF abgeschätzt werden (Abb. 8). Im Krokodilgang stimmt die aus den Imbrikationen

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

Abb. 4: Pendants sind die eindeutig raumbestimmende Kleinform in diesem Teil der Sandberghalle. Foto: L. Plan
Fig. 4: Pendants are clearly the dominant morphological element in this part of the Sandberghalle.

plattiger Steine abgeleitete Paläofließrichtung mit den dort auftretenden FF überein.
Das sich daraus ergebende Gesamtbild ist recht einheitlich: Demnach floss das Wasser während der Bildung dieser Höhlenformen nicht parallel zum Ramsbach oder zumindest zum Otterbach, sondern generell westwärts, d.h. tiefer in den Eulenberg hinein. An manchen Punkten des HHS sind sehr schöne Beispiele für Altersabfolgen von Fließfacetten und paragenetischen Kleinformen bzw. früheren Sedimentverfüllungen zu beobachten. Im *Steinigen Weg* finden sich paragenetische Wandkarren und –mäander in Wänden, die von FF skulptiert sind. Erstere zeigen keine FF und müssen daher zu einer Zeit gebildet worden sein, als klastische Sedimente die bereits existierenden Fließfacetten vor der Erosion schützten (Abb. 9). Das zweite Beispiel befindet sich im *Krokodilgang*. Ein Gangprofil zeigt hier eine Abfolge von FF mit deutlich unterschiedlichen Längen beiderseits einer recht scharfen subhorizontalen Grenze (Abb. 10). Diese FF wurden vermessen und die Fließgeschwindigkeit abgeleitet (Abb. 8). Unter der Grenze floss das Wasser mit etwa 0,5 m/s, während darüber deutlich höhere Fließgeschwindigkeiten von etwa 1,5 m/s herrschten. Diese Diskrepanz kann auf eine ehemalige Sedimentverfüllung zurückgeführt werden. Dabei scheinen die kleinen FF eine Überprägung der ehemals großen Formen darzustellen. Hierfür bietet sich folgende Erklärung an: In einem vorhandenen Canyonprofil kam es zur Ausbildung großer FF. Als das Profil bis zu der heute sichtbaren Grenze mit Sediment verfüllt wurde, erhöhte sich im verbleibenden kleineren Querschnitt die Fließgeschwindigkeit des Wassers und die großen Facetten wurden von kleineren überprägt. Zu einem späteren Zeitpunkt wurde das Sediment wieder ausgeräumt und das Profil in seiner heutigen Form freigelegt.

Sedimente

Sowohl klastische als auch chemische (Sinter-) Ablagerungen prägen das Erscheinungsbild des HHS sehr stark.
Aufgrund des Feldbefundes und der Labormessungen der Korngrößenverteilung (Abb. 11) lassen sich fünf verschiedene Gruppen klastischer Sedimente in der Hermannshöhle unterscheiden. Vier davon sind fluviatile Ablagerungen; ihre Kornsummenkurven wurden in Abb. 11 farblich unterschieden: (1) Sehr feinkörniger, brauner bis stellenweise schwarzer Ton (gelb), (2) gut bis mittelmäßig sortierte, braune, schluffige Feinsande bis feinsandige Schluffe (blau), (3) sehr gut sortierter, gut gerundeter, weißer Feinsand (rot) und (4) sehr schlecht sortierte Schwemmsedimente (grün). Letztere setzen sich aus allen Korngrößen zusammen, von Tonen bis zu 30 cm großen Steinen. Alle vier Typen bestehen hauptsächlich aus allochthonen Komponenten, mit z.B. Quarz-, Gneis- und Schieferkomponenten. Lediglich einige vereinzelte, schlecht gerundete Marmorblöcke wurden gefunden (*Sandberghalle*). Aufgrund von Schwermineralanalysen konnte Seemann (1997) nachweisen, dass die meisten klastischen Sedimente des HHS dem Grobgneiskomplex zuzuordnen sind. Diese sind unter anderem im Norden und Nordosten des Eulenberges zu finden. Die Wechselserie kann als Liefergebiet zwar nicht ausgeschlossen werden, gilt aber als unwahrscheinlich (Seemann, 1997). Die feinkörnigen Klastika treten zumeist

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter www.zobodat.at

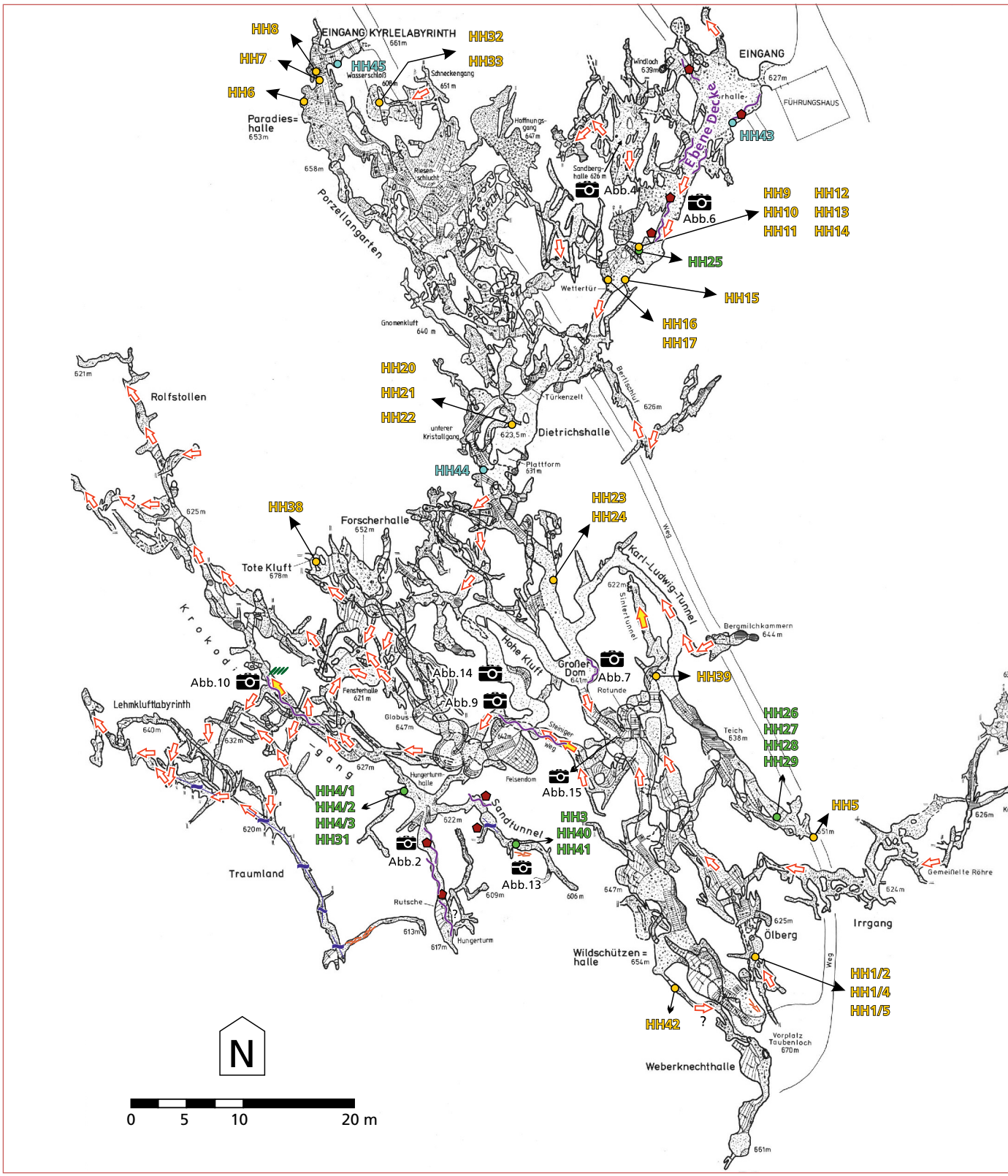

Abb. 5: Lage der Probenentnahmestellen und der kartierten Kleinformen. Paragenetische Canyons, Deckenkarren und -mäander sind nicht eingezeichnet, da sie in fast allen Teilen vorkommen (Gesamtplan der Hermannshöhle und der Rauchspalten von W. Hartmann, 1995).

Fig. 5: Location of the sampling sites and the mapped micromorphologies. Paragenetic canyons and ceiling channels are not displayed since they occur in almost all parts of the cave system (general map of the Hermannshöhle and Rauchspalten from W. Hartmann, 1995).

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

LEGENDE

PROBEN

- U/Th Proben
- Sedimentproben
- Dünnschliffproben
- Messpunkt Schlauchwaage

KLEINFORMEN

- Fließfacetten und -richtung
- Fließfacetten und -richtung (gemessen)
- Paragenetische Lösungsrampen
- Wasserstandsmarke
- Imbrikation
- Kalzitplättchen(brezzien)

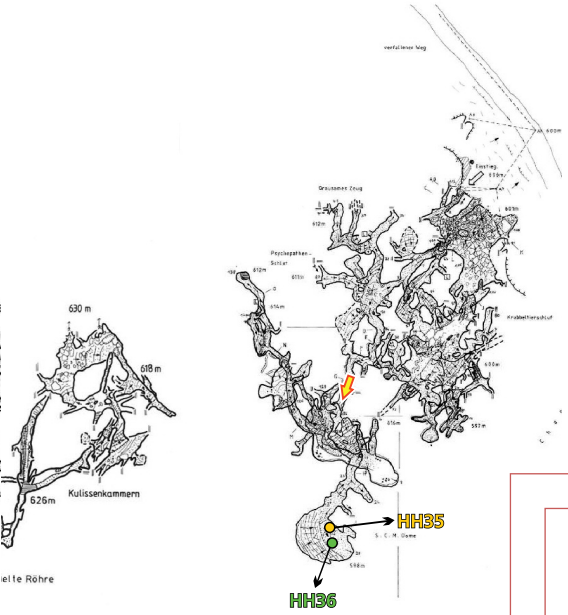

Abb. 6: Hohlkehle an der Seitenwand des Barbarastollens. Die weiße Linie unterstreicht die Undulation.
Fig. 6: Solution ramp on the side wall of Barbarastollen. The undulation is marked by the white dashed line. Foto: L. Plan

Abb. 7: Nach oben offene, paragenetische Lösungsrampen im Großen Dom, gekennzeichnet durch die gestrichelten weißen Linien.
Fig. 7: Upwards open paragenetic solution ramps in the Großer Dom, marked by the white dashed lines. Foto: L. Plan

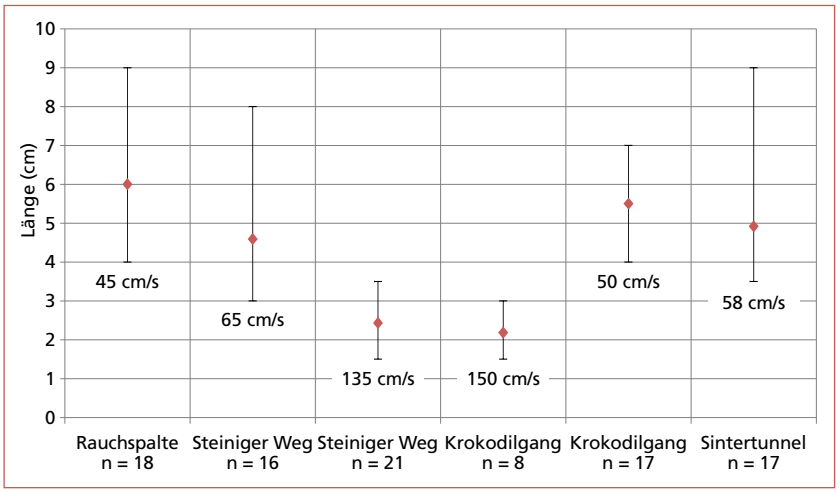

Abb. 8: Gemessene Längen der Fließfacetten. Aus dem Durchmesser lässt sich die Fließgeschwindigkeit des Wassers ableiten (Palmer, 2007). Die Rauten stellen die durchschnittliche Länge dar, die Fehlerbalken die Minimal- und Maximalwerte. n = Anzahl der Messungen.
Fig. 8: Measured length of the scallops. The diameter enables assessing the flow velocity of the water (Palmer, 2007). The diamonds indicate the mean length; the error bars show the minimum and maximum values. n = number of measurements.

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

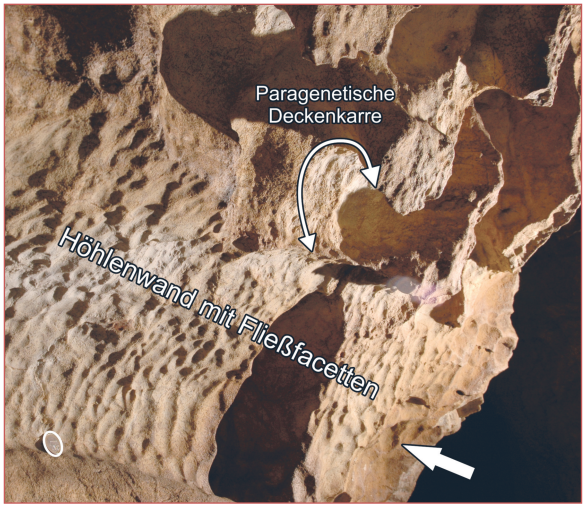

Abb. 9: Wand mit Fließfacetten im Steinigen Weg (der Pfeil zeigt die Fließrichtung nach NW an). Die paragenetischen Deckenkarren zeigen keine Fließfacetten und müssen daher jünger sein. Im linken unteren Teil des Bildes ist eine 1-Euro-Münze zum Größenvergleich hervorgehoben.
Fig. 9: Cave wall with scallops (the arrow indicates the direction of flow from SE to NW). The paragenetic ceiling half tubes do not show scallops and are thus clearly a younger feature. Note the 1-Euro-coin as a scale at lower left.
Foto: L. Plan

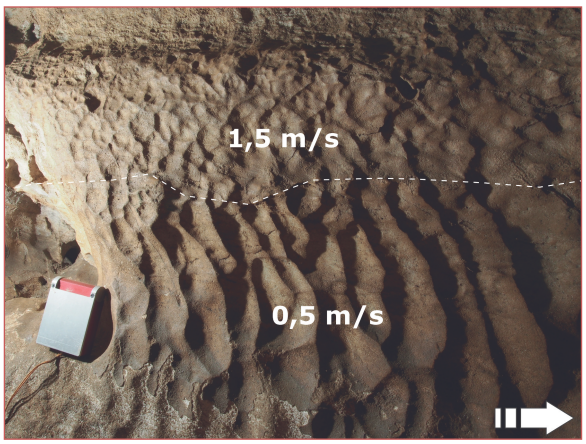

Abb. 10: Wandpartie im Krokodilgang. Zwei Generationen von Fließfacetten zeigen eine ehemalige Sedimentbedeckung des unteren Teils und eine Zunahme der Fließgeschwindigkeit darüber. Die ehemalige Sedimentoberkante ist durch die gestrichelte Linie gekennzeichnet. Der Pfeil zeigt die Fließrichtung (nach NW) an.
Fig. 10: Detail of the cave wall at Krokodilgang. Two generations of scallops show a former sediment infill and the resulting increase in flow velocity. The top of the former sediment is indicated by the white dotted line. The arrow indicates the direction of flow (towards NW). Foto: L. Plan

geschichtet auf, wobei Typ 1 und Typ 2 an einigen Stellen wechsellagern (*Teichkluft*, *Hungerturmhalle*). Alle analysierten Proben fielen bei Zugabe von H_2O_2 durch heftige Reaktion (Schäumen) auf, was auf einen hohen Gehalt organischer Substanzen schließen lässt. Die dunkle Färbung des Tons ist neben dem hohen Organik-Anteil wahrscheinlich auch auf seine Feinkörnigkeit und auf Verunreinigungen mit Mangan (Schlieren an der Höhlenwand) zurückzuführen.

Der 5. Typ klastischer Sedimente umfasst (para-) autochthonen karbonatischen Schutt, der insbesondere im nördlichen Teil der Hermannshöhle vorherrscht (Brekzie vor der *Wettertüre*, Eingangsbereich *Kyrlelabyrinth*, *Paradieshalle*, *Hoffnungsgang*).

In weiten Teilen des HHS ist die Gangsohle rezent von einer alluvialen Sedimentschicht bedeckt, deren oft große Mächtigkeit nur in wenigen Fällen vollständig ersichtlich ist. Die Sohle der Gänge selbst ist selten aufgeschlossen, viele Passagen enden sedimentverfüllt. Reste früherer Verfüllungen mit klastischen Sedimenten aller fünf Typen sind vielerorts bis zur oder knapp unter die Decke zu finden. Relikte dieser konsolidierten Klastika ragen oftmals baldachinartig in den Raum (z.B. zwischen der *Vorhalle* und dem *Windloch* oder der *Sandberghalle*). Die Ablagerungen sowie die Zwischendecken werden häufig von Sinterlagen unterteilt oder überwachsen (*Wettertüre*, *Ölberg*, *Paradieshalle*). Aus diesem Grund findet man an den Unterseiten etlicher Sinterdecken Reste der klastischen Sedimentverfüllungen. Nach der Ausräumung wurden die Sintervorsprünge und -brücken vielerorts weiter von Sinter überwachsen. Schöne Beispiele dafür sind der *Spitzenvorhang* – das Wahrzeichen der Hermannshöhle –, das *Türkenzelt*, der *Dinosaurier* (unter *Fahne mit Quaste*), der Baldachin in der *Forscherhalle*, das *Gnomentheater* oder der Baldachin in der *Paradieshalle*.

Nicht zuletzt wegen ihres Reichtums an Speläothemen ist die Hermannshöhle zur Schauhöhle ausgebaut. Wand- und Bodensinter dominieren weite Teile des HHS und bilden Tropfsteine in all ihren Ausprägungen (Stalaktiten, Stalagmiten, Sinterfahnen). Man findet Excentriques, Perlsinter, eine Sintertrommel, Bergmilch, Sinterbecken und Kalzitplättchen. Letztere bilden sich als dünne Kalkausfällungen an der Luft-Wasser-Grenze im Stillwassermilieu (Palmer, 2007: 278), und sind z.B. im *Sandtunnel* und im letzten Raum unter dem *Taubenloch* zu finden. Auffällig ist, dass im HHS keine korrodierten Speläotheme zu finden sind, wie sie in vielen alpinen Höhlen vorkommen.

Altersdatierung von Speläothemen – Erste Ergebnisse

Es wurden 27 Sinterproben analysiert, die Ergebnisse zeigen ein breites Altersspektrum: Während die jüngste Probe etwa 1 ka (tausend Jahre) alt ist, liegen die ältesten Sinter bei über 500 ka. Diese hohen Alter liegen nahe der Obergrenze der ^{230}Th/U-Methode und sind daher mit einem großen analytischen Fehler behaftet. Bis auf eine Probe (HH23 – gleichzeitig auch

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

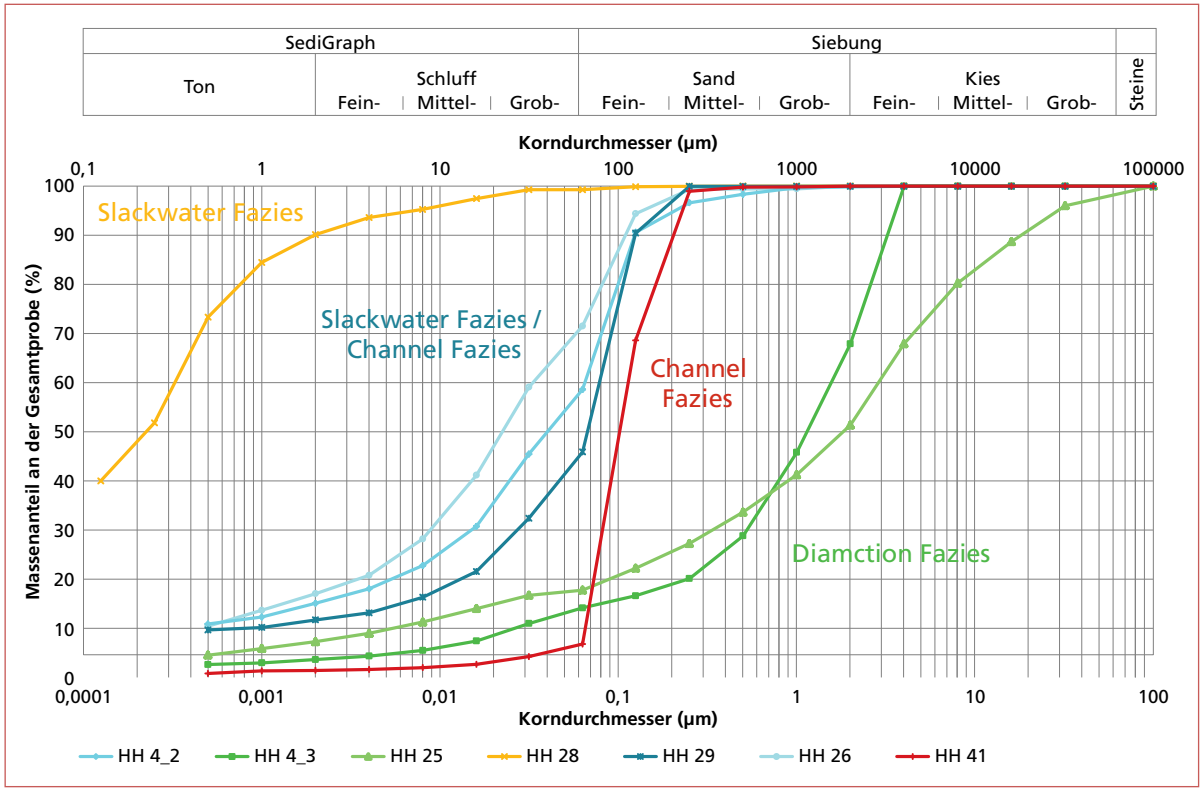

Abb. 11: Kornsummenkurven der klastischen Sedimentproben des HHS.
Fig. 11: Cumulative grain size distribution curves of the clastic sediment samples from the HHS.

das älteste und mit dem größten Fehler behaftete Ergebnis) sind die Alter korrelierbarer Probenpunkte stratigraphisch korrekt und können daher als vertrauenswürdig angesehen werden. Details zu den Ergebnissen finden sich in Schober (2014).
Es zeigt sich auch, dass die ältesten Proben nur in den höheren Höhlenteilen zu finden sind, wohingegen die jüngsten Proben tendenziell tiefer liegen. Bemerkenswert ist, dass drei Proben (HH32 und HH33 vom *Wasserschloss* [609 m] sowie HH35 aus den *Rauchspalten* [589 m]) mit Altern von bis zu 125 ka auf oder sogar unter dem heutigen Niveau des Ramsbaches liegen. Dieser Tatsache zum Trotz sind diese Höhlenteile rezent trocken.

DISKUSSION

Geologische und strukturelle Schlussfolgerungen

Das HHS befindet sich an der Grenze zwischen Kalkmarmor und nicht-verkarstungsfähigen Gesteinen und wurde vermutlich vom Ramsbach gespeist. Dieser entspringt in den nahegelegenen Gneisen und Schiefern des Semmeringsystems und führt daher untersättigtes Wasser (Hartmann et al., 1997; Abb. 12). Es handelt sich beim HHS also um ein Kontaktkarstregime. Bestätigend dafür werden zwei Dolinen gewertet, die im Norden des Eulenberges inmitten von Schiefergeröllen gefunden wurden und als Kontakt des Karbonats zum Grobgneiskomplex aufgefasst werden (Abb. 1). Aufgrund des allochthonen Sedimentinhalts des HHS kann davon ausgegangen werden, dass das Einzugsgebiet in früheren Zeiten ebenfalls von nicht-verkarstungsfähigen Gesteinen geprägt war. Ob es dem heutigen Areal entsprach oder nicht, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden. Seemann (1997) zufolge kommen die im Nordosten des HHS gelegenen Gesteine des Grobgneiskomplexes am ehesten als Sedimentursprung infrage.
Im Zuge früherer Untersuchungen wurde der Kalkmarmor des Eulenberges als schwach metamorph (untere Grünschieferfazies) eingestuft (Faupl, 1970; Seemann, 1997). Seine intensive Bänderung interpretierten Kempe & Mrkos (1991) als dreiphasiges Faltungsereignis. Tatsächlich zeigt die Bänderung zentimetergroße Isoklinalfalten, diese werden von uns jedoch als syntektonische mylonitische Isoklinalfalten interpretiert und keinem späteren Ereignis zugeord-

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

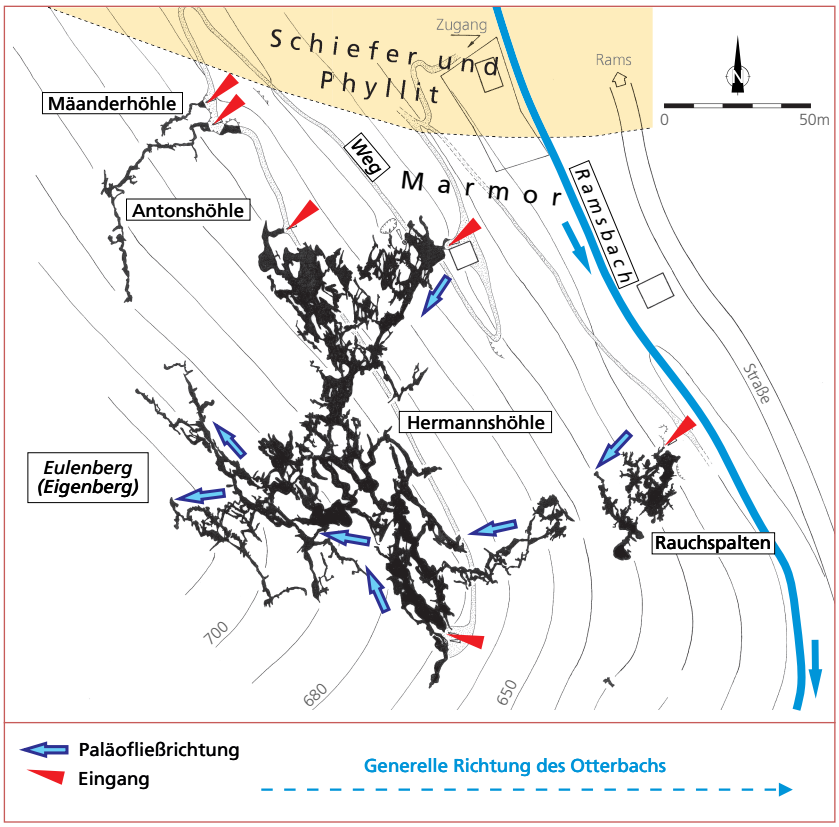

Abb. 12: Übersichtsplan des HHS von E. Herrmann (1989) und seiner Umgebung; verändert). Hervorzuheben ist die Grenze zwischen verkarstungsfähigem Karbonat und nicht-verkarstungsfähigem Kristallin. Die Pfeile zeigen die generell westwärts gegen das Berginnere gerichtete Paläofließrichtung (Detailkarte siehe Abb. 5).
Fig. 12: Topographic overview of the cave and its surroundings by E. Herrmann (1989); modified. Note the border between karstic carbonate and non-karstic crystalline rocks. The arrows indicate the westward palaeoflow, pointing towards the mountain (for a detailed map see Fig. 5).

net. Die metamorphe Überprägung erfolgte daher während der eoalpidischen Orogenese.
Für die Entwicklung des HHS scheinen die tektonische Beanspruchung des Marmors und die daraus resultierende Dichte wasserwirksamer Fugen eine wesentliche Rolle gespielt zu haben. Müller (1994) zufolge befindet sich das HHS genau an dem NW-SE verlaufenden Randbruch des Kirchberger *Pull-Apart*-Beckens. Obwohl dies mit der Interpretation der tertiären Sedimente des Kirchberger Beckens (Ebner et al., 1991) übereinstimmt, konnte ein solches Lineament weder in der Oberflächenmorphologie (Laserscan) noch während der geologisch-morphologischen Kartierung ausgemacht werden. Auch innerhalb des HHS konnte trotz der starken Zerlegung des Marmors keine Störung dieser Größenordnung, die Kataklasite und einen zumindest vertikal signifikanten Versatz bedingen müsste, nachgewiesen werden. Dennoch lassen sich drei bevorzugte Störungsrichtungen ausmachen. Die beiden bedeutenderen streichen NW-SE bzw. NNE-SSW und fallen steil nach NE bzw. ESE ein. Sie zeigen geringen dextralen Horizontalversatz und wurden bereits von Müller (1994) erkannt und beschrieben. Die dritte bevorzugte Störungsrichtung orientiert sich an der Foliation des Marmors (Kempe & Mrkos, 1991). Sie ist nahezu horizontal mit schwachem Fallen Richtung WSW und zeigt nur selten ein sprödes (abschiebendes) Linear.

Gemeinsam spannen diese drei Richtungen das Gangnetz des HHS auf. Auffällig ist dabei, dass sich im Wesentlichen die NW-SE-orientierten Gänge eher zu Mäandern entwickelten, während die NNE-SSW streichenden Gänge eher geradlinig verlaufen. Letztere zeigen im Allgemeinen auch eine geringere Breite als die NW-SE streichenden Gänge.
Hinweise auf einen Zusammenhang mit der sinistralen Mur-Mürz-Störung, einem der großen Seitenverschiebungssysteme Österreichs, konnten weder im HHS noch in der näheren Umgebung gefunden werden.
Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei den Störungsflächen nicht um spröde Harnische, sondern um Slikkolite-Striae-Flächen. Es existiert keine uns bekannte Literatur darüber, wie sich solche Drucklösungsflächen als wasserwirksame Fugen im Vergleich zu „normalen“ Störungen verhalten. Daher kann über ihre speläogenetische Relevanz keine Aussage getroffen werden.

Gliederung des Höhlensystems

Kempe & Mrkos (1991) teilen die Hermannshöhle in fünf ihnen zufolge genetisch unabhängige Bereiche, die von Mrkos (1997) noch einmal weiter untergliedert werden: (1) das „Große Canyonsystem“ (zwischen

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

Erlenschlucht, *Großem Dom* und *Fürstenhalle*), (2) das „Horizontalsystem“ (*Vorhalle*, *Sandberghalle* und *Barbarastollen*), (3) das „Kleine Canyonsystem“ (*Steiniger Weg*, *Perlsinterkluft*, *Hungerturmlabyrinth* und *Krokodilgang*), (4) die *Dietrichshalle* und ihre Umgebung, (5) *Ölberg* und *Irrgang* sowie (6) das *Kyrlelabyrinth*. Es wird dabei aber nicht erwähnt, nach welchen Kriterien die einzelnen Bereiche voneinander unterschieden wurden.

Es ist unverkennbar, dass sich das „Große Canyonsystem“ vom Rest des HHS abhebt: Kein anderer Höhlenabschnitt bildete so prägnante enge sinusförmige Mäanderschlingen aus. Es ist der Teil des HHS mit der größten bekannten Raumhöhe. Außerdem befinden sich hier die breitesten Hallen (eventuell mit Ausnahme der *Riesenschlucht* im *Kyrlelabyrinth*). Auffällig ist, dass entlang dieses Canyons nur wenige Verschnittpunkte mit anderen Gängen existieren und dass so gut wie keine Fließfacetten gefunden wurden (Ausnahme: *Wolfschlucht*).

Die Abgrenzung der anderen oben genannten Bereiche kann jedoch nicht nachvollzogen werden. Der flache Boden des „Horizontalsystem“ ist ein Sedimentboden, der teilweise anthropogen verändert wurde (betoniert) und daher nicht mit der Höhlengenese in Verbindung gebracht werden kann. Das „Kleine Canyonsystem“ unterscheidet sich morphologisch kaum vom Rest des HHS. Eine genetische Eigenständigkeit dieses Abschnittes ist daher infrage zu stellen. Weshalb die *Dietrichshalle* und das *Kyrlelabyrinth* als individuelle Systeme ausgewiesen wurden, ist in der oben genannten Literatur nicht begründet. *Ölberg* und *Irrgang* wurden zu einer genetischen Einheit zusammengefasst, obwohl Kempe & Mrkos (1991) den *Ölberg* für älter halten. Weder die neuen morphologischen Befunde noch die Altersdatierung brachten Hinweise auf eine genetische Sukzession der früher unterschiedenen Bereiche.

Hochschorner (1997) unterscheidet zwischen phreatisch entstandenen Kluftgängen („Horizontalsystem“, *Dietrichshalle*, *Hungerturmlabyrinth*, *Ölberg* mit *Irrgang*, die Verbindungsteile ins *Kyrlelabyrinth* sowie die Rauchspalten) und hohen, canyonartig mäandrierenden Gängen (*Erlenschlucht*, *Tote Kluft*, *Hohe Kluft*, *Wolfsschlucht* und *Steiniger Weg*). Diese Einteilung erscheint auf den ersten Blick grundsätzlich nachvollziehbar, zeigt jedoch bei der Anwendung einige Schwierigkeiten. Zum einen soll an dieser Stelle noch einmal hervorgehoben werden, dass fast alle Gänge des HHS als paragenetische Canyons entwickelt sind. Sie unterscheiden sich daher im Grunde lediglich in der Art und der Ausprägung des Mäandrierens. Zum anderen fehlen die für eine kluftgebundene phreatische Entwicklung typischen elliptischen Profile, die eine morphologische Abgrenzung rechtfertigen würden.

Hochschorner (1997) zufolge weisen die hohen, canyonartig mäandrierenden Gänge einen „eindrucksvollen vadosen Formenschatz“ auf, ergaben aber aufgrund ihrer zahlreichen phreatischen Kleinformen und ihrer Gefälleverhältnisse kein klares Bild hinsichtlich ihrer Altersstellung und Genese. Fink (1974) spricht in diesem Zusammenhang von „Canyons mit gegensinnigem Gefälle“. Im Zuge dieser Studie konnten keine Formen vadoser Speläogenese (vadose Canyons oder Schächte bzw. Schlüssellloch-Profile) nachgewiesen werden. Stattdessen findet man in nahezu allen Höhlenteilen eine Vielzahl verschiedener phreatischer Kleinformen. Ein durchaus schlüssiges Konzept, die zuvor genannte Problematik zu erklären, ist die Paragenese. Diese beschreibt die aufwärts gerichtete Lösung verkarstungsfähigen Gesteins aufgrund der Ablagerung nicht-verkarstungsfähiger Sedimente (z.B. Renault, 1968; Lauritzen & Lundberg, 2000; Palmer, 2007; Farrant & Smart, 2011; Plan, 2013). Der immense Reichtum des HHS an Sedimentresten und -verfüllungen wurde durchwegs auch von anderen Autoren beschrieben (Kempe & Mrkos, 1991; Seemann 1997), ihre Bedeutung für die Speläogenese war zum damaligen Zeitpunkt jedoch noch nicht geläufig.

Morphologie

Betrachtet man das breite Spektrum an Gangquerschnitten und Kleinformen im HHS, so zeigt sich, dass paragenetische Überprägung eindeutig das dominanteste morphologische Merkmal ist. Die im HHS häufigen Canyons sind somit, genauso wie der immense Reichtum an Pendants und Lösungskehlen, gut erklärbar. Die Sohle fast aller Passagen ist rezent mit Sediment bedeckt, was auch erklärt, warum kaum Initialfugen oder elliptische Initialprofile gefunden werden konnten: Diese liegen noch heute unter den Sedimentverfüllungen begraben (Beispiel Abb. 13). Somit steht die phreatische Entwicklung des HHS auch nicht wie bei früheren Autoren (z.B. Mrkos, 1997) im Widerspruch zu den beherrschenden Raumformen: Die Canyons sind auf paragenetische Prozesse zurückzuführen. Interessanterweise sind die paragenetischen Formen, wie auch der ausgeprägte labyrinthische Charakter des HHS, nicht auf bestimmte Bereiche oder Größenordnungen beschränkt, sondern sie treten im gesamten System auf. Fast alle Profile sind paragenetisch nach oben erweitert, was ihnen oftmals Canyoncharakter verleiht. Man findet sie aber nicht nur als Gangprofil von über 10 m Höhe (*Hohe Kluft* –

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

16 m bekannte Raumhöhe), sondern auch mit Höhen von nur wenigen Zentimetern (Abb. 14). Viele überhängende Wand- und Deckenbereiche zeigen paragenetische Deckenkanäle und anastomotische Deckenkarren (Abb. 15). In einigen Bereichen (*Großer Dom, Wolfschlucht, Vorhalle*) finden sich paragenetische Lösungsrampen, die ehemalige Sedimentoberkanten anzeigen. Einige kleinräumige Verbindungsgänge können als paragenetische Bypässe interpretiert werden (z.B. Deckenbereich der *Hohen Kluft*, Stiege oberhalb *Dietrichhalle*).

Kempe & Mrkos (1991) beschrieben eine Reihe von Laughohlkehlen (*Vorhalle, Sandberghalle, Ölberg*), Laugfacetten (*Hohe Kluft, Fürstenhalle, Wildschützenhalle, Taubenloch, Ölberg*) und eine Laugdecke (*Vorhalle*). Sie interpretieren diese Hohlkehlen dabei durchgehend als ehemalige Wasserstände und schließen daraus auf die Speläogenese der Hermannshöhle. Ihrer Auffassung nach umfasst diese eine ausgeprägte vadose Phase mit sich episodisch eintiefendem Karstwasserspiegel und eine spätere phreatische Phase, in der die Fließfacetten sowie die Kolke und Pendants gebildet wurden. Bereits Hochschorner (1997) wertete das „ausgeprägte Gefälle“, das „bei zahlreichen Hohlkehlen im eingangsnahen Bereich bis zu *Dietrichshalle* nachgewiesen werden konnte“, als Indiz dafür, dass diese Formen „vermutlich nicht nur Ausdruck der Korrosion an Gewässeroberflächen, sondern auch auf laterale Korrosion in den Sedimenten der Gangverfüllungen zurückzuführen“ seien.

Im Zuge unserer Untersuchung haben wir festgestellt, dass fast alle Lösungskehlen des HHS auf ehemalige Sedimentverfüllungen zurückzuführen sind und keine Wasserstände anzeigen. Es handelt sich um paragenetische Lösungsrampen, die in phreatischem und nicht im vadosem Milieu entstanden.

Die aus der *Vorhalle* beschriebene ebene Decke wird von Kempe & Mrkos (1991) als Laugdecke interpretiert. Laugdecken bilden häufig gemeinsam mit Laugfacetten (zum Zentrum eines Ganges geneigte Wandflächen) ein dreieckiges Gangprofil. Solche Formen sind auf Dichtegradienten während der phreatischen Phase der Höhlenentwicklung zurückzuführen (Kempe, 1972; Kempe et al., 1975; Palmer, 2007: 154). Geneigte Wandflächen konnten beobachtet werden; dass es sich dabei um Laugfacetten handelt, kann von uns jedoch nicht bestätigt werden.

Hochschorner (1997) zufolge handelt es sich bei der flachen Decke der *Vorhalle* um einen ehemaligen Wasserstand, der knapp unter der Höhlendecke zu einer Raumerweiterung führte. Tatsächlich fällt diese aber kontinuierlich bergwärts ab, was zu einem Widerspruch führt. Des Weiteren findet man an der

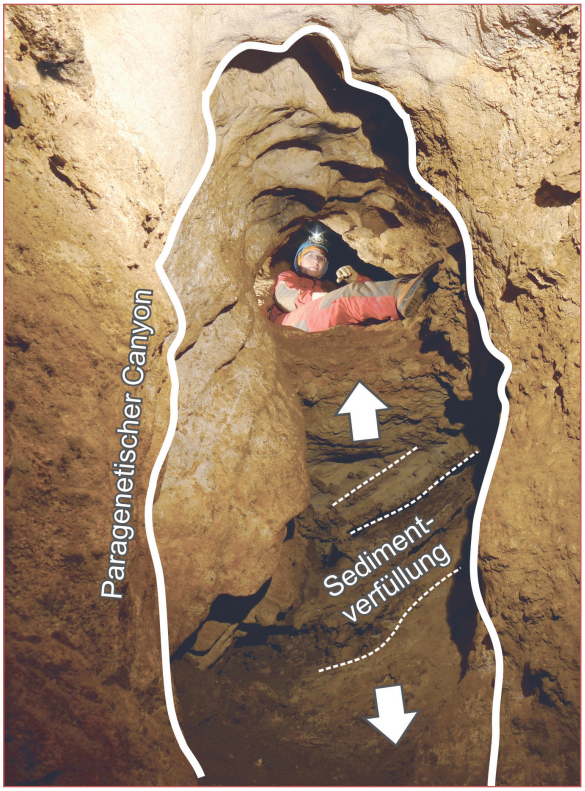

Abb. 13: Ein Sedimentprofil veranschaulicht die Bildung eines durch aufwärts gerichtete Lösung geformten paragenetischen Canyons. Die Sohle ist noch immer mit klastischem Sediment bedeckt. Von hier stammt die Sedimentprobe HH41.
Fig. 13: A sediment profile illustrates the origin of a paragenetic canyon by upward-directed flow. The floor is still covered by clastic sediment. Sediment sample HH41 was taken at this site. Foto: L. Plan

Decke Fließfacetten, die genau wie auch die Hohlkehlen zwischen *Vorhalle* und *Dietrichshalle* eine Fließrichtung bergwärts anzeigen.

Die bisher beschriebenen Gangprofile und Höhlenformen sprechen für eine lange andauernde phreatische Phase der Speläogenese. Sowohl Sedimentation als auch Erosion der klastischen Sedimente scheinen kurze Ereignisse gewesen zu sein, da im Gegensatz zu vielen alpinen Höhlen keine Spuren von Korrosion an den Speläothemen festgestellt werden konnten. Es handelt sich also vermutlich eher um Katastrophenereignisse mit impulsartigem Sedimenteintrag und nicht um lange andauernde Phasen des Wiederanstieges des Karstwasserspiegels. Der einzige nachgewiesene ehemalige Wasserstand im *Sandtunnel* und im *Traumland* – einem der tiefsten Teile des HHS auf 620 m – kann auch mit einem lokalen Rückstau in diesen Teile erklärt werden.

Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass es in der Vergangenheit mehrere Phasen der epiphreatischen oder vadosen korrosiven Hohlraumerweiterung gegeben hat. So könnten zum Beispiel ältere

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

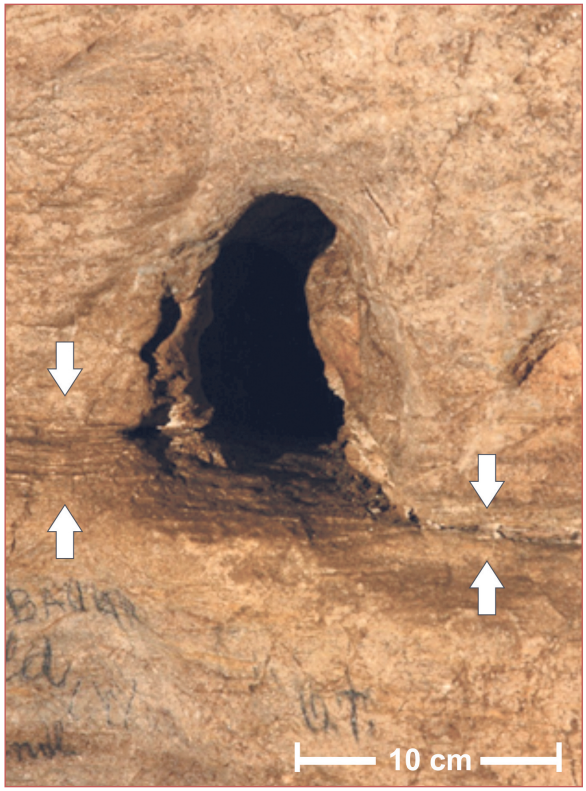

Abb. 14: Paragenetischer Canyon in der Fürstenhalle. Die Initialfuge ist mit Pfeilen markiert.
Fig. 14: Paragenetic canyon in the Fürstenhalle. The initial gap is marked by the arrows. Foto: L. Plan

Abb. 15: Anastomotische Deckenkanäle (Deckenkarren) aus dem mittleren Abschnitt der Hohen Kluft.
Fig. 15: Anastomotic ceiling channels in the middle part of Hohe Kluft. Foto: L. Plan

Speläotheme dadurch vollständig zerstört worden sein, doch können heute keine Spuren mehr davon nachgewiesen werden. Sicher belegen lässt sich im HHS lediglich eine phreatische Phase der aktiven Hohlraumerweiterung. Dass FF über ca. 645 m Seehöhe weitgehend fehlen, könnte als Hinweis gedeutet werden, dass der Karstwasserspiegel in dieser Höhe relativ lange konstant war. Die darüber befindlichen Teile könnten schon deutlich länger trocken liegen und mögliche FF durch Kondenswasserkorrosion überprägt worden sein.

Das auffallendste Merkmal des HHS ist seine sehr labyrinthische Anlage. Wieso entwickelte sich kein bevorzugter Wasserweg, sondern ein dicht verflochtenes Netzwerk von Passagen mit vielen über- und unterlagernden Wegigkeiten und Gängen mehrerer Größenordnungen?

Viele hypogene Höhlen sind als dreidimensionales Labyrinth entwickelt (Palmer, 2007: 197, 2011; Klimchouk, 2007). Auch „feeder"-ähnliche Strukturen und wenige Kuppeln (*Taubenloch*, *Großer Dom*, *Niagarafall*) im HHS lassen auf den ersten Blick auf hypogene Prozesse schließen. Erstere lassen sich allerdings auch durch Paragenese gut erklären, und auch Kuppeln können durch epigene Prozesse entstehen. Weitere Hinweise auf eine hypogene Entstehung fehlen. Es gibt keine charakteristischen Kleinformen (z.B. Lösungstaschen an den Wänden) oder Mineralausfällungen. Weiters sind uns keine Anzeichen für hydrothermale Aktivitäten oder H_2S- bzw. CO_2-reiche Quellen in der Region bekannt. Dagegen gibt es viele Hinweise auf eine epigene Entstehung, wie allochthone Sedimente und hohe Fließgeschwindigkeiten. Zwar ist nicht auszuschließen, dass die primäre Anlage des HHS auf hypogene Prozesse zurückzuführen ist, doch konnte kein eindeutiger Beweis dafür gefunden werden. Für die Entwicklung des (bekannten) HHS spielten sie daher vermutlich – wenn überhaupt – eine untergeordnete Rolle.

Der Grund für die ungewöhnlich labyrinthische Anlage liegt vermutlich im Zusammenwirken mehrerer Faktoren. Entscheidend ist, dass der sogenannte „Durchbruch" (*breakthrough*) unterbunden oder verschoben wird. Dieser beschreibt den Zeitpunkt in der Anfangsphase der phreatischen Höhlenentwicklung, ab dem nicht mehr alle wasserwegsamen Fugen gleichermaßen erweitert werden, sondern eine der Protoröhren schneller. Diese „Siegerröhre" entzieht durch ihren erhöhten Durchfluss den konkurrierenden Röhren das Wasser und damit die Möglichkeit zur Erweiterung (Ford & Williams, 2007).

Die erste Voraussetzung für ein labyrinthisches System ist also das Vorhandensein mehrerer Protoröhren. Um diese ausbilden zu können, spielt die Inklination der Initialfuge eine entscheidende Rolle. Steile Flächen produzieren zumeist nur einzelne Protoröhren, während sich entlang flacher (oft schichtparalleler) Wegigkeiten bis etwa 5° Anastomosen bilden (Ford & Ewers, 1978; Auler, 1999). Damit sich mehrere Gänge gleichzeitig entwickeln können, müssen sie mit einer ähnlichen Rate erweitert werden, unabhängig von

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

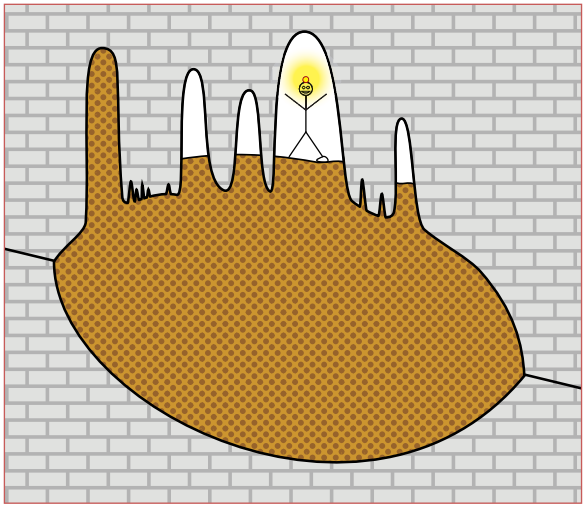

Abb. 16: Schematische Darstellung der Problematik, in einem paragenetischen System zwischen eigenständigen und nur scheinbar eigenständigen Gängen zu unterscheiden.
Fig. 16: Sketch illustrating the difficulty of distinguishing between distinct and only apparently distinct corridors in a paragenetic system.

ihrer Größe oder dem Durchfluss. Generell gibt es dafür mehrere Bedingungen (Palmer, 2007: 197): (1) Es müssen große Durchflussmengen entlang vieler alternierender Wasserwege vorliegen. (2) Der hydraulische Gradient muss über lange Zeiträume steil sein. (3) Die Distanz durch das lösungsfähige Gestein muss kurz sein. (4) Alle großen Öffnungen werden gleichermaßen gespeist. Auler (1999) fügt hinzu, dass die aktiv konkurrierenden Wasserwege aufgrund von Sedimentation bereits in ihrer Anfangsphase paragenetisch erweitert werden können. Selbst wenn sich eine „Siegerröhre“ ausbildet, die das System fast zur Gänze entwässert, kann sie wieder verlegt werden, und andere Gänge werden stattdessen erweitert. Es stellt sich somit innerhalb des Systems ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Sedimentation, Durchfluss und Lösung ein.

Das HHS erfüllt nicht nur eine, sondern fast alle genannten Bedingungen, die zu einer labyrinthischen Anlage führen. Die Marmorscholle des Eulenberges ist klein, weshalb das Wasser nur kurze Distanzen durch das lösungsfähige Gestein zurücklegen musste. Der im Verhältnis zu seiner lateralen Ausdehnung sehr große Höhenunterschied zwischen dem Einzugsgebiet des HHS und dem Vorfluter lässt auf einen steilen hydraulischen Gradienten innerhalb des Karstsystems schließen. Während Hochwasserereignissen kam es zu einem hohen Durchfluss entlang vieler verschiedener Wegsamkeiten. Die paragenetische Überprägung sämtlicher Gänge lässt die Vermutung zu, dass das System seit seiner Entstehung nie über längere Zeit hinweg einen dominanten Wasserweg besaß.

Ein weiterer Faktor nicht nur für den Prozess der Raumerweiterung sondern auch für Wahrnehmung des heutigen Höhlensystems sind die Sedimentreste, die heute noch das Erscheinungsbild des HHS prägen. Da sie große Bereiche der Höhle flächig bedecken, kann man nicht sagen, ob man sich in einem eigenständigen Gang oder nur in einem von mehreren paragenetischen Deckenkanälen befindet (vgl. Abb. 4). So kann es zum Beispiel vorkommen, dass parallel verlaufende Gänge eine gemeinsame Basis bzw. eine gemeinsame initiale Röhre haben, die heute mit Sediment verfüllt ist (Abb. 16). Auf diese Weise erhöht alleine die Präsenz des Sediments bereits den labyrinthischen Charakter einer paragenetisch geprägten Höhle.

Sedimente

Die fluviatilen Ablagerungen in Höhlen lassen sich nach Bosch & White (2004) unterschiedlichen Fazies zuordnen. Die sehr schlecht sortierten Sedimente (Typ 4) stammen aus der Diamicton Fazies. Diese Ablagerungen sind auf Flutereignisse zurückzuführen. Sie setzen sich aus einer Mischung aller Korngrößen zusammen und beinhalten Steine mit bis zu 30 cm Durchmesser. Um solche Komponenten zu transportieren, werden Fließgeschwindigkeiten von etwa 1,7 m/s benötigt (Hjulström, 1935). Dieser Wert korreliert gut mit den kleinen FF am *Steinigen Weg*, die bei Geschwindigkeiten von 1,5 m/s entstanden. Die sehr feinkörnigen Sedimente (Typ 1) gehören zur *Slackwater* Fazies und sind Ablagerungen des Stillwasserbereiches. Sie deuten auf die Bildung von Rückstaubereichen nach Flutereignissen und in weiterer Folge langsame Sedimentation hin. Die mäßig sortierten feinsandigen Schluffe und schluffigen Feinsande (Typ 2) könnten ebenfalls zur Slackwater Fazies gehören oder aber möglicherweise auch zur *Channel* Fazies. Letztere besteht in der Regel aus einer Abfolge klar abgegrenzter Lagen gut sortierter Sedimente. In diese Fazies dürften auch die sehr gut sortierten Feinsande (Typ 3) fallen. Möglicherweise kam es während des Transportes zu einem Abfall der Fließgeschwindigkeit, so dass diese aus der Suspension sedimentierten, die Tone und Silte jedoch weiter transportiert wurden. Die für diese Separation nötige Geschwindigkeit liegt zwischen 1,9 und 0,45 cm/s. Unwahrscheinlich ist, dass das Sediment bereits sortiert in die Höhle eingebracht wurde.

Dass das HHS heute überhaupt befahrbar ist, bedeutet, dass das für die Paragenese des Höhlensystems verantwortliche Sediment abtransportiert worden sein muss. Es stellt sich somit die Frage nach dessen Ver-

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

bleib. Es ist anzunehmen, dass das HHS zum Otterbach hin entwässerte und dieser als Vorfluter für die phreatische Hohlraumentwicklung maßgeblich war. Es gibt keine bekannten Quellaustritte für die rezent wasseraktiven Teile des HHS, obwohl Mrkos (1997) von einem Hinweis in Jäger (1873) auf einen solchen Quellaustritt spricht. Dieser konnte aber nie nachgewiesen werden. Am südwestlichen Fuß (590 m) des Eulenberges befinden sich zwei phreatische Höhlen (Koderholdlucke (2871/9) und Koderholdspalte (2871/10); Abb. 1) mit paragenetischer Überprägung; möglicherweise gehören sie ebenfalls zum HHS. Die innerhalb des HHS ermittelte Fließrichtung des Wassers und damit auch die Transportrichtung des Sedimentes deuten in Richtung dieser beiden Höhlen. Es kann jedoch kein Zusammenhang nachgewiesen werden, da beide Höhlen bereits nach wenigen Metern mit Sediment verlegt sind und keine Paläofließrichtungsindikatoren aufweisen.

Es ist naheliegend, dass der Großteil der Sedimente des HHS in tiefere Bereiche des Karstsystems befördert wurde, doch ist dessen Aufnahmekapazität natürlich begrenzt. Der immense Reichtum klastischer Sedimente des HHS – auch in den heute zugänglichen Bereichen – legt nahe, dass es häufig zu einem Rückstau gekommen sein muss. Kempe & Mrkos (1991) lieferten eine interessante Erklärung, wie das Sediment dennoch verlagert werden konnte: „Als letzte Phase der Höhlenentwicklung ist die noch andauernde Erweiterung der Räume auf dem Niveau des heutigen Vorfluters (unter 600 m Höhe) zu nennen. Dies bewirkt ein ständiges Absacken der […] Sedimente und hat die Hermannshöhle in weiten Teilen überhaupt erst zugänglich gemacht.“ Es ist durchaus denkbar, dass zumindest ein Teil der Sedimente, die aus dem heute bekannten HHS ausgeräumt wurden, in tiefer gelegene Bereiche des Karstsystems transportiert wurden. Das dazu nötige Volumen wurde (und wird noch rezent) durch phreatische (paragenetische?) Hohlraumerweiterung in den aktiven Teilen des HHS geschaffen.

Altersdatierung und regionale Rückschlüsse

Die Ergebnisse der ^{230}Th/U-Datierungen zeigen, dass Teile des HHS bereits vor über 500 ka trocken gewesen sein müssen. Die ältesten Proben stammen dabei aus mittlerer Höhe im HHS, auf etwa 640 m, und der etwas höher gelegenen *Paradieshalle* (660 m). Es ist anzunehmen, dass Proben aus höheren Bereichen noch ältere Alter liefern könnten. Generell kann beobachtet werden, dass alte Proben eher in hohen Bereichen des HHS zu finden sind, während junge Proben sich auf die tiefer liegenden Bereiche beschränken. Dies deutet auf ein langsames Absinken des Karstwasserspiegels und das sukzessive Trockenfallen der einzelnen Höhlenabschnitte hin. Es zeigt sich des Weiteren, dass auch tiefe Teile des HHS (z.B. *Wasserschloss*) bereits vor etwa 125 ka trocken waren, obwohl diese heute auf oder sogar unter dem Niveau des Ramsbaches liegen. Frühere Autoren versuchten oft, einen Bezug zwischen den heutigen Höhleneingängen und den ehemaligen hydrologischen Verhältnissen herzustellen (Kempe & Mrkos, 1991; Mrkos, 1997). Dabei wurden die *Windlöcher* als „Schwinden“ und das *Taubenloch* als „Überfallsquelle“ angesprochen. Da viele Höhlenteile jedoch älter als 500 ka sind, muss ein bedeutender Oberflächenabtrag berücksichtigt werden. Pavuza (1997) errechnete einen lösungsbedingten Kalkabtrag von rund 50 µm/a, was für 500 ka 25 m ergibt. Gerade in den Kaltzeiten des Quartärs ist aber mit bedeutender Frostschuttbildung und mechanischer Erosion zu rechnen, was diesen Wert um ein Mehrfaches erhöht. Die Höhleneingänge sind also willkürliche Verschnitte mit der heutigen lokalen Landoberfläche, und entsprechende Korrelationen sind daher nicht möglich. Der logische Austrittpunkt für die Entwässerung des Eulenbergs liegt an dessen tiefstem Punkt an der Südostseite, im Bereich des Zusammenflusses von Rams- und Otterbach. Daher ist die aus Indikatoren wie FF und Imbrikationen abgeleitete generell westwärts gerichtete Paläofließrichtung schwierig zu interpretieren. Diese steht normal zur südwärts gerichteten Entwässerung des Ramsbaches und entgegen der heutigen Fließrichtung des Otterbaches. Die plausibelste Erklärung für einen wahrscheinlich im Westen gelegenen Austritt des Systems ist, dass der Bereich im Südosten durch nicht-verkarstungsfähige Gesteine oder durch Sedimente blockiert war.

Eine andere mögliche – oder auch ergänzende – Begründung wäre, dass zur Zeit der Höhlengenese im Osten und Südosten des Eulenberges noch die Schiefer und Gneise des Grobgneiskomplexes anstanden. Durch Ponore, Schwinden und Klüfte an der Oberfläche des Marmors hätte Wasser von dort infiltrieren können. Der Austritt bzw. (Wieder-)Eintritt in den Grundwasserkörper des Kirchberger Tals wäre trotz dessen ostwärts gerichteter Entwässerung auf der Westseite des Eulenberges, wo die tertiären Sedimente lagerten, zu erwarten.

Früheren Autoren zufolge scheint es außerdem eindeutig, dass die Entwicklung der Hermannshöhle mit der tektonischen Absenkung des Kirchberger Beckens (Waldner, 1942) und der Ausbildung des Ramsbaches sowie dessen Durchbruch nach Süden ins Kirchberger Tal untrennbar verbunden ist (Waldner, 1942; Mrkos, 1997). Waldner (1942) postulierte einen früheren

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

Abfluss des Ramsbaches über den Sattel des Eulenberges (720 m) nach (Süd)Westen. Diese Annahme kann weder bestätigt noch widerlegt werden. Da der Eulenbergsattel deutlich höher liegt als die höchsten Teile des HHS, ist diese Entwicklung für die heute bekannten Teile nicht relevant. Durchaus wahrscheinlich ist ein ehemals durchgehender Karbonatrücken zwischen Eulenberg und Kernstockwarte, an dessen Nordseite die Wässer in das Karstsystem infiltrierten. Ab wann Teile bzw. ein Großteil (wie heute) des Ramsbaches oberirdisch abflossen, kann auch aufgrund der neuen Datenlage nicht gesagt werden. Es scheint jedoch nicht ausgeschlossen, dass der Ramsbach ein junges Element ist, das entlang einer kleineren Nord-Süd-gerichteten Störung entstanden ist. Solche Störungen sind auch im Nordwesten des Eulenberges, zwischen Otterthal und Gloggnitz, zu finden, und diese Bewegung stimmt mit den innerhalb des HHS gefundenen strukturellen Elementen überein.

SCHLUSSFOLGERUNG

Das Hermannshöhlensystem im Eulenberg repräsentiert ein eindrucksvolles Beispiel für Kontaktkarst, der durch die Infiltration ungesättigter Wässer aus dem nördlich gelegenen Gneis-Schiefer-Komplex gebildet wurde. Der tektonisch stark beanspruchte Marmor zeigt auf fast allen Bewegungsflächen Slickolite-Striae, jedoch keine Störungen mit markantem Versatz. Alle Höhlenformen können durch epigene phreatische Bildung erklärt werden. Epiphreatische und vadose Phasen scheinen speläogenetisch nicht relevant gewesen zu sein, sondern führten lediglich zu Sedimentumlagerung. Für eine hypogene Entstehung konnten keine Nachweise gefunden werden.

Das HHS weist eine Vielzahl paragenetischer Groß- und Kleinformen auf. Dazu zählen die Canyon-Form der Gänge, Deckenkanäle und Deckenmäander, Deckenkarren, Deckenkolke und *Pendants* sowie paragenetische Lösungsrampen. Relikte früherer Sedimentverfüllungen, aber auch die rezente Bedeckung der Sohle prägen entscheidend das Erscheinungsbild der Höhle. Die allochthonen alluvialen Sedimente sind sehr heterogen hinsichtlich ihre Korngrößenverteilung und Sortierung.

Als Erklärung für die dreidimensionale labyrinthische Anlage der Höhle werden drei Hauptgründe angenommen: Einerseits war die Distanz, die das Wasser durch das lösungsfähige Gestein zurücklegen musste, ziemlich kurz, andererseits gab es während Hochwasserereignissen eine hohe Durchflussmenge entlang vieler verschiedener Wege. Aufgrund der hohen Sedimentfracht wurden Protoröhren verengt oder verstopft, und es kam zur Erweiterung mehrerer Gänge. Die Bildung paragenetischer Bypässe prägte den dreidimensional-labyrinthischen Charakter des HHS entscheidend. Auch die Reste von Sedimentverfüllungen verstärken durch ihren Verbleib im Höhlensystem den Eindruck eines Labyrinths. Der andauernde impulsartige Sedimenteintrag führte schlussendlich zu den verschiedenen Formen von Paragenese, die man heutzutage in der Höhle findet.

Die aus Fließfacetten ermittelte generelle Paläofließrichtung war westwärts gerichtet. Die Fließgeschwindigkeit betrug stellenweise bis zu 1,7 m/s. Dadurch konnten auch sehr grobe Sedimente mit Kantenlängen bis zu 30 cm in die Höhle eingebracht werden.

Obwohl einige Teile des Höhlensystems tiefer liegen als der nahe gelegene Ramsbach, fielen sie bereits vor 125 ka trocken. Auf dem mittleren Niveau des bekannten Höhlensystems findet seit mindestens 500 ka vadose Sinterbildung statt. Da die Genese dieser und der noch höheren Höhlenteile deutlich weiter zurückliegen muss, ist eine Korrelation mit der heutigen Oberflächenmorphologie nicht möglich. Die räumliche und zeitliche Verteilung der datierten Sinter sowie das Fehlen korrodierter Speläotheme sprechen im Gegensatz zu früheren Vorstellungen, wo mehrere Phasen der Speläogenese angenommen wurden, für *eine* speläogenetisch markante phreatische Phase und für ein kontinuierliches Absinken des Karstwasserspiegels.

DANK

Wir danken dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) für die finanzielle Unterstützung, die in Form des FEMtech Praktikums gewährt wurde. Weiters danken wir dem Hermannshöhlen-Forschungs- und Erhaltungsverein für die logistische und finanzielle Unterstützung. Harald Zeitlhofer unterstützte uns in punkto SPELIX. Besonderer Dank gilt Philippe Audra, Augusto Auler, Ivo Baron, Harald Bauer, Mathias Bichler, Steffen Birk, Pavel Bosák, Kurt Decker, Yuri Dublyansky, Thomas Exel, Susanne Gier, Philipp Häuselmann, Sabine Hruby-Nichtenberger, Pauline Oberender, Rudolf

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

Pavuza, Petr Pruner, Doris Rupprecht, Christoph Spötl und Jo De Waele für ihre Unterstützung während der Feld- und Laborarbeit sowie der äußerst produktiven Diskussionen. Außerdem danken wir dem Max Planck Institut für Chemie, Mainz, für die Nutzung der Labore und Massenspektrometer.

LITERATUR

Audra, P. & Palmer, A. N. (2011): The pattern of caves: controls of epigenic speleogenesis. – Géomorphologie: relief, processus, environnement, 2011: 359–378.

Auler, A. S. (1999): Karst Evolution and Palaeoclimate in Eastern Brazil. – Unveröff. Diss. University of Bristol.

Bosch, R. F. & White, W. B. (2004): Lithofacies and transport of clastic sediments in karstic aquifers. – In: I. D. Sasowsky & J. Mylroie (Eds.): Studies of cave sediments: Physical and chemical record of paleoclimate. Dortrecht: Kluwer: 1–22.

Curl, R.L. (1974): Deducing flow velocity in cave conduits from scallops. – The NSS Bulletin, 36 (2): 1–5.

Ebner, F., Sachsenhofer, R. F. & Schwendt, A. (1991): Das Tertiär von Kirchberg am Wechsel. – Mitt. naturwiss. Ver. Steiermark, 121: 119–127.

Farrant, A. R. & Smart, P. L. (2011): Role of sediment in speleogenesis; sedimentation and paragenesis. – Geomorphology, 134: 79–93.

Faupl, P. (1970): Zur Geologie und Petrographie des südlichen Wechselgebietes. – Mitt. Geol. Ges., 63: 22–51.

Fink, M. H. (1974): Studien über Canyons in alpinen Höhlen. – Abh. V. Int. Kongr. f. Speläologie Stuttgart (3): 45/1–3.

Ford, D. C. & Ewers, R. O. (1978): The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth. – Canadian Journal of Earth Sciences (15), 1783–1798.

Ford, D. C. & Williams, P. W. (2007): Karst hydrology and geomorphology. – Wiley, Chichester.

Götzinger, M. & Wagreich, M. (2006): Geologie der Steiermark. Exkursionsführer. http://www.univie.ac.at/Mineralogie/docs/Geologie_der_Steiermark.pdf.

Hartmann, H. & Hartmann, W. (1997): Beschreibung der Hermannshöhle. In: Hartmann, H., Hartmann, W. & Mrkos H. (Red.), Die Hermannshöhle. – Die Höhle, Beiheft Nr. 50: 59–82.

Hartmann, H., Hartmann, W. & Mkros, H. (Red.) (1997): Die Hermannshöhle. – Die Höhle, Beiheft Nr. 50.

Herrmann, P., Mandl, G. W., Matura, A., Neubauer, F., Riedmüller, G. & Tollmann, A. (1992): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000: Blatt 105 Neunkirchen. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

Hjulström, F. (1935): Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by River Fyriers. – Bulletin of the Geol. Inst., University of Uppsala, 25: 221–527.

Hochschorner, K. H. (1997): Der Formenschatz der Hermannshöhle, In: Hartmann, H., Hartmann, W. & Mrkos H. (Red.), Die Hermannshöhle. – Die Höhle, Beiheft Nr. 50: 101–106.

Jäger, G. (1873): Der Wechsel und sein Gebiet in Nieder-Oesterreich und der Steiermark. – Der Tourist V, 13-16 (Wien): 248 ff.

Kempe, S. & Mrkos, H. (1991): Zur Speläogenese der Hermannshöhle bei Kirchberg am Wechsel / Niederösterreich. – Mitt. Verb. dt. Höhlen- und Karstforsch, 37 (4), 76–81.

Kempe, S. (1972): Cave genesis in gypsum, with particular reference to underwater conditions. – Cave Science, 49, 1–6.

Kempe, S., Brandt, A., Seeger, M. & Vladi, G. (1975): „Facetten“ and „Laugdecken“: Typical morphological elements of caves developed in standing water. – Annales de Spéléologie, 30 (4), 705–708.

Klimchouk, A. (2007): Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective. – Special Paper no. 1, National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad, NM.

Klimchouk, A. (2009): Morphogenesis of hypogenic caves. – Geomorphology, 106: 100–117.

Klimchouk, A. B., Ford, D. C., Palmer, A. N. & Dreybrodt, W. (2000): Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers. – National Speleological Society, Huntsville, Alabama (USA).

Lauritzen, S.-E. & Lundberg, J. (2000): Solutional and erosional morphology. – In: Klimchouk, A. B., Ford, D. C., Palmer, A. N. & Dreybrodt, W. (Hrsg.): Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers. – National Speleological Society, Huntsville, Alabama (USA): 408–426.

Means, W. D. (1987): A newly recognized type of slickenside striation. – Journal of Structural Geology, 9 (5-6): 585–590.

Mrkos, H. (1997): Zur Entstehung der Herrmannhöhle. In: Hartmann, H., Hartmann, W. & Mrkos, H. (Red.), Die Hermannshöhle. – Die Höhle, Beiheft Nr. 50: 89–100.

Müller, W. (1994): Neue chronologische und strukturgeologische Daten zur geodynamischen Entwicklung des nördlichen Semmering- und Wechsel-Gebietes (Niederösterreich). – Unveröff. Dip. Arb. Univ. Wien.

NÖ-Atlas (2013): Land Niederösterreich, NÖ Atlas. – http://atlas.noe.gv.at.

Palmer, A. N. (1975): The origin of maze caves. – Natl. Speleol. Soc. Bull., 37: 56–76.

Palmer, A. N. (2007): Cave Geology. – Cave Books, Dayton.

Palmer, A. N. (2011): Distinction between epigenic and hypogenic maze caves. – Geomorphology, 134: 9–22.

Pavuza, R. (1997): Hydrogeologische Aspekte der Hermannshöhle bei Kirchberg am Wechsel, In: Hartmann, H., Hartmann, W. & Mrkos, H. (Red.), Die Hermannshöhle. – Die Höhle, Beiheft Nr. 50: 89-100.

Pfarr, T., Seebacher, R. & Plan, L. (2014): Die längsten und tiefsten Höhlen Österreichs. – www.hoehle.org/long&deep.php, abgerufen 01.2014.

Plan, L. (2013): Paragenese – ein häufiges Phänomen ostalpiner Höhlen. – Die Höhle, 64 (1–): 3–14.

Ramsay, J. G. & Huber, M. I. (1987): The Techniques of Modern Structural Geology: Folds and Fractures. – Academic Press, London.

Renault, Ph. (1968): Contribution à l' étude des actions mécaniques et sédimentologiques dans la spéléogenèse.

© Verband Österreichischer Höhlenforscher, download unter wwwzobodat.at

3e partie: Les facteurs sédimentologiques. – Annales de Spéléologie, 23(3): 529–596.
Schober, A. (2014): Speläogenese der Hermannshöhle (Kirchberg/Wechsel, NÖ). – Unveröff. Masterarbeit, Univ. Wien.
Seemann, R. (1997): Sediment- und Mineralinhalt der Hermannshöhle, In: Hartmann, H., Hartmann, W. & Mrkos, H. (Red.), Die Hermannshöhle. – Die Höhle, Beiheft Nr. 50: 107–132.
Seemann, R., Geyh, M. A. & Franke, H. W. (1997): Altersbestimmung an Sinter- und Tropfsteinformationen der Hermannhöhle, In: Hartmann, H., Hartmann, W. & Mrkos, H. (Red.), Die Hermannshöhle. – Die Höhle, Beiheft Nr. 50: 133–146.
Spelix (2013): http://spelix.hoehlenforschung.at/
Tollmann, A. (1959): Der Deckenbau der Ostalpen auf Grund der Neuuntersuchungen des zentralalpinen Mesozoikums. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 10, 1–62.
Waldner, F. (1942): Die Hermannshöhle und die übrigen Höhlen im Eulenberge bei Kirchberg am Wechsel, Niederdonau. – Wien–Leipzig (Niederdonau / Natur und Kultur, 15).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Die Höhle

Jahr/Year: 2014

Band/Volume: 65

Autor(en)/Author(s):

Artikel/Article: Genese der Hermannshöhle (Kirchberg/Wechsel, NÖ) 25-46