



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

Röhrenkarren als Indiz für einen spätglazialen, durch eine Massenbewegung aufgestauten See (Hohenberg, NÖ)

Verfasst von / submitted by

Tobias Stöger, BSc

Angestrebter akademischer Grad / in partial fulfillment of the requirements for the degree of

Master of Science (MSc)

Wien, 2017 / Vienna, 2017

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

A 066 815

Studienrichtung lt. Studienblatt/
Degree programme as it appears on
the student record sheet:

Erdwissenschaften

Betreut von / Supervisor:

PD Mag. Dr. Erich Draganits

Danksagung

Zunächst möchte ich mich bei allen bedanken, die mir das Erstellen dieser Arbeit ermöglicht und erleichtert, sowie mir in allen Lagen zur Seite gestanden und mich mit Hilfe und Kritik angeregt haben.

Besonders großer Dank gebührt Erich Draganits für die Übernahme und Korrektur der Masterarbeit, sowie für seine stetige Hilfe und Beratung, im geomorphologischen und geologischen Fachbereich und das Anraten wichtiger literarischer Werke in Bezug auf Geomorphologie und Sedimentanalysen.

Meine nächste große Danksagung richtet sich an Lukas Plan, Karst- und Höhlenforscher am Naturhistorischen Museum Wien, für seine großartige Hilfe bei der Heranführung an Karstprozesse, Höhlenbildung, Vermessungswesen, sowie deren Digitalisierungen. Er stand stets für jegliche Hilfestellung zur Verfügung, welche sich in praktischen Abhandlungen, sowie in der Unterstützung bei der Verfassung und Recherche der Arbeit äußerte. Weiters möchte ich mich für die Geländebegehungen mit ihm und einigen seiner Mitarbeiter sehr herzlich bedanken.

Michael Simms vom National Museum of Northern Ireland möchte ich zunächst für seine Vorarbeiten in den Bereichen Röhrenkarren und Phytokarst bedanken. Sein Kontakt und seine Motivation im Bezug auf Karststrukturen und seine Bestätigung, dass es sich bei den Lösungsstrukturen in St. Aegydam Neuwalde um Röhrenkarren handelt, war, zusammen mit den von ihm aufgenommenen Daten, äußerst hilfreich.

Besonderer Dank geht auch an Susanne Gier für ihren Beistand und ihre Hilfe im Fachgebiet Sedimentologie. Bei der Charakterisierung der Sedimentproben durch Korngrößenfraktionierung, sowie auch bei der XRD-Analyse war ihr Beistand stets vorbildlich und hilfreich. In den sedimentologischen Laborarbeiten wurde ich erneut von ihr eingewiesen und sie hatte immer einen guten Rat zur Seite.

Ein weiterer Dank geht an Frau Maria Meszar, welche mir ebenfalls im Labor zur Seite stand und deren Hilfe sehr nützlich war. Bei der Einweisung und Bedienung des Sedigraphen war ich sehr dankbar für ihre Anwesenheit und Hilfe.

Bei Petra Heinz möchte ich mich für die erste grobe Eingliederung der vorgefundenen Organismen und dem Fotografieren dieser bedanken.

Johann Waringer gebührt mein besonderer Dank für die problemlose und rasche Charakterisierung der Organismen als limnische Lebensformen.

Ein weiterer Dank geht an Peter Heindl, Inhaber der Schottergrube in St. Aegydam Neuwalde für die Erlaubnis zur Begehung und oberflächlichen Untersuchung des Schotterkörpers auf dem Firmen- und Privatgelände.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Kommilitonen und Freunden bedanken, welche immer ein offenes Ohr für Probleme und Diskussionen hatten und mir die Zeit des Studiums verschönert haben.

Abschließend geht noch ein ganz besonderer Dank an meine Eltern, Martin und Monika Stöger, welche mir ebenfalls immer Seite stehen und mir das gesamte Studium durch emotionalen und finanziellen Beistand erst ermöglichen.

Tobias Stöger

Wien, 10.06.2017

Zusammenfassung

Seit 1933 sind in eine Vielzahl von Lösungslöchern unter Überhängen und an der Decke kleiner Höhlen in Karbonatgesteinen in einem Gebiet der Nördlichen Kalkalpen in Niederösterreich bekannt, welche jedoch bis heute nicht genauer untersucht wurden. Diese röhrenförmigen Strukturen haben einen Durchmesser von wenigen cm und verlaufen vertikal nach oben in mitteltriassische Kalkgesteine hinein. Sehr ähnliche Erscheinungen wurden von Simms (2002) an den Ufern von drei Seen in Westirland beschrieben und als *Röhrenkarren* oder *tube karren* bezeichnet. Nach diesen Beschreibungen wurden sie durch Lösung von kondensierten Wassertröpfchen in Luftblasen gebildet, welche sich durch saisonale Wasserspiegelschwankungen unter den Überhängen eingefangen haben. Dieses Phänomen wurde an beiden Seiten des Unrechtraisen Tals zwischen St. Aegydt am Neuwalde und Hohenberg südlich von Stadt St. Pölten aufgenommen und charakterisiert. Heute befindet sich an dieser Stelle kein See und es sind auch keine Aufzeichnungen eines Paläosees in diesem Gebiet bekannt. Basierend auf hochauflösenden topographischen Daten, die mittels airborne laserscanning (ALS) gewonnen wurden, und Geländebegehungen wurde in einem schmalen Tal etwas flussabwärts der gefundenen Röhrenkarren eine bisher unbekannte Massenbewegung kartiert. Die tonig siltigen Sedimente flussaufwärts wurden als Paläoseesedimente charakterisiert. Diese Interpretation wird durch das Auftreten von Libellen- oder Strudelwurmeiern in den Feinsedimenten unterstrichen. Die gleichen Sedimente wurden teilweise auch in den Röhrenkarren vorgefunden. Diese Beobachtungen wurden so interpretiert, dass sich ein durch Massenbewegung induzierter Stausee durch das Blockieren des Flusstales gebildet hat und saisonale Wasserspiegelschwankungen zur Bildung der Röhrenkarren geführt haben. Geochronologische Datierungen von Sinterbildungen an den Röhrenkarren, sowie des organischen Materials der vorgefundenen Organismen sind in Bearbeitung. Durch die relativ geringe Verwitterung der Röhrenkarren und die Form der Massenbewegung wird ein spät quartäres Alter angenommen.

Abstract

At least since 1933 numerous small dissolutional holes in the ceilings of overhangs and small caves have been known from a restricted area in the Northern Calcareous Alps in Lower Austria but they have not been investigated yet. These tube-shaped structures are a few centimetres in diameter, more or less vertical, taper upwards, are closed at the top and penetrate some tens of centimetres into the Middle Triassic limestone. Very similar features were described by Simms (2002) from the shores of three lakes in western Ireland and termed *Röhrenkarren* or *tube karren*. According to his model they formed by condensation corrosion within air pockets trapped by seasonal floods. The features investigated in the present study occur on both sides of the Unrechtraisen valley in the north eastern part of the Northern Calcareous Alps south of the city Sankt Pölten. Presently there is no lake and so

far no paleo lake is known from this area. Based on airborne laser scanning data (ALS) and field observations in a narrow section of the valley downstream of the tube karren sites, a previously unknown potential fossil landslide was discovered. The silty clay sediments upstream of the landslide are interpreted as palaeo-lake sediments. This interpretation is supported by the existence of abundant dragonfly or Turbellaria eggs within these deposits. The same fine-grained sediments are partly also found inside the tube karren. These observations are interpreted that a landslide-dammed palaeo-lake formed due to the mass movement that blocked the river and the tube karren were formed by seasonal fluctuations of the lake level. Geochronological dating of calcite crusts covering the karren and of the organic material of the dragonfly eggs are in preparation. Based on the observation that the karren features look quite fresh and unweathered and from the diffuse shape of the landslide a late Quaternary age is estimated.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	12
1.1 Bisherige Untersuchungen zum Naturdenkmal	12
1.2 Bisherige Untersuchungen zu Röhrenkarren	14
2. Untersuchungsgebiet	17
2.1 Geographie und Morphologie	17
2.2 Geologie	20
2.3 Hydrologie	25
3. Methodik	26
3.1 Geländebegehung	26
3.2 Vermessung und Dokumentation der Höhlen	27
3.3 Vermessung der Röhrenkarren	29
3.4 Sedimentbeprobung und Analyse	29
3.4.1 Aufbereitung	30
3.4.2 Korngrößenanalyse	30
3.4.3 Röntgendiffraktometrie (XRD)	30
3.4.4 Mikroskopie und biologische Untersuchung	30
4. Ergebnisse	30
4.1 Hydrologische Messdaten	30
4.2 Geländebegehung und Kartierung	32
4.2.1 Geologie und Morphologie	32
4.2.2 Terrassen und Sedimente	34
4.2.3 Massenbewegung	36
4.2.4 Vermessung der Höhlen	39
4.2.5 Vermessung der Röhrenkarren	39
4.3 Sedimentanalyse	42
4.3.1 Korngrößenverteilung	42
4.3.2 Röntgendiffraktometrie (XRD)	43
4.3.3 Mikroskopie und biologische Untersuchung	44

5. Interpretation und Diskussion	45
5.1 Röhrenkarren	45
5.2 Frühere Entstehungsmodelle zu den Röhrenkarren	47
5.3. Bildungsdauer und zeitliche Einordnung der Röhrenkarren	47
5.4. Sedimente	48
5.5 Rekonstruktion eines Aufstauungssees	49
5.5.1 Umfang und Ausdehnung	49
5.5.2 Vergleich mit rezenten Seen	51
5.5.3 Theorien zum Abfließen des Sees	51
6. Schlussfolgerung	52
7. Literatur	53
Anhang	55

1. Einleitung

1933 wurde von der Bezirkshauptmannschaft St. Pölten nördlich der Marktgemeinde St. Aegydt am Neuwalde in Niederösterreich eine geologische Besonderheit als Naturdenkmal erklärt. In einem Verzeichnis der Naturdenkmäler Niederösterreichs von Hofmann (2006) wird diese Erscheinung als „Felsgebilde (Durchlöcherter Kalksteinblöcke)“ mit der Nummer LF-017 angeführt. Unter diversen überhängenden Partien an Felswänden, in kleinen Höhlen und der Unterseite von Gesteinsblöcken treten eine Vielzahl von Löchern im Karbonatgestein auf. Die Löcher haben eine nahezu kreisrunde Öffnung, verlaufen senkrecht nach oben und sind durch eine konzentrisch zulaufende Spitze abgeschlossen. Sie sind an beiden Hängen oberhalb der Unrechtraisen zu finden. In einer Höhle sind auch napfähnliche Strukturen an der aus Kalk bestehenden Sohle ausgebildet. Analoge Strukturen – sowohl die Röhren- als auch die Napfstrukturen – wurden von Simms (1990, 2002) aus Irland beschrieben. Er erklärt diese als Lösungserscheinungen, welche sich an den Ufern von Seen mit starken Seespiegelschwankungen bilden. Simms (1990, 2002) nennt sie *Röhrenkarren* bzw. *tube karren* und erklärt ihre Entstehung durch den Einschluss von Luftblasen an Überhängen während dem Ansteigen des Wasserspiegels. In den eingeschlossenen Luftblasen bildet sich durch die Auflast der Wassersäule ein erhöhter Luft- und CO₂-Partialdruck, was zur Kondensation von Wassertröpfchen am Gestein und einer erhöhten Konzentration von CO₂ in diesen Tröpfchen führt. Dadurch wird die Lösung an der Grenzfläche zwischen Gestein und Kondenswasser deutlich erhöht. Durch die Form der eingeschlossenen Luftblasen bilden sich kreisrunde Lösungsröhren, welche senkrecht nach oben in das Gestein führen. Die napfähnlichen Lösungsstrukturen auf dem Boden werden als „eggbox-pitting“ bezeichnet (Simms & Parkes, 2005).

Da diese Strukturen laut Simms (2002) an Seeufer gebunden sind, kann eine rezente Bildung ausgeschlossen werden, da es in dem Gebiet keinen See gibt. Auch auf den geologischen Karten sind keine Seesedimente verzeichnet und die lokalen quartären Ablagerungen bestehen aus unterschiedlichen, zum Teil Schotterterrassen an den Talhängen und in den Seitentälern der Unrechtraisen.

Ziel dieser Arbeit ist eine Kartierung und morphometrische Charakterisierung der Röhrenkarren, sowie eine morphologische und geologische Kartierungen, mit besonderem Fokus auf die Talform. Die Sedimentproben sollen mittels Korngrößenanalyse, Ermittlung der Mineralzusammensetzung und Bestimmung der organischen Reste Aufschluss über das Ablagerungsmilieu geben.

1.1 Bisherige Untersuchungen zum Naturdenkmal

Naturdenkmale sind Bereiche der Erdoberfläche, welche durch ihre Individualität unter rechtlichen Schutz gestellt wurden; dabei kann es sich sowohl um Bio- als auch um Geotope handeln. Der Begriff wird dabei von Look (1996) folgendermaßen definiert: „*Geotope sind erdgeschichtliche Bildungen der unbelebten Natur, die Erkenntnisse über die Entwicklung der Erde oder des Lebens vermitteln. Sie*

umfassen Aufschlüsse von Gesteinen, Böden, Mineralien und Fossilien, sowie einzelne Naturschöpfungen und natürliche Landschaftsteile. Schutzwürdig sind diejenigen Geotope, die sich durch ihre besondere erdgeschichtliche Bedeutung, Seltenheit, Eigenart oder Schönheit auszeichnen. Für Wissenschaft, Forschung und Lehre, sowie für Natur- und Heimatkunde sind sie Dokumente von besonderem Wert. Sie können insbesondere dann, wenn sie gefährdet sind und vergleichbare Geotope zum Ausgleich nicht zur Verfügung stehen, eines rechtlichen Schutzes bedürfen.“ Die Gesteinsformen und Lösungsstrukturen in den Kalksteinen bei St. Aegydt am Neuwalde wurden 1933 als Naturdenkmal unter Schutz gestellt. Der Bescheid zum Naturdenkmal vom 28.08.1933 (BH St. Pölten, 1933, Land Niederösterreich 2017) wird folgendermaßen begründet: *„[...] wonach die Kalksteinblöcke kreisrunde, eng nebeneinander angeordnete Löcher von Fingerstärke, die verschieden (bis zu ½ m und mehr) in das Gestein hineingehen, aufzeigen. Nach dieser Mitteilung des Direktors der geolog., paläontolog. Abteilung im Naturhistorischen Museum Hofr. Prof. Dr. F. X. Schaffer sollen diese Bildungen in gleicher Weise in Fayûn in Ägypten vorkommen, in unseren Gegenden aber sonst nicht.“* Bereits hier wird eine Bildung durch Lösung angenommen.

Weitere Beschreibungen finden sich in Schlesinger (1941: 13): *„Auch die wissenschaftlich sehr wertvollen, vertikal stehenden Lösungsröhren im Wettersteinkalk bei der Waldmühle in Amt Mitterbach bei St. Aegydt am Neuwalde sind als überaus merkwürdiges Zeugnis einer durch steten nebeneinander erfolgtem Tropfenfall hervorgerufen und durch spätere Kippung der Platten in die heutige Lage gekommenen Erosionserscheinung Naturdenkmale von größtem wissenschaftlichen Wert.“*

In seinen Monographien über Naturdenkmale in Niederösterreich beschreibt Meisinger (1951: 78; 1959: 98) das Phänomen folgendermaßen: *„[...]An einer Stelle ist, vielleicht 5 m bis 6 m lang und etwa 3 m breit vorspringend, ein Felsdach (abri) erhalten, das von senkrecht nach oben eindringenden, fingerdicken Röhren, größtenteils schwammartig durchsetzt ist. Es sind hunderte solcher Löcher vorhanden, die unten meist etwas weiter sind, sich aber nach oben rasch verengen. Die Decke macht oft den Eindruck von scharfen Stalaktiten; ein dünner Überzug von weißen Kalksinter erhöht noch diesen Eindruck. Eine große Anzahl Naturbedingungen müssen zufällig zusammentreffen, um diese Erscheinung zu bewirken. Die Löcher dürften (nach Dacquè) von Kohlensäuregasbläschen, die aus stehenden Gewässern aufstiegen und sich an die Unterseite vorspringender Felsen anpressen, hervorgerufen worden sein. Im Laufe der Jahrzehntausende bildeten sich dann diese Löcher. [...]“* Meisinger nahm bereits ein stehendes Gewässer und eine in-situ Bildung der Lösungsformen an. Er bezieht sich auf ein Phänomen, welches bereits von Edgar Dacquè beschrieben wurde. Dacquè war ein deutscher Geologe und Paläontologe, welcher sich sowohl mit geologisch-morphologischen als auch evolutionsbiologischen Themen beschäftigte. Die Suche nach einem Zitat bezüglich der Theorie mit den Kohlensäuregasbläschen blieb ergebnislos.

Weitere Erwähnungen der Röhrenstrukturen finden sich bei den Beschreibungen der Höhlen im Bereich der Naturdenkmale. Kurz & Mayer (1965) beschreiben die Zöschingshöhle A-D (Höhlenkatasternummer 1835/15) und die St. Aegyder Durchgangshöhle (1835/14), wobei die Deckenstrukturen nur als *wabenförmige Miniaturkolke* erwähnt werden. Hartmann & Hartmann (1982: 54) beschreiben das Phänomen als *zahlreiche bohrlöchlähnliche «Miniaturkolke»* an der Decke von Überhängen.

Heute wird das Naturdenkmal als *Felsgebilde (durchlöcherter Kalksteinblöcke)* mit der Nummer LF-017 geführt (Hofmann, 2006; http://www.noe.gv.at/noe/Naturschutz/Naturdenkmaeler_in_NOe.html).

1.2 Bisherige Untersuchungen zu Röhrenkarren

Simms (2002) und Simms & Parkes (2005) beschreiben dieses Phänomen als erste und benennen es als *Röhrenkarren* bzw. *tube karren* (Abb. 1). Sie beschreiben die Röhrenkarren an drei, durch Flüsse verbundenen Seen in Westirland, nahe einer geologischen Grenze zwischen silikatischen und karbonatischen Gesteinen, wobei die Karsterscheinungen an die Karbonate gebunden sind. Die Röhrenkarren sind ausschließlich an der Decke von Überhängen an den Seeufern des Lough Carra, Mask und Corrib. Diese Seen haben starke Wasserspiegelschwankungen, welche sowohl saisonal als auch unregelmäßig auftreten. Durch den Anstieg des Wassers werden an der Unterseite von Überhängen Luftblasen an Unregelmäßigkeiten der Felsoberfläche eingefangen was zur Bildung der Röhrenkarren führt.

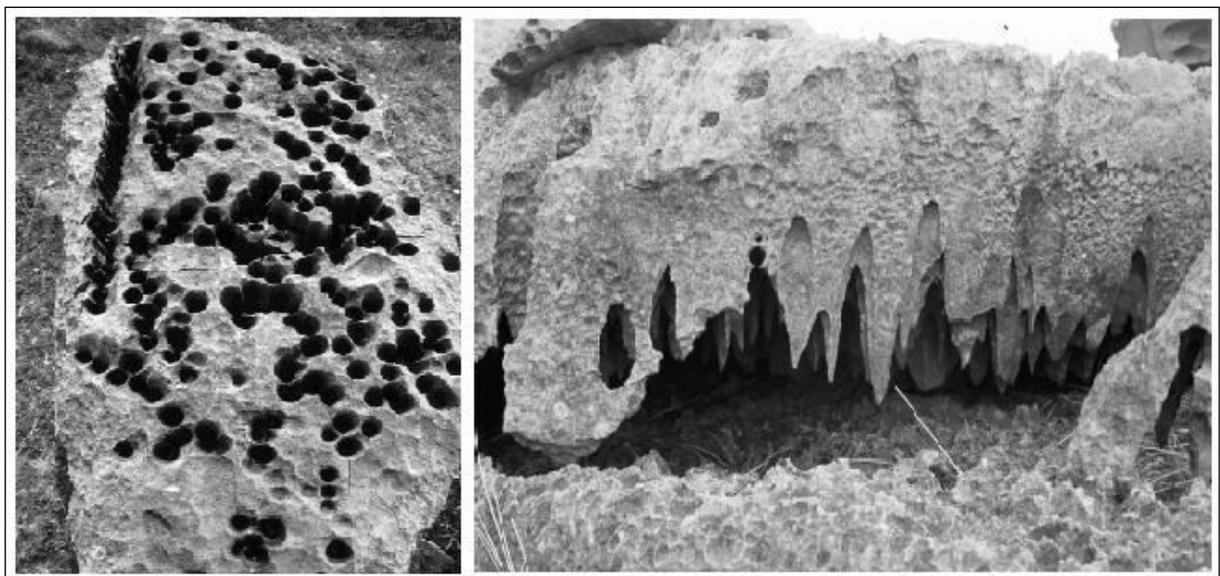


Abb. 1: Röhrenkarren vom Lough Mask aus Simms (2002).

Die Bildungshypothese von Simms (2002) basiert auf Beschreibungen und mathematischen Modellierungen von Lismonde (2000). Dieser beschreibt die Bildung von Deckenkolken an Seeufern durch das Ansteigen des Wasserspiegels und das damit verbundene Einschließen von Luftblasen an der Decke von Überhängen und Höhlen. Lismonde (2000) geht neben der Erhöhung des CO_2 -Partialdrucks weiters von einer isothermen Luftkompression aus, was die Bildung von Kondensat aus

der Luftfeuchtigkeit in den Luftblasen begünstigt. Durch den erhöhten Druck nehmen die gebildeten Dampftröpfchen durch Diffusion CO_2 auf und bilden Kohlensäure, was an der Kontaktfläche zum karbonatischen Gestein zur Lösung des Kalzits führt.

Die Kalzitsättigung des Seewassers hat einen großen Einfluss auf die Morphologie der Röhrenkarren. In stark untersättigten Wässern werden Unebenheiten, an denen sich die Luftblasen einfangen würden, weggelöst und es kommt nicht zu Bildung der Röhrenkarren.

Simms (2002) stellt morphometrische Messungen von Tiefe und Durchmesser der Röhrenkarren in Abhängigkeit ihrer Lokalität in Diagrammen dar, wobei deutliche Unterschiede in den Karrenpopulationen der drei Seen zu erkennen sind. Er interpretiert diese durch unterschiedliche Kalzit-Sättigungen in den Seewässern. Je gesättigter das Wasser ist, desto parallel verlaufen die Wände der Röhrenkarren, bzw. werden die Öffnungen bei untersättigten Wässern gelöst und es entstehen kegelige Formen wie beim Lough Carra. Die zylindrischen Formen treten an den Ufern des Lough Mask auf, da das Wasser durch den längeren Kontakt mit karbonatischen Gesteinen eine höhere Sättigung aufweist. Die Durchmesser-Tiefe-Verteilung der von Simms (2002) aufgenommenen Röhrenkarren sind in Abb. 2 dargestellt.

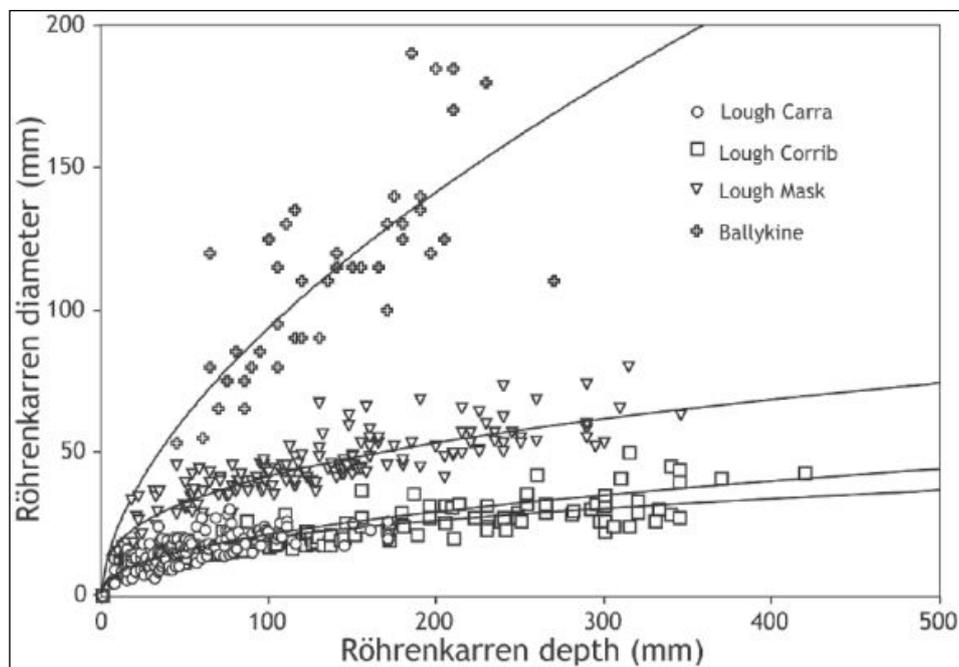


Abb. 2: Tiefe zu Durchmesser der von Simms (2002) aufgenommenen Röhrenkarren in Abhängigkeit ihrer Lokalität.

Laut Lambeck (1996) war das Gebiet in dem sich die Seen Lough Carra, Lough Corrib und Lough Mask befinden bis vor 15 ka noch vergletschert. Durch diese Information schließt Simms (2002), dass es sich um postglaziale Erscheinungen handelt, wodurch eine Bildungsdauer bzw. –geschwindigkeit abgeleitet werden kann.

Dreybrodt et al. (2005) stellen grundlegende physikalische Prinzipien und Gleichungen für die Raten und die Geschwindigkeit der Kondenswasserlösung von Kalk und Gips im Zusammenhang mit eingeschlossenen Luftblasen zwischen Wasser und der Gesteinsoberfläche auf, abhängig von den Temperaturen bzw. Temperaturunterschieden zwischen den Phasen. Durch Feldversuche an Gips in karibischen Höhlen wurde eine Korrosionsrate von $240 \mu\text{m a}^{-1}$ gemessen. Dreybrodt et al. beziehen sich ebenfalls auf die von Simms (2002) aufgenommenen Röhrenkarren in Irland und kommen zu einer Lösungsgeschwindigkeit von $10 \mu\text{m a}^{-1}$ zu Beginn der Lösung. Beim Übersteigen einer Tiefe von 10 cm führen physikalische Gleichgewichte zu einer Abnahme der Lösungsgeschwindigkeit auf $1 \mu\text{m a}^{-1}$.

Simms & Parkes (2005) beschreiben die Verbreitung der Röhrenkarren an den westirischen Seen und charakterisieren weitere Karsterscheinungen. Napfähnliche Strukturen, mit einigen cm Durchmesser und Tiefe, auf leicht geneigten Kalklagen werden als *eggbox pitting* beschrieben. Diese entstehen durch Lösung beim Kontakt mit leicht saurem Seewasser während Überflutungsstadien.

Neben den Fundorten in Westirland sind Röhrenkarren nur von wenigen Orten weltweit bekannt. Woodmorappe (2006) beschreibt die Bildung von Hardgrounds durch Flutereignisse aus dem Ordovizium anhand der Gesteine in der Ceasars Site in Ohio (USA). Hierzu benutzt er die Fraß- und Bohrspuren verschiedener Organismen an den unterschiedlichen Morphologien der Ablagerungen und beweist damit die Verhärtung der Sedimente vor der erneuten Überlagerung. Im Zusammenhang mit den Bohrlochformen erwähnt er ebenfalls Röhrenkarren, wobei er sich auf Simms (2002) bezieht, als eventuell fortführende Eintiefung durch den Einschluss von Luftblasen in Fraß- und Bohrspuren.

Elorza & Higuera-Ruiz (2016) beschrieben neben anderen Lösungsstrukturen auch Röhrenkarren von der spanischen Nordküste in Kantabrien, wobei sie sich auf Simms (2002) und Simms & Parkes (2005) beziehen. Gestützt auf morphometrische Untersuchungen werden Bildungsmechanismen und mögliche Bildungszeiträume rekonstruiert. Der visuelle Vergleich der von Simms (2002) aufgenommenen Röhrenkarren (Abb. 1) mit den in St. Aegyde am Neuwalde auftretenden Karststrukturen (Abb. 3) zeigt die starke Übereinstimmung in Aussehen, Form und Größe.



Abb. 3: Verschiedene Ansichten von schräg unten von Röhrenkarren an beiden Seiten der Unrechttraisen

2. Untersuchungsgebiet

2.1 Geographie und Morphologie

Das Untersuchungsgebiet liegt im Tal der Unrechttraisen zwischen den Gemeinden St. Aegydt am Neuwalde im Süden und Hohenberg im Norden im Bezirk Lilienfeld. Das Naturdenkmal mit den Röhrenkarren befindet sich an der Grenze der beiden Gemeinden nördlich der Siedlung In der Walk. Die Lage des Untersuchungsgebietes ist in Abb. 4 und Abb. 5 dargestellt.

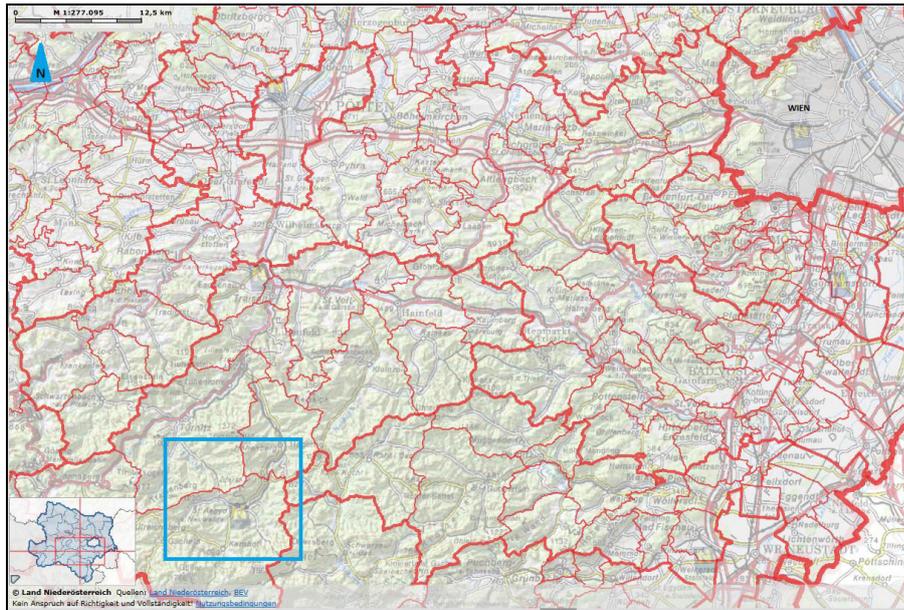


Abb. 4: Übersichtskarte der Lage des Gebietes (Blaues Rechteck) in NÖ (Quelle: <http://atlas.noe.gv.at/>, 2017).

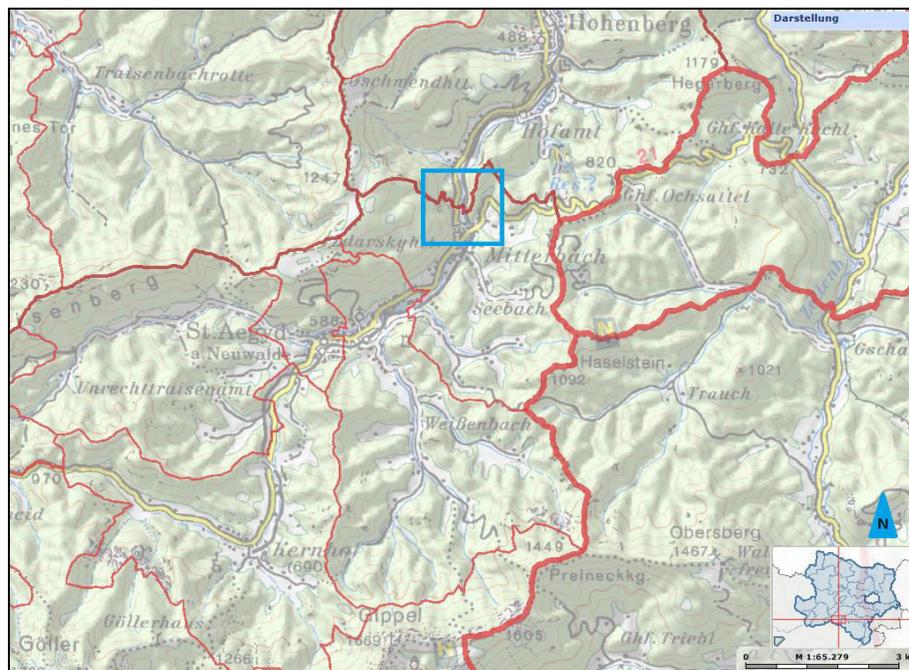


Abb. 5: Das blaue Rechteck zeigt die Lurgenge und umgrenzt die Fundorte der Röhrenkarren (Quelle: <http://atlas.noe.gv.at/>, 2017).

Die Unrechtraisen, ein Zufluss der Traisen, entspringt südwestlich von St. Aegyd am Neuwalde an der Nordseite des Göllers (1766 m) und des Gippels (1629 m). Bei St. Aegyd fließt der Kehrbach in die Unrechtraisen. Im Bereich von St. Aegyd ist eine bis zu 400 m breite Talsohle ausgebildet, welche von beiden Seiten mit Großteils bewaldeten Hängen begrenzt wird. Die aus Dolomit aufgebauten Hänge im Süden weisen eine relativ flache Neigung im Vergleich zu den Kalkhängen im Norden auf.

Flussabwärts durchfließt die Unrechtraisen die Siedlung *In der Walk* und anschließend eine Passage mit schmalerer Talsohle, welche in Abb. 7 dargestellt ist und von Spengler (1931: 79) als

„*schluchtartige Talstück der Traisen zwischen Walchmühle und Thorhof (Lurgenge)*“ beschrieben wurde. Im oberen Teil dieses Talabschnitts befinden sich an beiden Seiten steile, mit kleinen Felswänden durchsetzte Hänge, die aus Gutensteiner-, Wetterstein- und Raiflangerkalk aufgebaut sind (Wesseley, 2006). In diesem Bereich finden sich an fast allen überhängenden Wandpartien an beiden Talseiten Röhrenkarren.

Im unteren Abschnitt der *Lurgenge* verschmälert sich das Tal und an der östlichen Seite tritt eine bis zu 70 m hohe Felswand von Wettersteinkalken auf. Die westliche Seite wird von einer diffus begrenzten Gesteinsmasse aufgebaut, die mit einem 38° steilen Hang von 650 Meter über Adria (m.ü.A.) auf ca. 540 m.ü.A. zur Talsohle abfällt. Der in Abb. 6 dargestellte Körper, zeigt einen dreieckigen Grundriss, nord- und südwärts gleichmäßig einfallende Hänge und gegen Osten hin einen steileren Abfall bis zur Unrechtraisen.



Abb. 6: Diffus begrenzte Gesteinsmasse, Blickrichtung nach Norden.

Nördlich, im Bereich Thorhof, verbreitert sich das Tal wieder deutlich und bis kurz vor Außerfahrafeld, wo die Unrechtraisen in die Traisen mündet, ist überall ein 80 bis 450 m breiter Talboden ausgebildet.

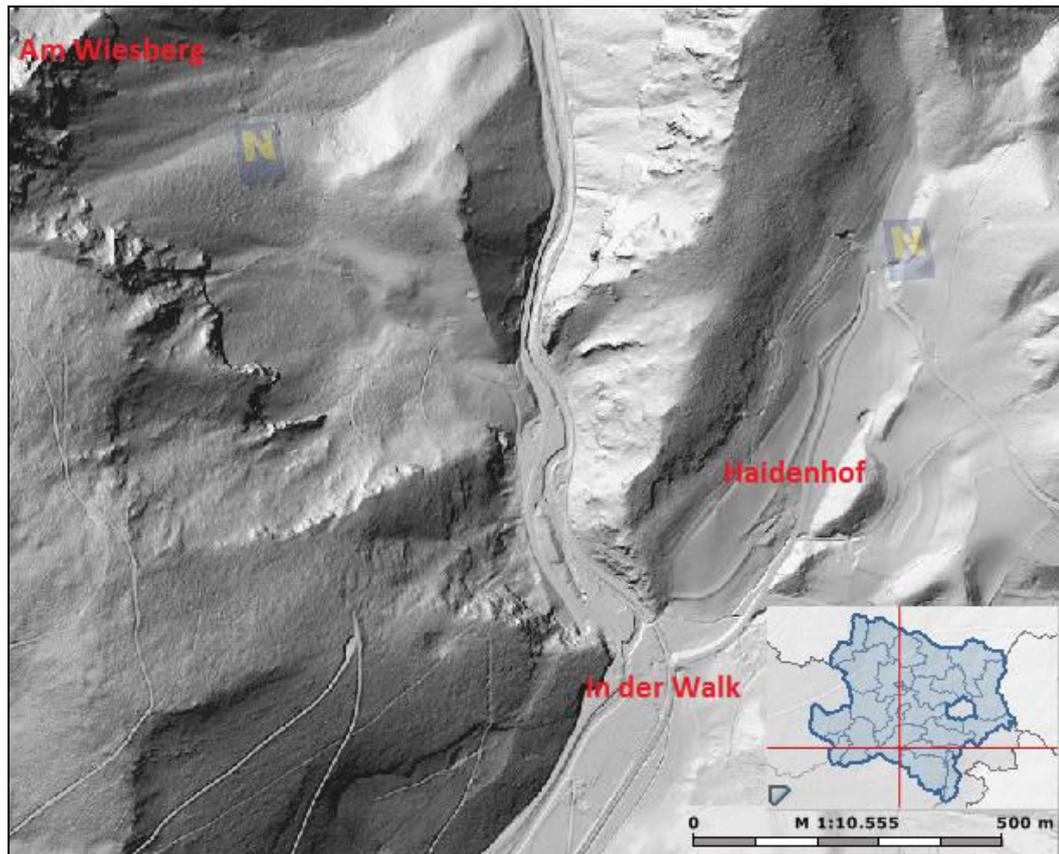


Abb. 7: ALS der Lurgenge als Lokalität der vorgefundenen Röhrenkarren (Quelle: <http://atlas.noeg.vg.at/>).

2.2 Geologie

Das Gebiet ist Teil der Nördlichen Kalkalpen und liegt an der Grenze des bajuvarischen Frankenfels-Lunzer-Deckensystems im Norden und des tirolischen Ötscher-Deckensystem im Süden. Weiter südlich von Mariazell schließt das Kalkhochalpine Deckensystem des Juvavikums an (Mandl, 2002; Wessely, 2006). Vom Untersuchungsgebiet das am Ostrand der ÖK 50 Blatt 74 (Hohenberg) liegt, gibt es keine moderne geologische Kartierung. Die Karte von Spengler im Maßstab 1:75.000 wurde in der kompilierten Geofast-Karte von Moser & Pavlik (2013) übernommen. Die geologische Übersichtskarte 1:200.000 (Mandl 2002) basiert auf Spengler (1931), Ampferer (1916, 1919) und den vorausgegangenen Aufnahmen von Hertle und Lipold (1863 – 1864), Geyer (1887 – 1888) und Bittner (1893-1897). Die Lage des Untersuchungsgebietes ist in der geologischen Karte von Österreich in Abb. 8 dargestellt.

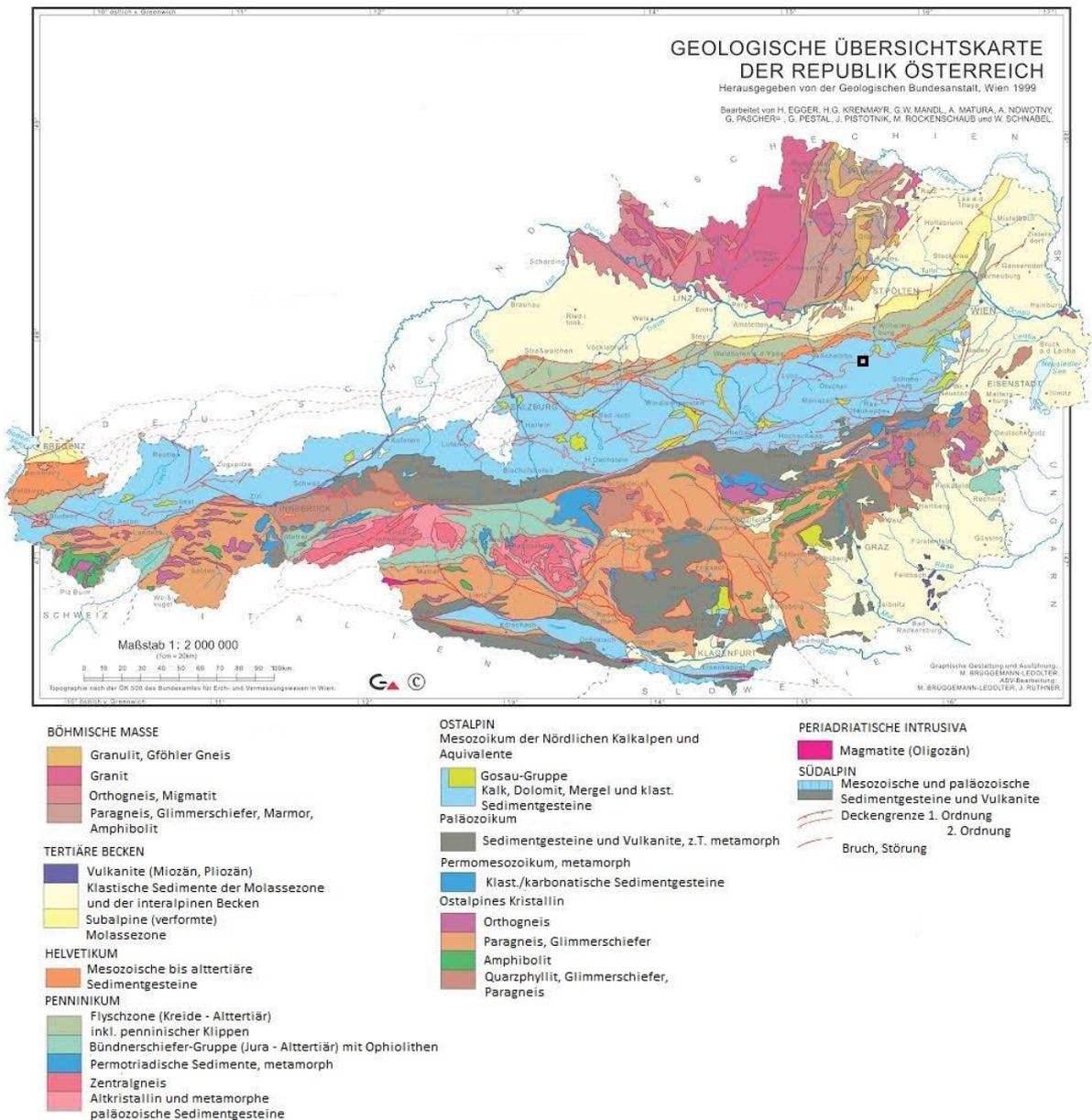


Abb. 8: Geologische Überblickskarte Österreichs mit Einteilung der tektonischen Einheiten. Das schwarze Rechteck markiert das Untersuchungsgebiet (Quelle: Geologische Bundesanstalt Wien).

Die hier im Bereich der Frankenfels-Lunzer-Decke auftretenden ältesten Gesteine aus dem Anisium sind dunkle gebankte Kalke und Dolomite der Gutensteiner Formation. Darüber folgt die Reiflinger Formation, welche aus bankigen Kalksteinen mit Hornsteinknollen aus dem Anisium und Karnium besteht. Eine „Sonderentwicklung“ aus dem Mittleren Anisium bis ins Untere Karnium stellt eine Übergangsfazies von Kalk und Dolomit dar, die ebenfalls dunkel und bankig auftritt. Stratigrafisch folgt darüber der, vor allem im südlichen Gebiet weit verbreitete, Wetterstein- bzw. Ramsaudolomit, welcher aus der Zeit zwischen Ladinium und Unterem Karnium stammt (Mandl, 2002).

Im Norden des Untersuchungsgebietes, wo die Ötscherdecke aufgeschlossen ist, wird die Lunz-Formation angeschnitten, welche aus feinkörnigen Sandsteinen aus dem Unteren Karnium besteht.

Darüber lagert großflächig der bankige Hauptdolomit aus dem Norium auf, welcher auch das südliche Gebiet und den Göller aufbaut (Mandl, 2002). Im Süden sind zwischen dem Wetterstein-, dem Ramsau- und dem verstärkt auftretenden Hauptdolomit einige Zwischenlagen der Lunz Formation und Kalkmergel der Kössenformation aus dem Rhätium vorhanden. Im Gebiet des Gippels, der vorwiegend aus dem Hauptdolomit und Dachsteinkalk aufgebaut ist, sind teilweise Konglomerate und Sandsteine der Unteren Gosau-Subgruppe aufgeschlossen, welche aus der Zeit zwischen Turonium und Maastrichtium stammen (Mandl, 2002). Abb. 9 zeigt eine Geologische Übersichtskarte des Gebietes.

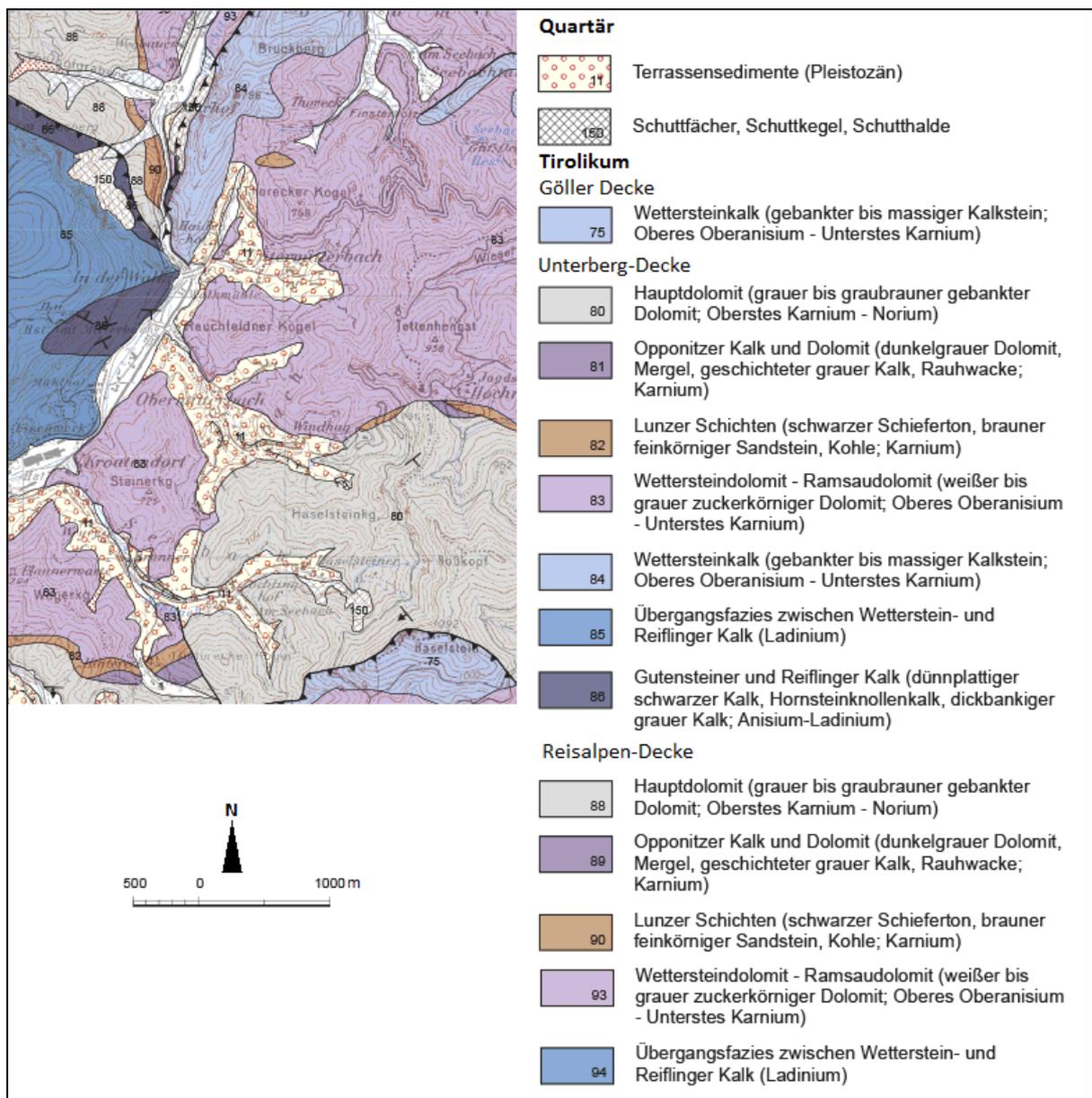


Abb. 9: Geologische Karte des Gebietes (Quelle: Geofastkarte, Moser und Pavlik, 2013; 1: 50 000, basierend auf Mandl, 2001, und Mandl, 2002).

Die geologisch jüngsten Einheiten sind quartäre Ablagerungen. Eine direkte Vergletscherung im unmittelbaren Untersuchungsgebiet hat nicht stattgefunden, lediglich beim Göller kann von einer

Lokalvergletscherung ausgegangen werden (van Husen, 1987). Flussaufwärts der Lurgenge füllen quartäre Sedimente, welche aus Sanden und Kiesen bestehen, den gesamten Talboden (Geologische Bundesanstalt Wien, 2002).

Es finden sich Talsedimente und Schotterterrassen an den Hängen und in den Seitentälern flussaufwärts der *Lurgenge*. Die quartären Ablagerungsstrukturen wurden der kompilierten Geologischen Karte von Alber et al. (1983) 1:50.000 entnommen.

Die Schotterterrassen wurden von Spengler (1931: 78-79) beschrieben. *„Weitau am großartigsten ist eine diluviale Schotterterrasse im Traisentale und dessen Seitentälern bei St. Ägyd entwickelt. Die Terrasse beginnt plötzlich bei der Walchmühle und läßt sich tief hinein ins Unrecht-Traisental, ferner über Kernhof ins Keertal, in die innersten Verzweigungen des Weißenbachtals, sowie in die drei kleineren, rechten Seitentäler der Traisen zwischen St. Ägyd und der Walchmühle hinein verfolgen. Die Terrasse besitzt überall eine völlig ebene Flur und steile Hänge, ist an ihrem unteren Ende, bei der Walchmühle, am höchsten (etwa 80m), bei dem Eisenwerk St. Ägyd erhebt sich die Terrasse am linken Ufer der Traisen 66 m hoch über dem alluvialen Talboden, bei Kernhof ist sie nur mehr wenige Meter hoch und noch höher oben vereinigt sie sich mit dem heutigen Talboden. Ganz ähnlich verhält sich die Terrasse auch in den Seitentälern der Traisen.“*

Einige Aufschlüsse, von denen der schönste hinter dem Gebäude des Konsumvereins St. Ägyder Eisenwerkes gelegen ist, zeigen daß der tiefere Teil der Terrassensedimente aus 30° talabwärts fallenden Schottern aufgebaut ist. Es handelt sich hier um Stirnablagerungen eines Deltas, welches in einem See aufgeschüttet wurde, der zu Beginn der Schotterbildung von der Walchmühle bis in die innersten Talhintergründe hineinreichte. Dieser See kann nur durch einen tektonischen Vorgang, u. zw. durch eine diluviale Einsenkung der St. Ägyder Abschnittes des Traisentals, hervorgerufen worden sein. Nach A. Stummvoll-Slanar (86) zeigen auch die höheren, in das Felsgerüst der umgebenden Berge eingeschnittenen Talböden eine entsprechende Verbiegung. Die große Höhe der Terrasse vor ihrem plötzlichen nördlichen Ende deutet darauf hin, daß die Nordbegrenzung der St. Ägyder Einsenkung eine ziemlich steile Flexur oder ein Bruch ist.

Die oberen Teile der Terrasse sind aus normalen, flach liegenden Flußschottern aufgebaut. Das schluchtartige Talstück der Traisen zwischen Walchmühle und Thorhof (Lurgenge) ist jedenfalls erst nach Ablagerung der Terrassenschotter eingeschnitten worden.“

Einer dieser Schotterkörper ist in der Schottergrube beim Mühlhof (nordwestlich St. Aegyde am Neuwalde) aufgeschlossen, der im Besitz der Familie Heindl steht. Die Ablagerungen sind aus unterschiedlichen Schichten aufgebaut, welche von eingeschlossenen Feinsandlinsen, bis hin zu unsortierten, grobklastischen Schottern reichen. Abb. 10 und Abb. 11. zeigen Fotos dieser Sedimente.



Abb. 10: Schrägschichtung der Terrassensedimente in der Schottergrube Heindl St. Aegydam Neuwalde.

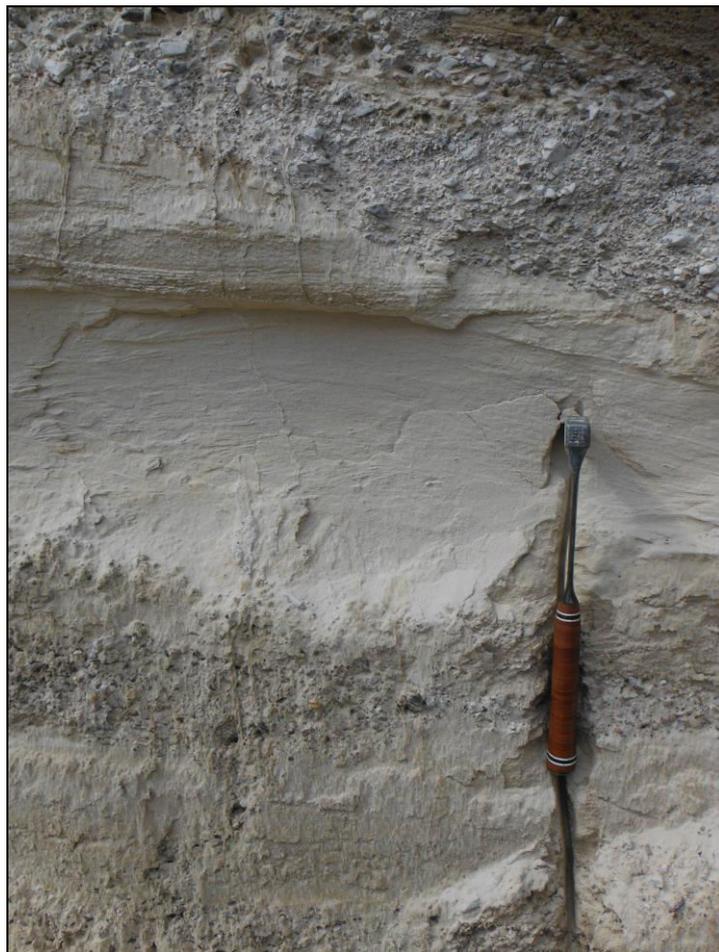


Abb. 11: Detailaufnahme einer Feinsandlinse in der Schottergrube Heindl in St. Aegydam Neuwalde.

2.3 Hydrologie

Die Unrechtraisen entwässert das Gebiet nach Norden wo sie bei Freiland in die Traisen mündet. Abb. 12 zeigt das oberflächliche Einzugsgebiet der Unrechtraisen flussaufwärts der Lurgenge. Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von 89 km² und wurde im Geografischen Informationssystem (GIS) mittels eines digitalen Geländemodells (DGM) mit 10 m Auflösung (berechnet aus höher auflösenden airborne laser scanning Daten, INSPIRE Österreich) erstellt.

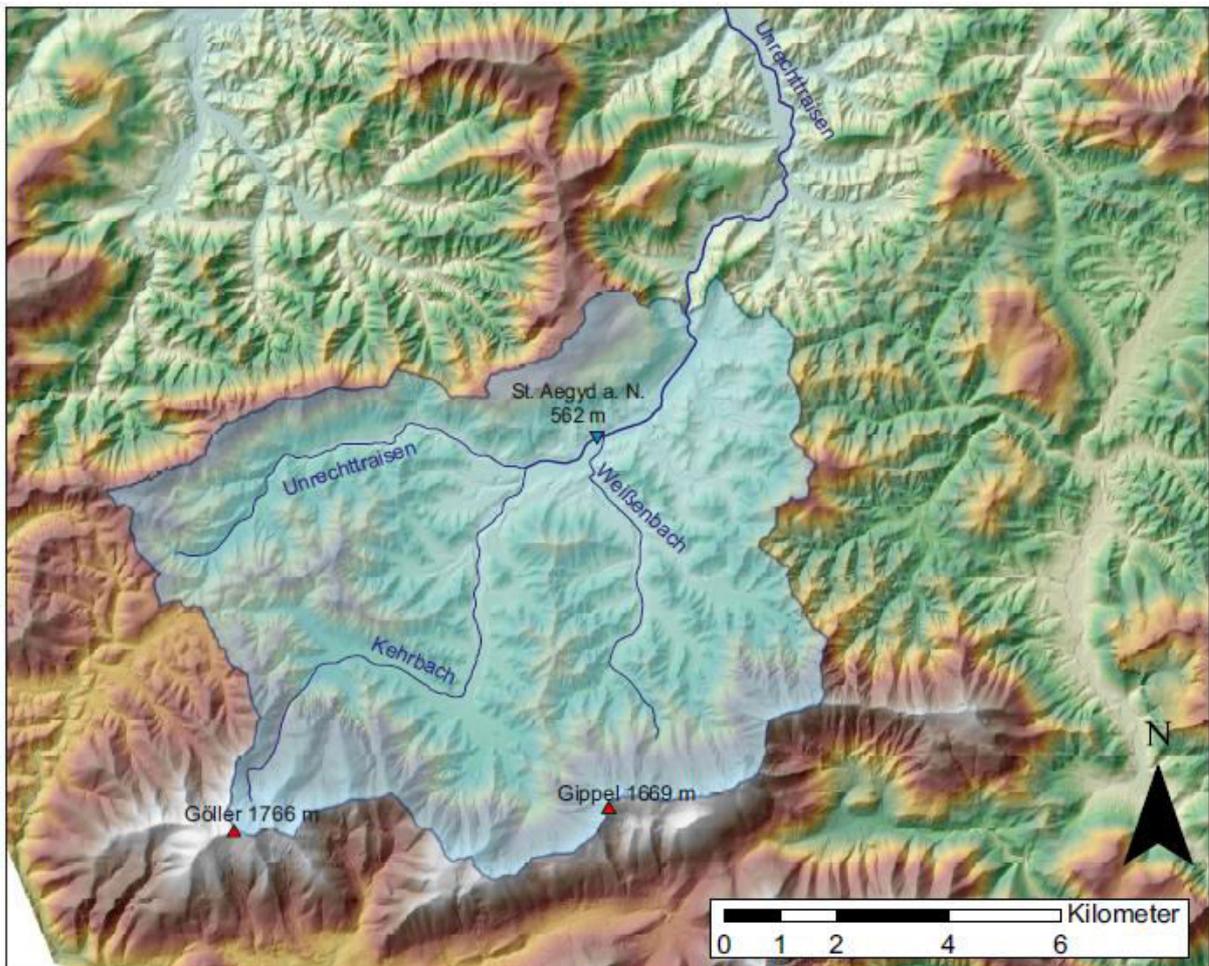


Abb. 12: Schattiertes digitales Geländemodell. Das Einzugsgebiet der Unrechtraisen flussaufwärts der Lurgenge ist hellblau hinterlegt. Das blaue Dreieck markiert die hydrologische Messstation St. Aegydt am Neuwalde (Datengrundlage: 10-m-Höhenmodell, Land Niederösterreich).

Die hydrologischen Kennwerte der Unrechtraisen an den Messstellen St. Aegydt am Neuwalde und Hohenberg-Süd sind in Tabelle 1 dargestellt. Die Abflusswerte wurden aus den Monatsmaxima und Monatsminima, sowie den durchschnittlichen Tagesabflusswerten zusammengefasst. Die Niederschlagswerte sind aus den Niederschlagstagesummen errechnet worden.

Tabelle 1: Abfluss- (Q) und Niederschlagswerte (NS) der hydrologischen Stationen St. Aegyd a. N. und Hohenberg-Süd (BMLFUW, 2017) (NS=Niederschlag).

	Q- Maxima [m ³ s ⁻¹]	Q-Mittelwert [m ³ s ⁻¹]	Q-Minima [m ³ s ⁻¹]	NS-Maxima [mm d ⁻¹]	NS- Jahressumme [mm a ⁻¹]
St. Aegyd a. N. (562 m)	11	1,4	0,39	130	1329
	1.1.1983 – 31.12.2013			1.1.1971 –1.1.2014	
Hohenberg- Süd (474 m)	36	2,8	0,81	127,8	1241
	1.1.1983 – 31.12.2013			1. 1.1971 –1-1.2014	

3. Methodik

3.1 Geländebegehung

Die Geländebegehung dient der Aufnahme des Gebietes nach Gesteinstypen, Strukturen, Morphologie und der Verteilung der Röhrenkarren. Um die Theorie der angenommenen Massenbewegung zu bestätigen, welche die Unrechttraisen aufgestaut hätte, wurde das Einfallen von Blöcken auf der Massenbewegung gemessen, Sedimentproben aus verschiedenen Höhen am Südhang entnommen und die Morphologie im Gelände untersucht. Als Hilfsmittel zur Geländebegehung wurden Überblicks- und Geologische Karten, sowie schattierte ALS, basierte digitale Geländemodelle des Gebietes verwendet. Die geologischen Karten (Spengler, 1931; Mandl, 2002) dienten hierbei als geologische Grundlage.

Untersuchte Lokalitäten wurden im Gelände mit Aufschlusspunkten durchnummeriert und per GPS eingemessen (GPS Trimble Juno z. T. mit externer Antenne Pro XT; Trimble; Sunnyvale, Kalifornien). Die Koordinaten wurden mit der SOPAC Station Graz korrigiert und dann teilweise anhand des schattierten Geländemodells in Lage und Höhe angepasst.

Der Umfang der Geländebegehung erstreckte sich von nördlich der Lurgenge entlang der Unrechttraisen bis in die Seitentäler des Kehrbaches, Weißenbaches und Mitterbaches, sowie die Talhänge um St. Aegyd am Neuwalde. Abb. 19 und Abb. 20 zeigen die Lage und Besonderheiten der Aufschlusspunkte.

3.2 Vermessung und Dokumentation der Höhlen

Die aufgenommenen Röhrenkarren finden sich in kleinen Höhlen und an Felsüberhängen in der Lurgenge. Einige dieser Höhlen sind mit einer Ganglänge von 5 m katasterwürdig. Die St. Aegyder Durchgangshöhle (Katasternummer 1835/14) in Abb. 13, die Haidenhofhöhle (1866/26) in Abb. 14 oder die Röhrenkarrenhöhle (1835/83) in Abb. 15 waren bereits im Höhlenverzeichnis von Niederösterreich aufgeführt.



Abb. 13: Eingang der St. Aegyder Durchgangshöhle 1835/14.



Abb. 14: Eingang der Haidenhofhöhle 1866/26.



Abb. 15: Eingang der Röhrenkarrenhöhle 1835/83.

Weitere katasterwürdige Höhlen wurden per Polygonzug vermessen und die Raumformen kartiert. Die resultierenden Höhlenpläne sind im Anhang dargestellt.

3.3 Vermessung der Röhrenkarren

Simms (2002) ermittelte die Tiefe und den Durchmesser der Röhrenkarren um morphometrische Analysen durchzuführen (Abb. 2). Diese Untersuchungsweise wurde übernommen: Die Tiefe der Röhrenkarren wurde mit einer dünnen Metallstange und einem Maßstab vermessen, die Öffnungen direkt mit Maßstab. Bei schrägem Anschnitt der Röhrenkarren wurde am Mittelwert der Öffnung gemessen. Pro Aufschluss wurden ca. 30 Röhrenkarren vermessen. Abb. 16 zeigt Öffnungen der Röhrenkarren mit einem Meterstab.



Abb. 16: Maßstab zur Messung der Öffnungsdurchmesser der Röhrenkarren.

3.4 Sedimentbeprobung und -Analyse:

Die Klassifikation der Sedimente erfolgte nach der Korngröße, unabhängig von Material und Kornform und ist nach *DIN 4022, T1* festgelegt (Martin & Eiblmaier, 2000).

Für sedimentologische und biologische Analysen wurden Sedimentproben aus der Lurgenge entnommen. Die tiefstgelegenen Proben stammen von einem Prallhang der Unrechttraisen auf ca. 537 m Seehöhe. Von dieser Höhe ausgehend verteilen sich die restlichen Sedimentproben über den Südhang der angenommenen Massenbewegung bis auf ca. 630 m.ü.A. Ein ausgewaschener Forstweg bot gute Aufschlüsse für die Probenentnahme. Die Probenpunkte sind im Aufschlussverzeichnis mit den Punkten 63.a bis 68. aufgeführt und lokalisiert.

3.4.1 Aufbereitung

Im Labor wurden die Sedimentproben zunächst mit einer 1:1-Mischung aus destilliertem Wasser und Wasserstoffperoxid versetzt um organisches Material unter der Bildung von CO₂ herauszulösen. Hierzu wurden die Sedimente bis zu 14 Tage in der Lösung suspendiert und regelmäßig verrührt.

3.4.2 Korngrößenanalyse

Danach wurden die Sedimentproben in die Fraktionen größer und kleiner 63-µm per Nasssiebung getrennt und für die Korngrößenanalyse vorbereitet. Anschließend wurden die Fraktionen bei 60°C einige Tage im Trockenschrank getrocknet, gewogen und in Papierbeutel gelagert. Ca. 2,5 g der kleiner 63-µm-Fraktion wurden in einem 80-ml-Becherglas mit ca. 40 ml der Sedigrafenflüssigkeit versetzt (Wasser mit Natriumhexametaphosphat zur Entkalkung), für ca. 2 Minuten mit Ultraschall behandelt und im Sedigraphen (*Micromeritics 5100, Georgia, USA*) standardmäßig analysiert. Die zu analysierende Korngrößenfraktion wurde zwischen 63 und 0,2 µm eingestellt.

Die Fraktion größer 63 µm wurde per Nasssiebung mit den Siebgrößen 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm und 0,125 mm aufgetrennt, getrocknet und gewogen und mit der im Sedigraph ermittelten Korngrößenverteilung kombiniert. Ausgehend von diesen Werten wurden eine kumulative, eine Einzelwertverteilungskurve (Visher, 1969) und ein C-M-Diagramm (Passega, 1964) zur Charakterisierung der Sedimente erstellt.

3.4.3 Röntgendiffraktometrie (XRD)

Die semiquantitative mineralogische Zusammensetzung wurde mittels Pulverröntgendiffraktometrie (PXRD) ermittelt. Dazu wurden die Proben in einer Porzellanschale mit einem Mörser zu einem einheitlichen Pulver gemahlen und mit einem Röntgendiffraktometer (*X'Pert PRO diffractometer, Panalytical, Almelo, Holland*) ermittelt (Cu Ka radiation, 40 kV, 40 mA, Stepp size 0,0167, 5 s per step). Die Ergebnisse der qualitativen XRD-Analyse sind durch den „score“-Wert charakterisiert. Die Ergebnisse wurden nach der Datenbank der Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) ausgewertet (Tucker, 1988).

3.4.4 Mikroskopie und biologische Untersuchung

Die biogenen Spuren der Sedimentproben wurden unter einem Auflicht-Binokular ausgepickt

4. Ergebnisse

4.1 Hydrologische Messdaten

Die Werte der hydrologischen Messstationen St. Aegydt a. N. und Hohenberg-Süd wurden zur Darstellung der Wasserstände der Unrechttraisen für den Zeitraum Januar 2009 bis Dezember 2013 in Abflussdiagrammen in Abb. 17 für die Station St. Aegydt a. N. und in Abb. 18 für die Messstation Hohenberg zusammengefasst.

Zu erkennen sind starke Schwankungen in der Schüttung welche sich vor allem in den Abflussmaxima äußern. Die stärksten Schwankungen finden sich im Jahr 2009, wobei sich die Abflussmaxima zu den Abflussminima um einen Faktor Sechs unterscheiden. Die größten Schüttungen treten dabei zwischen März und Mai auf, die kleinsten zwischen November und Februar. Die Schwankungen nehmen im Laufe der darauffolgenden Jahre ab, unterscheiden sich jährlich jedoch trotzdem ca. um den Faktor drei.

Die durchschnittlichen Schüttungen der beiden Stationen unterscheiden sich etwa um den Faktor Zwei.

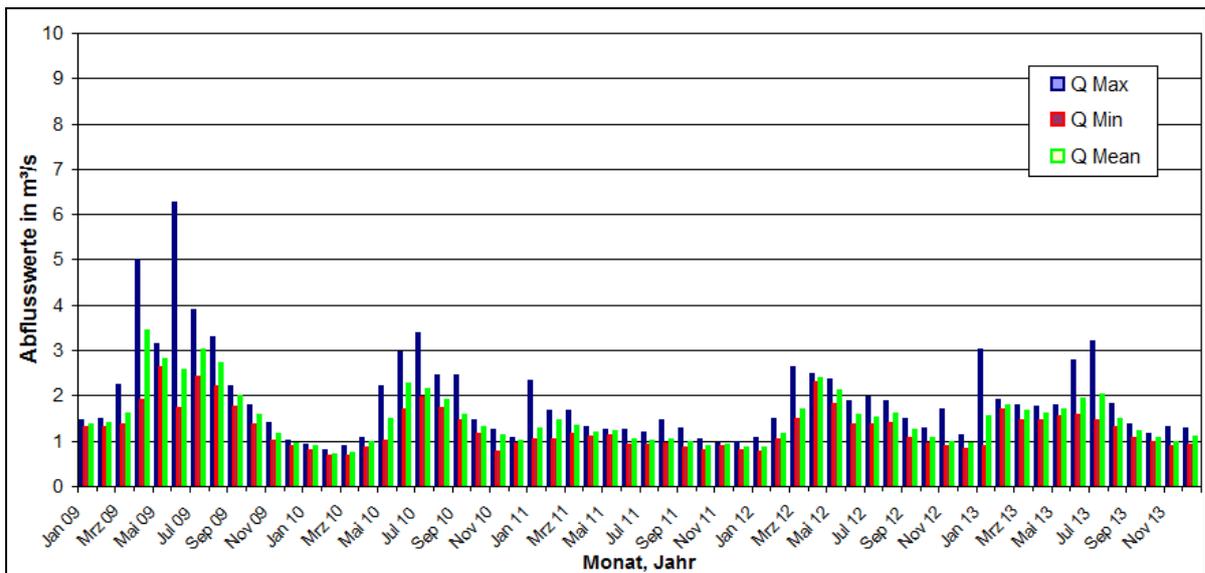


Abb. 17: Monatliche Abflusswerte der Unrechttraisen an der Station St. Aegydt a. N. (Daten: BMLFUW, 2017).

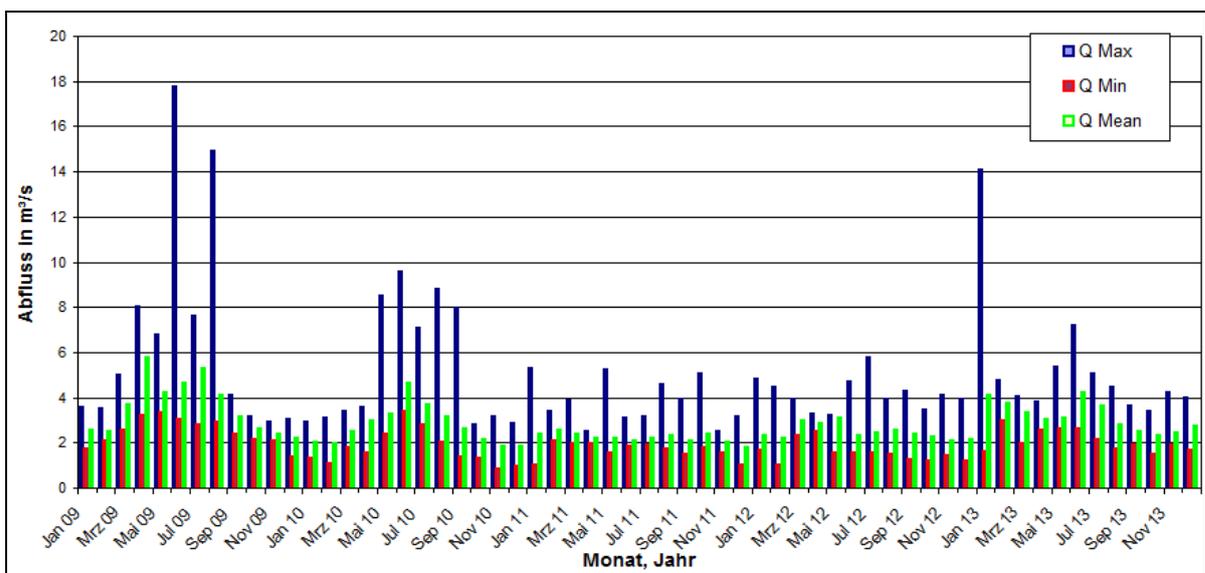


Abb. 18: Monatliche Abflusswerte der Unrechttraisen an der Station Hohenberg-Süd (Daten: DMLFUW, 2017).

4.2 Geländebegehung und -kartierung

4.2.1 Morphologie und Geologie

Abb. 19 zeigt die Verteilung der Aufschlusspunkte; Abb. 20 einen Ausschnitt der Lurgenge. Die Koordinaten und die Beschreibung der Beobachtungen der einzelnen Aufschlüsse sind in Tabelle 3 im Anhang angefügt.

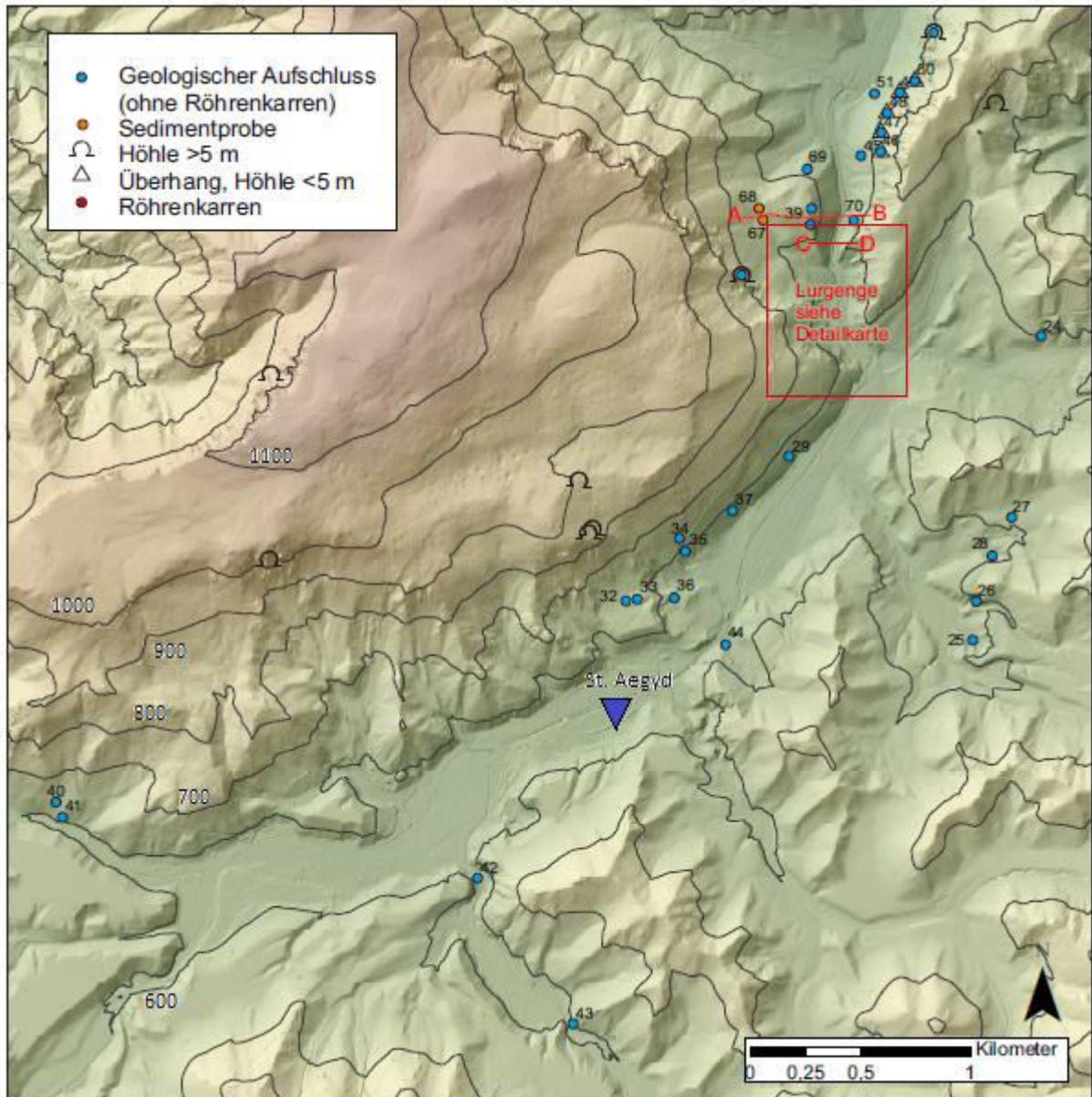


Abb. 19: Überblickskarte aller aufgenommenen Aufschlüsse. Linien A-B und C-D zeigen zwei Querschnittsprofile, welche in Abb. 27 dargestellt sind; Höhenschichtlinien sind in 100-m-Intervallen dargestellt (Daten: GIS, Aufnahmen im Gelände, Höhlenkataster von Niederösterreich, digitales Geländemodell INSPIRE Österreich).

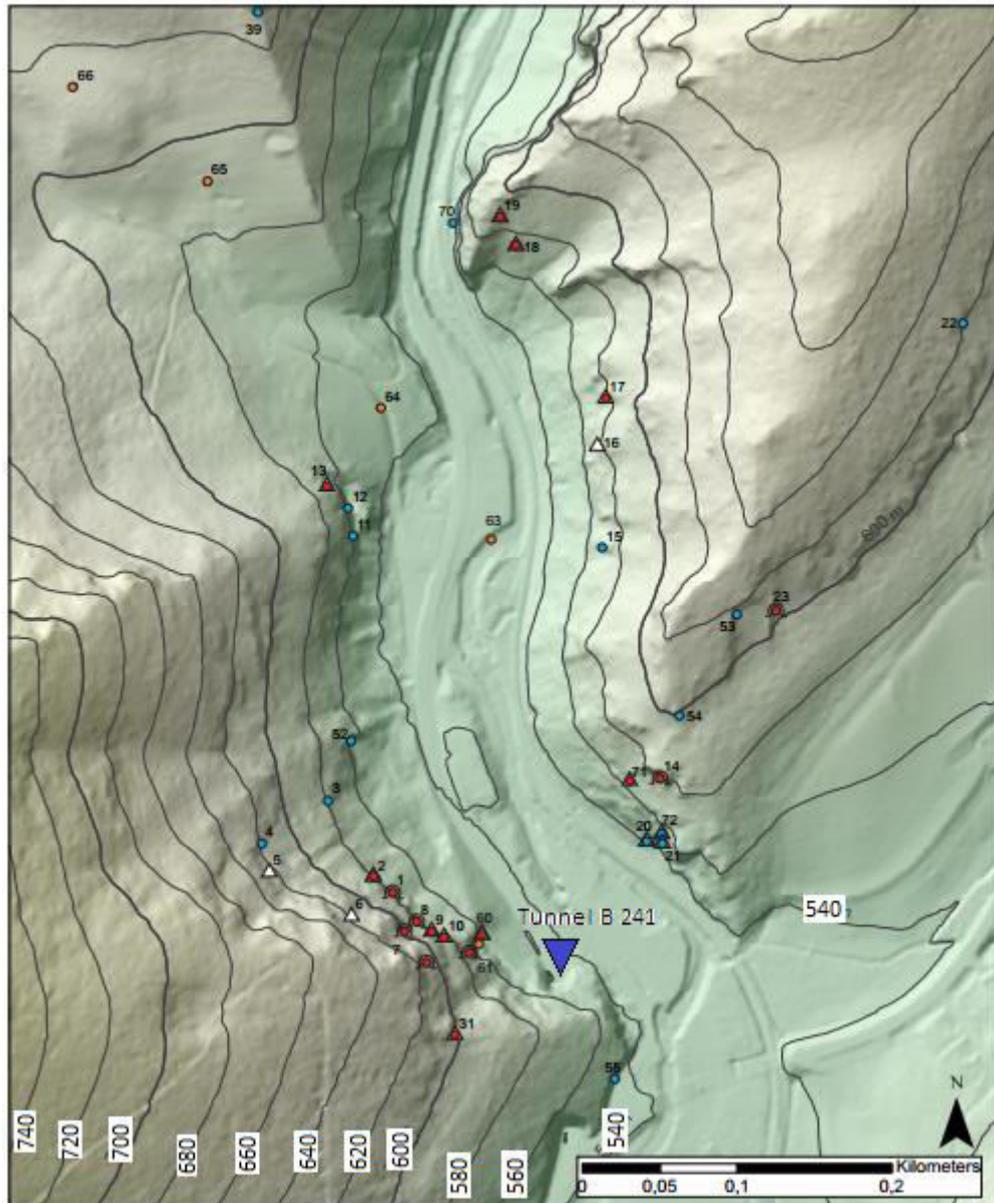


Abb. 20: Detailansicht der Lurgenge mit den aufgenommenen Aufschlüssen; Höhenschichtlinien sind im 20-m-Intervall dargestellt (siehe Legende in Abb. 19).

An den Hängen beiderseits der Unrechttraisen wurden im Gebiet der Lurgenge an 16 der 62 aufgenommenen Aufschlüsse Röhrenkarren gefunden. Diese liegen an der Decke diverser Höhlen und Halbhöhlen, an Überhängen von Felswänden und an der Unterseite von Blöcken. Die vertikale Verteilung der Röhrenkarren reicht von 545 m.ü.A. bis 607 m.ü.A. In der Walkhöhle (1866/219) wurden neben Röhrenkarren an der Decke auch *eggbox pitting* Strukturen (Simms & Parkes, 2005) auf dem leicht talwärts geneigten, felsigen Boden vorgefunden. Diese napfähnlichen Einkerbungen sind im Durchmesser einige cm breit, tiefen sich jedoch rund 1-2 cm in das Gestein ein (Abb. 21).



Abb. 21: Eggbox pitting Strukturen auf dem Boden der Walkhöhle (Foto: Lukas Plan).

Südlich der Lurgenge und im weiteren Einzugsgebiet der Unrechttraisen wurden keine Aufschlüsse mit Röhrenkarren gefunden. Hier gibt es allerdings aufgrund des vorherrschenden Dolomits kaum Felswände mit Höhlen oder Überhängen. Im Norden sind die Talflanken durch massive Kalkaufschlüsse begrenzt, in denen etliche Überhänge und Höhlen vorhanden sind, jedoch wurden keine Röhrenkarren vorgefunden.

Westlich der Massenbewegungen begrenzen Felswände das Tal. An diesen Felswänden sind Zerrungen und Gleitflächen zu erkennen. Große Gesteinsblöcke einigen Metern Durchmesser wurden auf und in der angenommenen Massenbewegung vorgefunden. Die Blöcke auf der gegenüberliegenden Felswand zeigen keine Schichtung und sind nicht aus Gutenersteinkalk aufgebaut.

Entlang der Schienen, auf Höhe der angenommenen Massenbewegung wurde ein geringmächtiger Zug mit geschichtetem Kalk gefunden.

4.2.2 Terrassenartige Ablagerungen und Sedimente

Spengler (1931) beschreibt die Schotterterrassen im Tal der Unrechttraisen als gut ausgebildet mit einem Flurunterschied von zum Teil 80 m zum Talboden. Der Höhenunterschied zwischen der Talsohle und der Terrassenoberkante verringert sich flussaufwärts bis sich die Terrassenablagerungen letztendlich mit dem alluvialen Talboden vereinigen. Dieses Verhalten von Terrasse zu Talsohle ist

sowohl im Tal der Unrechtraisen als auch in den Seitentälern der Zuflüsse orographisch oberhalb der Lurgenge zu erkennen. Lage und Höhe der Terrassen sind in Abb. 22 dargestellt.

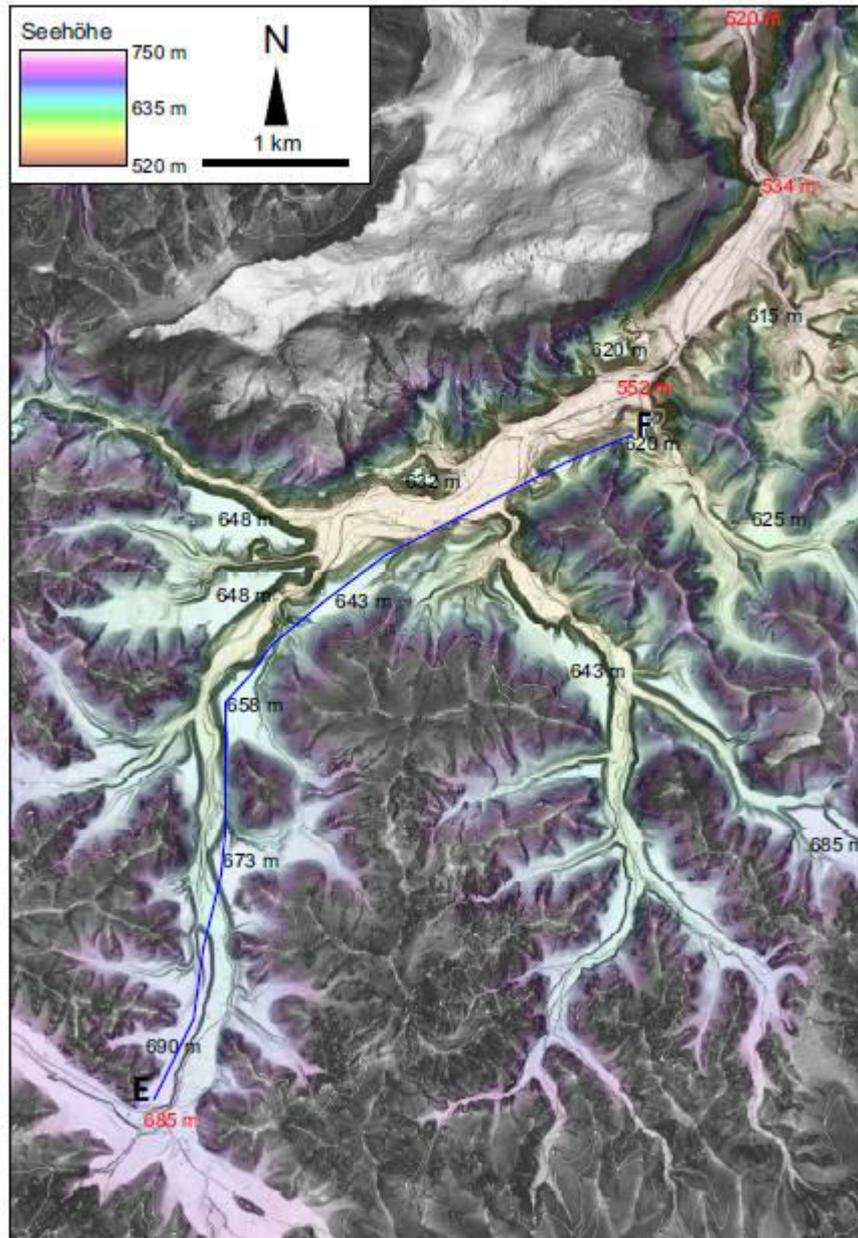


Abb. 22: Kombination aus Hangneigungskarte (slope) und schattiertes Relief (hillshade) zur Verdeutlichung der Terrassen zwischen 520 und 750 m Seehöhe. Terrassenoberkanten sind in schwarz beschriftet, Bachbette in rot, blaue Linie (E-F) zeigt das Terrassenprofil, welches in Abb. 23 dargestellt ist (Datengrundlage 1-m-ALS; Land Niederösterreich).

Der Höhenunterschied zwischen Terrassenoberkanten im Bereich *In der Walk* und den Terrassenoberkanten im Oberlauf des Kehrbaches beträgt etwa 75 m. Der Flussgradient weist einen steileren Anstieg um 145 m auf derselben Strecke von ca. 8,2 km auf.

Die interpolierte blau dargestellte Profillinie (Abb. 23; Lage siehe Abb. 22) zeigt die abnehmende Höhe der Terrassenoberkanten entlang der Unrechtraisen, angefangen im Oberlauf des Kehrbaches bis zum Zufluss des Seebaches. Erkennbar ist der konstante Gradient der Terrassentopsets von 1,5 %

(blaue Linie in Abb. 22). Lücken in der Profillinie sind hauptsächlich erosionsbedingt. Bei ca. 634 m.ü.A. ist eine Änderung in der Steigung der Terrassen zu erkennen. Da sich auf dieser Höhe keine Schotterterrasse befindet, kann die genaue Seehöhe nur durch Extrapolieren der oberen und unteren Profillinien ermittelt werden. Die Topsets der Terrassen unterhalb dieses Punktes weisen einen flacheren Gradienten von 0,73 % auf. Diese Unterschiede in den Gradienten von alluvialen Ablagerungen können auf die Verringerung der Fließgeschwindigkeit beim Einfließen in einen See hindeuten (Knighton, 1998).

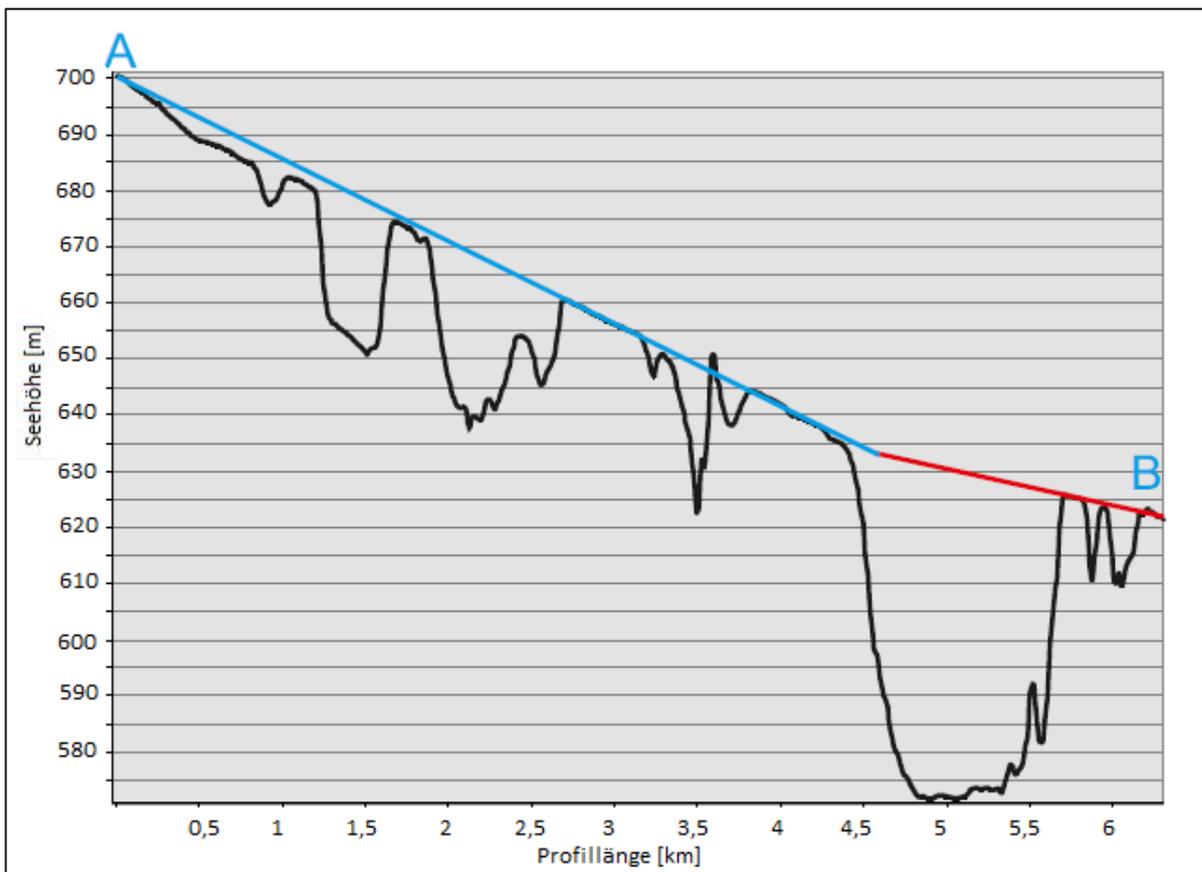


Abb. 23: Profillinie der Terrassentopsets entlang des Flusstales des Kehrbaeches und der Unrechtraisen. Etwa im Bereich von Profillänge 5 km zeigt sich eine Verflachung des Gradienten der Terrassentops.

Spengler (1931) beschreibt unterschiedliche Bildungszyklen der Terrassen. Die Basis und der tiefere Teil der Terrassen sind Foresets von Deltaablagerungen, welche mit ca. 30 ° talwärts einfallen und in einem See abgelagert wurden. Auf diesen Sedimenten lagern horizontale alluviale Schotter, welche im Nachhinein durch abnehmende Fließgeschwindigkeit der Flüsse beim überlaufen der flachen Terrassentopsets akkumuliert wurden.

4.2.3 Massenbewegung

Die angenommene Massenbewegung im Norden der Lurgenge ist durch ihre keilförmige Morphologie bereits auf dem ALS erkennbar, weist einen West-Ost gerichteten Kamm im oberen Bereich auf und fällt nach Norden und Süden hin bis auf den Talboden relativ konstant mit 20° ab. Die östliche Begrenzung bildet ein Hang mit 38° bis zum Flussbett der Unrechtraisen. Aufgebaut ist der Körper

aus ungerundeten Gesteinsstücken unterschiedlicher Größen in einer feinkörnigen Matrix. Westlich dieses Körpers wird die Geländeoberkante von steilen, bis zu 30 m hohen Kalkwänden des Raminger- und Gutensteinerkalks aufgebaut, welche die eventuelle Abrisskante der Massenbewegung darstellen. Auf und in der Massenbewegung liegen vereinzelt Blöcke aus Gutensteinerkalk mit einem Durchmesser von bis zu einigen Metern. Abb. 25 zeigt zwei dieser Blöcke. Das Einfallen der Schichtflächen der Blöcke wurde mit dem Geologenkompass gemessen (Abb. 26).



Abb. 24: Aussehen der wahrscheinlichen Massenbewegung aus ungerundeten Gesteinsstücken und feiner Matrix.



Abb. 25: Ostflanke der Massenbewegung mit Kalkblöcken mit unterschiedlichem Einfallen (Blickrichtung Nordnordost).

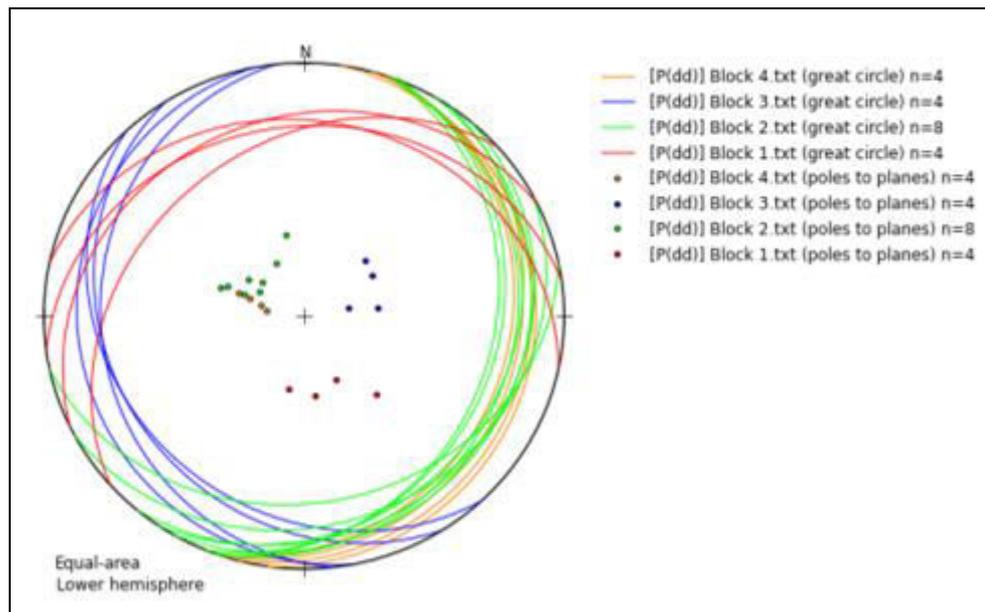


Abb. 26: Stereo-Plot der Schichtflächen der Blöcke in der wahrscheinlichen Massenbewegung (Software: OpenStereo).

An der Nordseite der Massenbewegung wurden vereinzelte Sandsteinkomponenten der Lunzer Schichten gefunden. Aufgeschlossen sind sie in einem Stollen, welcher von der Hohenberger Straße (B 214) nach Westen in die Massenbewegung führt. Abb. 27 zeigt ein Querschnittsprofil, welches von Westen von der gelegenen Massenbewegung, nach Osten über das Bachbett der Unrechttraisen bis zu den steilen Aufschlüssen des Wettersteinkalkes verläuft.

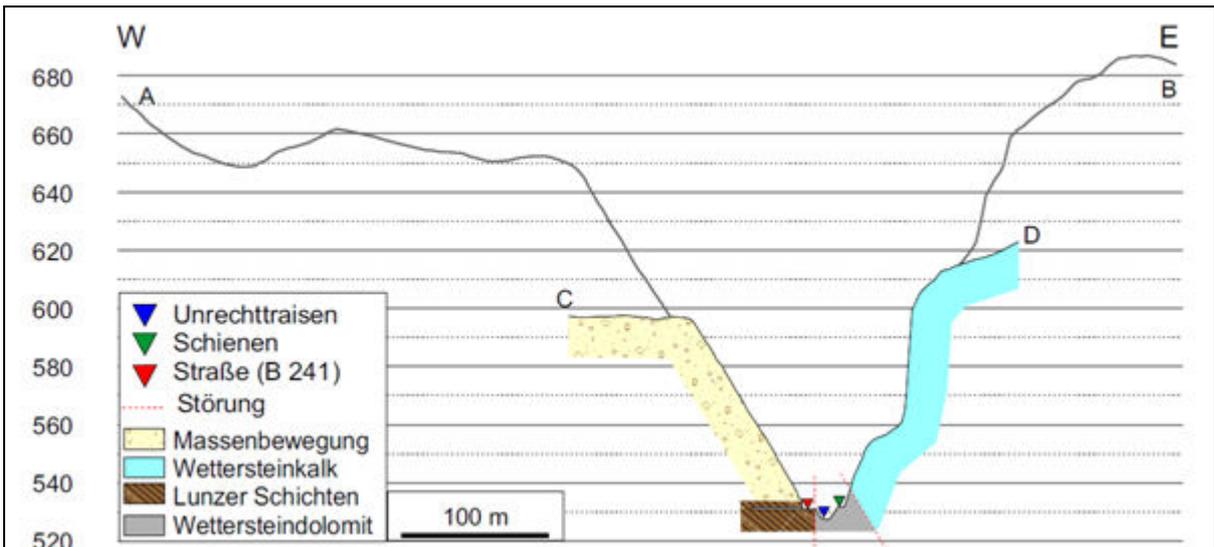


Abb. 27: W-E Querschnittsprofil durch die Massenbewegung, Unrechttraisen und auf die steilen Kalkaufschlüsse im Osten auf Höhe des Stollens (siehe die Lage der Endpunkte der Querschnitte (A, B, C, D) sind in Abb. 19 dargestellt).

4.2.4 Vermessung der Höhlen

Die Höhlenpläne finden sich in Abb. 39, Abb. 40, Abb. 41, Abb. 42, Abb. 43 und Abb. 44 im Anhang. Mittels Schraffur und Legende sind die Partien, an denen Röhrenkarren gefunden wurden, markiert.

4.2.5 Vermessung der Röhrenkarren

In Abb. 28. ist der Durchmesser gegen die Länge der Röhrenkarren dargestellt. Insgesamt wurden 475 einzelne Röhrenkarren vermessen.

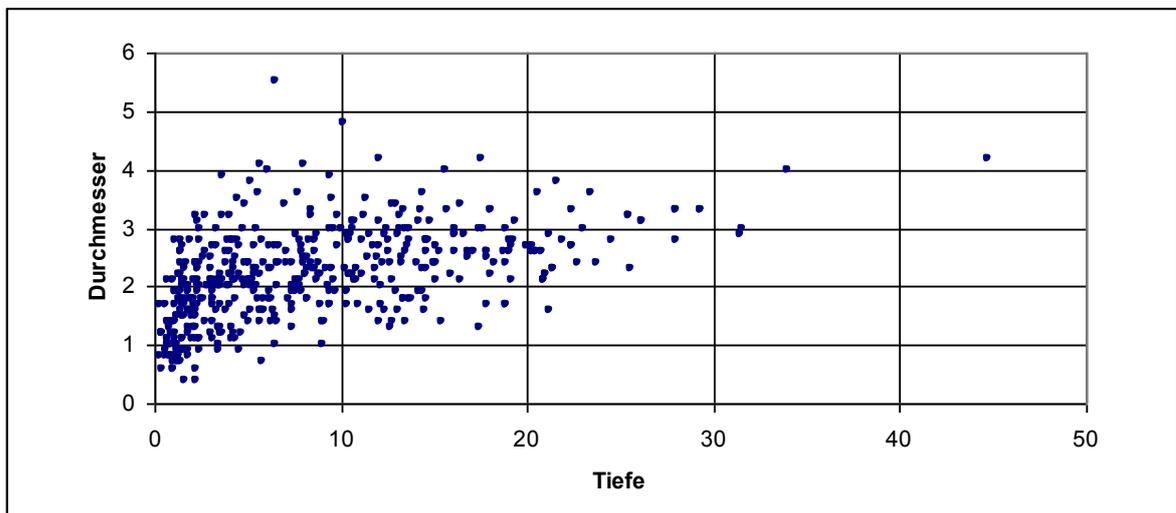


Abb. 28: Länge zu Durchmesser aller aufgenommenen Röhrenkarren.

Abb. 29 zeigt Minima, Mittelwerte und Maxima der Tiefe der Röhrenkarren in Abhängigkeit von der Seehöhe.

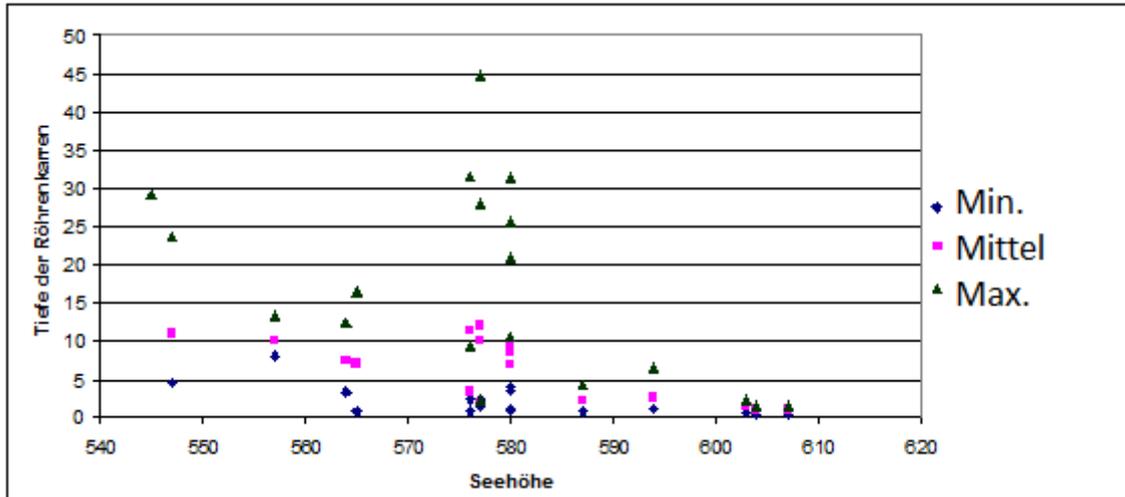


Abb. 29: Minimale, durchschnittliche und maximale Tiefe der Röhrenkarren zur korrigierten Seehöhe (Quelle: Excel, Aufnahmen im Gelände).

Durch das Auftreten der Röhrenkarren kann es bei einer Überschneidung der Öffnungen zu scharfkantigen Deckenstrukturen kommen, wie in Abb. 30 ersichtlich ist.



Abb. 30: Sich verschneidende Röhrenkarren in der Röhrenkarrenhöhle (1835/83, Aufschluss 61; Foto: Lukas Plan).

Einige Röhrenkarren wurden in kleinen nicht katasterwürdigen Höhlen vorgefunden, welche zum Teil eine Ganglänge von unter einem Meter aufweisen(Abb. 31).



Abb. 31: Kleine, nicht katasterwürdige Höhle bei Aufschluss 31.

4.3 Sedimentanalyse

4.3.1 Korngrößenverteilung

Die einzelnen Korngrößenfraktionen sind in Tabelle 4 im Anhang zusammengefasst. Tabelle 5 zeigt die prozentualen Gewichtsanteile der Fraktionen. Die Kornsummenkurve ist in Abb. 32 dargestellt; die Verteilung der Korngrößenfraktionen in Abb. 33.

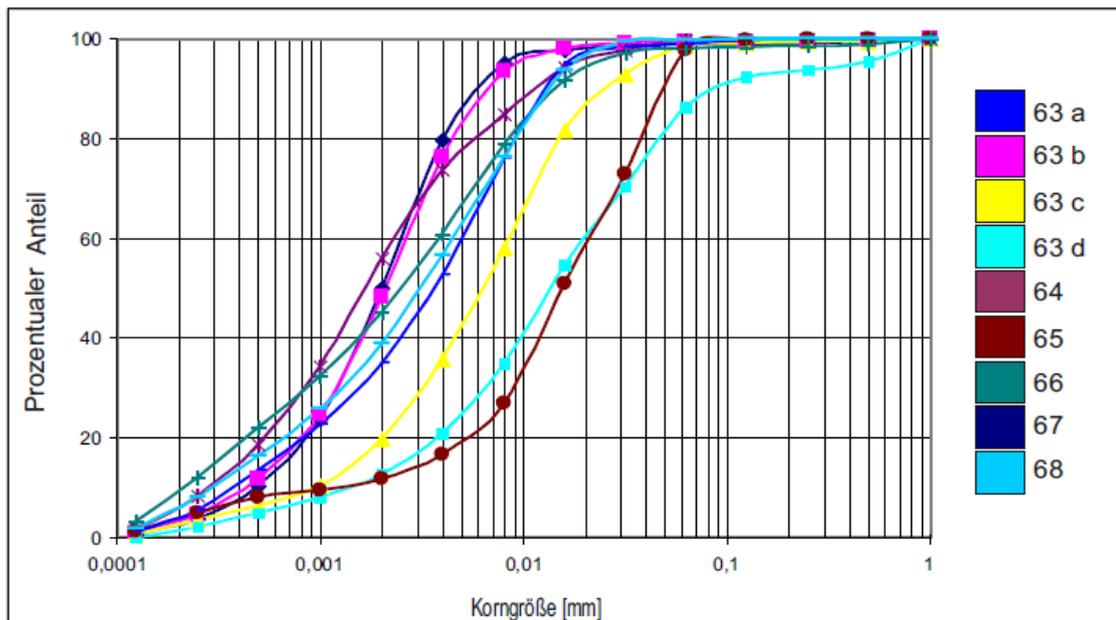


Abb. 32: Kumulative Kornsummenkurven der Sedimentproben; die Probennummer geben sich aus den Aufschlussnummern.

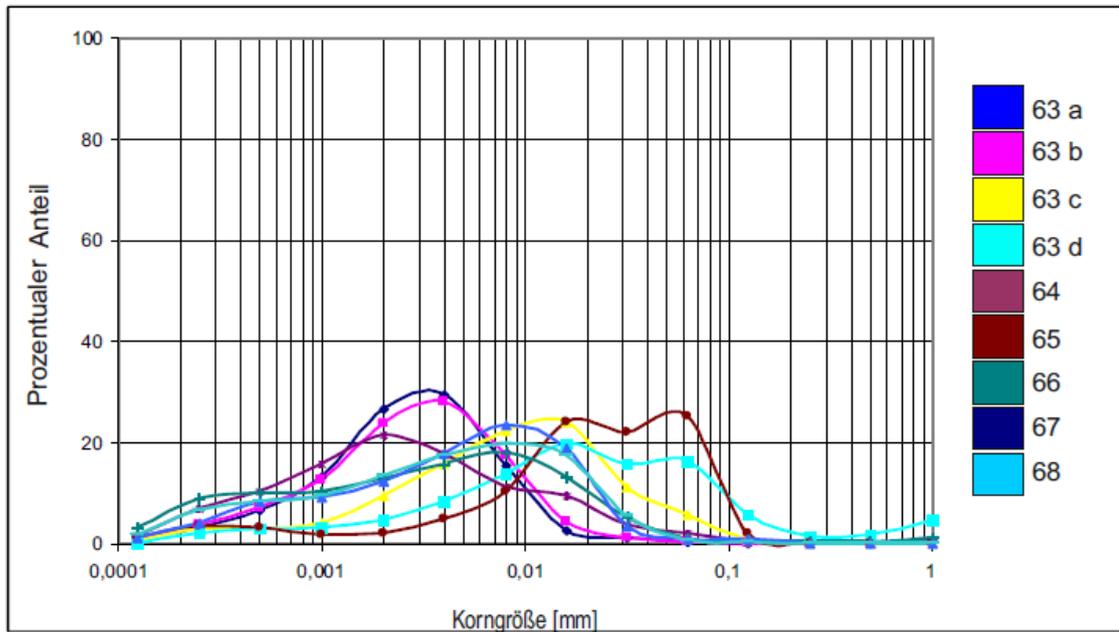


Abb. 33: Einzelwerte der Fraktionen in den Sedimentproben.

4.3.2 Röntgendiffraktometrie (XRD)

In den Proben 63.a bis 65. dominiert Dolomit, was durch das Einzugsgebiet an der Nordseite von Göller und Gippel erklärt wird. Des Weiteren bildet Quarz eine sehr dominante Phase und ist in den höher gelegenen Proben (66 – 68) das häufigste Mineral. Zusammen bilden beide die Hauptbestandteile der Sedimentproben. Weitere Minerale sind Schichtsilikate wie Chlorit oder Muskovit, Feldspäte in Form von Albit und Orthoklas und Tonminerale wie Illit. In manchen Proben tritt, trotz der Instabilität im sauren Milieu, auch Kalzit und Ankerit auf. Die semiquantitative Auswertung ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Semiquantitative Auswertung der XRD-Analyse („+++“ > Hauptgemengteil, „++“ = Nebengemengteil, „+“ = Spuren, „-“ = Nicht vorhanden.

	Dolomit	Quartz	Ankerit	Muskovit	Chlorit	Kalzit	Klinochlor	Albit	Orthoklas	Illit
63 a	+++	++	++	+	++	-	-	-	-	-
63 b	+++	++	+	+	++	-	-	-	-	-
63 c	+++	++	+	+	++	-	-	-	-	-
63 d	+++	+++	++	+	-	++	-	-	-	-
64	+++	++	+	++	-	-	+	-	-	-
65	+++	+++	+	+	++	-	-	-	-	-
66	-	+++	-	++	++	-	-	++	+	-
67	-	+++	-	+	++	-	-	++	++	-
68	-	+++	-	++	++	-	++	-	++	+

4.3.3 Mikroskopie und biologische Untersuchung

Bei der Mikroskopie der Proben wurden kugelförmige, ca. 0,05–0,2 mm große organische Partikel gefunden (Abb. 34). Diese treten in jeder Probe auf, außer in 68. Quantitativ treten sie in den Proben von tiefer gelegenen Aufschlüssen häufiger auf und nehmen nach oben hin ab. Manche Strukturen besitzen eine Art Wurzel oder Verankerungsapparat. Teilweise scheinen die Organismen verfüllt zu sein, andere sind leer und semitransparent. Das Gehäuse scheint aus Chitin aufgebaut zu sein.

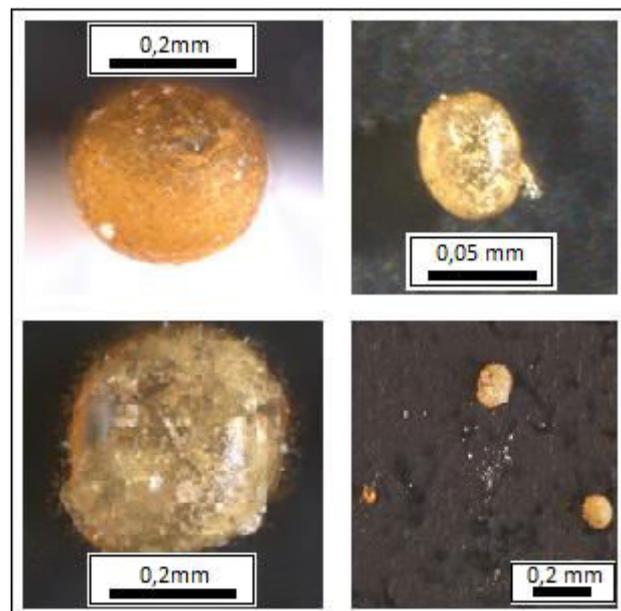


Abb. 34: Fotografien der vorgefundenen Organismen, welche als Kokons von Strudelwürmern oder Libelleneier bestimmt wurden (Foto: Petra Heinz).

Die Organismen wurden Johann Waringer (Universität Wien, Fachbereich Biologie, Limnologie) gezeigt. Dieser bestimmt sie auf Grund ihrer optischen Erscheinung als Kokons bzw. Eier. Es handelt sich vermutlich um die Kokons von Strudelwürmern (*Turbellaria s.p.*) oder um Eier von Großlibellen (*Anisoptera*) Gattung *Sympetrum sp.*

Obwohl der Lebensraum von *Sympetrum sp.* nicht auf litorale Umgebungen beschränkt ist, benötigen Sie zur Paarung und Eiablage den Flachwasserbereich von langsam fließenden Bächen oder Seen. Bewachsene Seeufer werden hierbei bevorzugt (Robert, 1959).

Die Organismen haben Ähnlichkeiten mit Eiern von Strudelwürmern (*Turbellaria sp.*). Diese bevölkern nahezu alle Bereiche im Wasser, manche Arten kommen aber auch in feuchten Böden vor. Die Eier werden mit Dotter und einer Chitinschale ausgestoßen und verbreiten sich im Gewässer (Grzimek, 1971).

Unter der Annahme, dass sich unter den vorgefundenen Organismen sowohl Eier der Großlibellen, als auch Kokons von Strudelwürmern befinden, kann der Lebensraum auf die Uferzonen eines stehenden oder langsam fließenden Gewässers eingegrenzt werden.

5. Interpretation und Diskussion

5.1 Röhrenkarren

Der Vergleich mit Simms (2002) und Simms & Parkes (2005) zeigt, dass es sich bei dem Naturdenkmal um Röhrenkarren handelt. Nicht nur die Morphometrie der Lösungsröhren, sondern auch deren ausschließliches Auftreten an der Unterseite von Kalküberhängen bestätigen diese Annahme. *Eggbox pitting* Strukturen wurden nur in der Walkhöhle vorgefunden, da diese als einzige einen Boden aus Kalkstein aufweist. Abb. 35 vergleicht die Daten von Simms (2002) mit den aufgenommenen Röhrenkarren aus der Lurgenge.

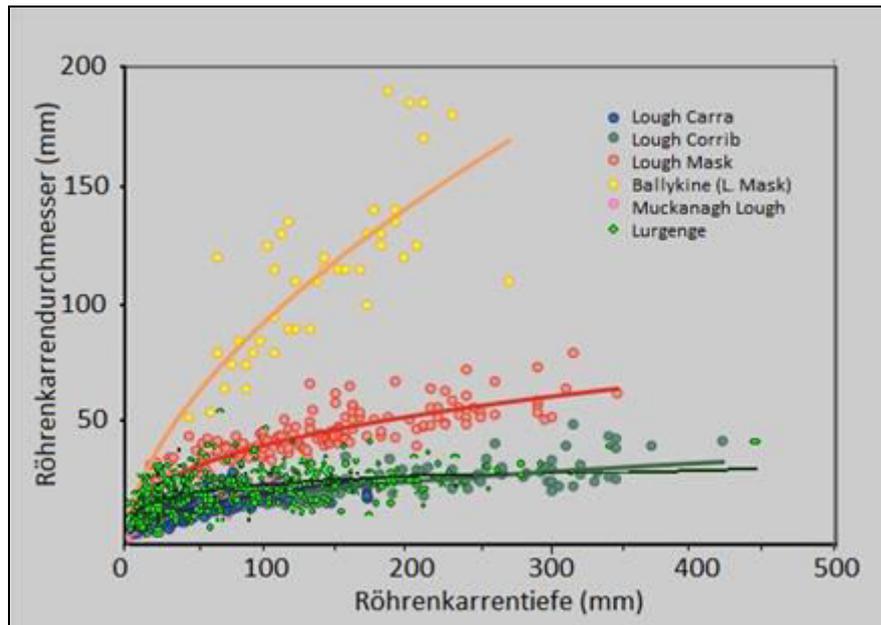


Abb. 35: Aufgenommene Röhrenkarren aus westirischen Seen (Simms, 2002) verglichen mit den Röhrenkarren aus der Lurgenge (hellgrün).

Der grafische Vergleich zeigt eine große Ähnlichkeit der Röhrenkarren in der Lurgenge mit denen aus dem Lough Corrib, welcher die geringste Untersättigung aufweist. Dies ist auch für die Lurgenge plausibel, da durch das Kalkalpine Einzugsgebiet im Untersuchungsgebiet von einer nahezu vollständigen Kalzitsättigung ausgegangen werden kann.

Die mittlere Tiefe der Röhrenkarren nimmt mit steigender Seehöhe ab (Abb. 36). Diese Beobachtung kann mit der höheren Wassersäule bei niedriger gelegenen Lokalitäten erklärt werden, der in einem erhöhten Luftdruck in den eingeschlossenen Luftblasen resultiert. Dadurch werden die Kondensation von Wassertröpfchen und die Aufnahme von CO_2 bei der Tröpfchenkondensation verstärkt, was zu einer erhöhten Kalzitlösung führt.

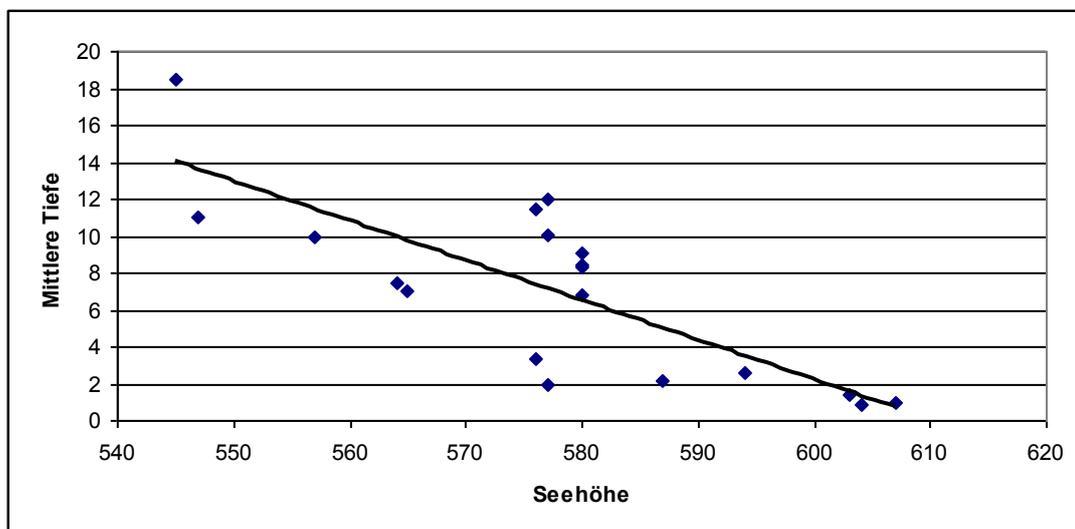


Abb. 36: Mittlere Tiefen der Röhrenkarren in cm im Bezug mit der Seehöhe m.ü.A. ihres Auftretens.

Unterhalb von 545 m.ü.A. wurden keine Röhrenkarren gefunden, obwohl auch in diesem Bereich kleine Höhlen und Überhänge an den Kalkaufschlüssen in der Lurgenge auftreten. Eventuell waren diese Lokalitäten mit quartären Ablagerungen bedeckt und wurden erst im Zuge der Entwässerung des Paläosees wieder freigelegt. Eine weitere Erklärung wäre, dass die im Bereich des heutigen Talbodens gelegenen Überhänge nicht mehr im Einflussgebiet von saisonalen Wasserspiegelschwankungen gelegen sind, sondern durchgehend mit Wasser bedeckt waren. Dadurch kommt es nicht zum Einschluss von Luftblasen, wodurch sich keine Röhrenkarren bilden konnten. Es könnte auch sein, dass sich die kleinen Höhlen und Überhänge in diesem Bereich erst in jüngerer Zeit gebildet haben.

In den weiter in den Berg reichenden Höhlen, wie der St. Aegyder Durchgangshöhle (1835/14), tauchen die Röhrenkarren zum Teil nur in Eingangsnähe auf. Durch die ansteigende Form der Höhle hat sich bei einem steigenden Wasserspiegel eine große Luftblase gebildet, wodurch keine kleineren Strukturen entstanden sind.

5.2 Frühere Entstehungsmodelle der Röhrenkarren

Die Bildung der Röhrenkarren wird in der Literatur durch unterschiedliche Vorgänge erklärt, jedoch zielen alle auf Lösungserscheinungen ab.

Schlesinger (1941) beschreibt, dass die Lösung durch das andauernde Tropfen von Wasser auf die Gesteinsoberfläche zustande gekommen ist und die geologischen Einheiten des Wettersteinkalks eine ca. 180°-Kippung nach der Bildung dieser Röhren durchliefen. Allerdings finden sich keine strukturgeologischen Anhaltspunkte für diese Überkipfung.

Meisinger (1951, 1959) nimmt bereits eine in-situ Bildung in einem stehendem Gewässer an und versucht ebenfalls eine zeitliche Eingrenzung über die Bildungsdauer zu geben. Er geht vom Ausgasen von CO₂ aus dem Wasser aus, was entweder durch Erhöhung der Wassertemperatur oder einem drastischen Abfall des Wasserspiegels ausgelöst werden kann, wodurch der Druck auf die Wassersäule erniedrigt wird. Diese Theorie kann nicht komplett ausgeschlossen werden, jedoch ist sie unwahrscheinlich, da Gas senkrecht nach oben steigt aber die Röhrenkarren an den Ufern des Sees konzentriert sind, wo bei diesem Vorgang nicht unbedingt die höchste Rate an Gasbildung erwartet wird.

5.3 Bildungsdauer und zeitliche Einordnung der Röhrenkarren

Laut Simms (2002), sind die Röhrenkarren in Westirland ein postglaziales Phänomen. Er begründet dies durch zwei Aspekte: (1) Die Gebiete waren während der Eiszeit vergletschert, wodurch es keinen oszillierenden See geben konnte. (2) Das durch die Durchlöcherung instabile Gestein an den Überhängen, hätte der glazialen Erosion nicht Stand gehalten. Simms bezieht die Lösungsgeschwindigkeit auf die vorgefundenen Maximallängen der Röhrenkarren, welche eine Tiefe von bis zu 45 cm aufweisen. Bezogen auf Lambeck (1996) geht er von einem Rückgang der Gletscher

um 15 Tausend (ka) vor heute aus. Damit ergibt sich eine Lösungsgeschwindigkeit von bis zu 30 mm/ka betragen haben kann. Die Maximaltiefen der in der Lurgenge auftretenden Röhrenkarren ist ähnlich. Da das Gebiet jedoch während der letzten Kaltzeit nicht vergletschert war (Van Husen, 1987), kann eine genaue zeitliche Einordnung nicht gegeben werden und die Bildung auch vor oder während der letzten Kaltzeit bereits begonnen haben.

Paläoböden in den Schotterterrassen im Tal der Unrechtraisen wurden auf Prä-Würm datiert (mündliche Mitteilung Jürgen Reitner, GBA). Die Bildung der Terrassen hängt vermutlich mit dem Auftreten des Sees zusammen, wodurch man die Bildung möglicherweise auf das Interglazial zwischen Riß- und Würm-Glazial eingrenzen kann. Datierungen von, an den Röhrenkarren gebildeten Sintern wurden an das Institut für Geowissenschaften (Arbeitsgruppe Speläothemforschung/Isotopengeochemische Paläoklimatologie) der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz zur Datierung geschickt. Die Ergebnisse stehen noch aus.

Die Lebensdauer von aufstauenden Massenbewegungen ist abhängig von der Größe, Kompaktion und Form der Massenbewegung, sowie der anfallenden Wassermenge und der angestauten Wasserhöhe. Über 50% der Massenbewegungsstaudämme versagen bereits nach einer Woche; nach einem Jahr stehen nur noch ca. 10% (Schuster & Evans, 2011). Mit einer angenommenen Lebensdauer von etwa 15 ka bildet die aufstauende Massenbewegung zwischen St. Aegydt a. N. und Hohenberg eine vergleichsweise sehr stabile Form.

5.4 Sedimente

Die in den Ergebnissen dargestellten Kornsummen- und Einzelwertkurven der Sedimente aus der Lurgenge weisen einen steilen Anstieg der kumulativen Kornsummenkurve im Bereich zwischen 1,0 und 10 μm auf. Fluviale Sedimentation ist daher unwahrscheinlich. Passega (1964) führte das CM-Diagramm zur Charakterisierung von Sedimenten nach ihrer Korngrößenverteilung ein und klassifiziert sie bezüglich ihres Ablagerungsmilieus. Die Hauptparameter sind dabei die mittlere Korngröße (x -Achse) und die Korngröße bei 1% der Probe (y -Achse), ausgehend vom Grobanteil. Abb. 37 zeigt das CM-Diagramm mit den eingetragenen Werten der Sedimentproben 63a bis 68.

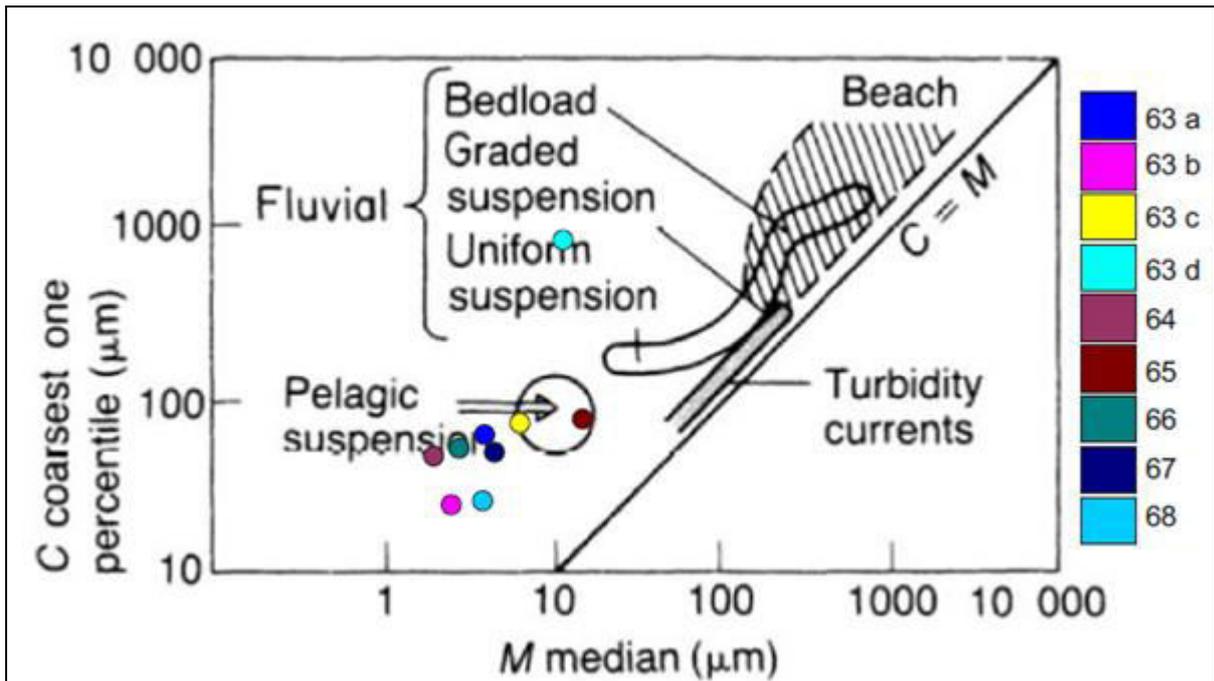


Abb. 37: CM-Diagramm nach Passega (1964) mit den eingetragenen Korngrößen der Sedimentproben aus der Lurgenge (Daten: Sedimentproben, Nasssiebung, Sedigraph; Quelle: Tucker, 1988).

Die Verteilung der Sedimentproben weist auf eine pelagische Ablagerung hin. Probe 63d bildet einen ausreißenden Wert, welcher jedoch durch kleine Einschwemmungen von gröberem Material oder biologische Umlagerung erklärt werden kann. In kontinentaler Umgebung lässt sich das Ablagerungsmilieu auf einen See oder einen sehr langsam fließenden Arm eines mäandrierenden Flusses eingrenzen. Da die Sedimentproben über eine Höhe von 70 m sehr homogen feinkörnig sind und die Lurgenge ein sehr schmales Tal ausbildet, wird ein mäandrierender Fluss ausgeschlossen.

Die mineralogische Zusammensetzung in den Proben ist charakteristisch für Sedimentation in den Nördlichen Kalkalpen mit einem hohen Anteil von Dolomit, Ankerit und Kalzit. Diese Verteilung ist durch die Geologie des Einzugsgebietes begründet, indem weite Teile aus Dolomit und Kalkgesteinen aufgebaut und zum Teil von Quarzsandsteinen der Lunzer Formation und Gosau-Subgruppe durchzogen sind. Durch die Aufstauung der Unrechtraisen und dem daraus resultierenden Verlust der Fließgeschwindigkeit vor der Lurgenge wird die im Einzugsgebiet erodierte Suspensionsfracht abgelagert.

5.5 Rekonstruktion des angenommenen Stausees

5.5.1 Umfang und Ausdehnung

Basierend auf diesen Interpretationen wurde die Ausdehnung des Sees rekonstruiert. Die Höhenverteilung der Röhrenkarren gibt Aufschluss über einen minimalen Wasserstand von 610 m Seehöhe. Der Maximalwasserstand wird durch eine im Osten der Lurgenge gelegenen Bergsattel,

zwischen Haidenhof und Thoreck, auf 642 m begrenzt (Abb. 38). Die in Abb. 23 ermittelten Steigungsunterschiede der Terrassentops lassen eine Seehöhe zwischen 625-634 m.ü.A. annehmen.

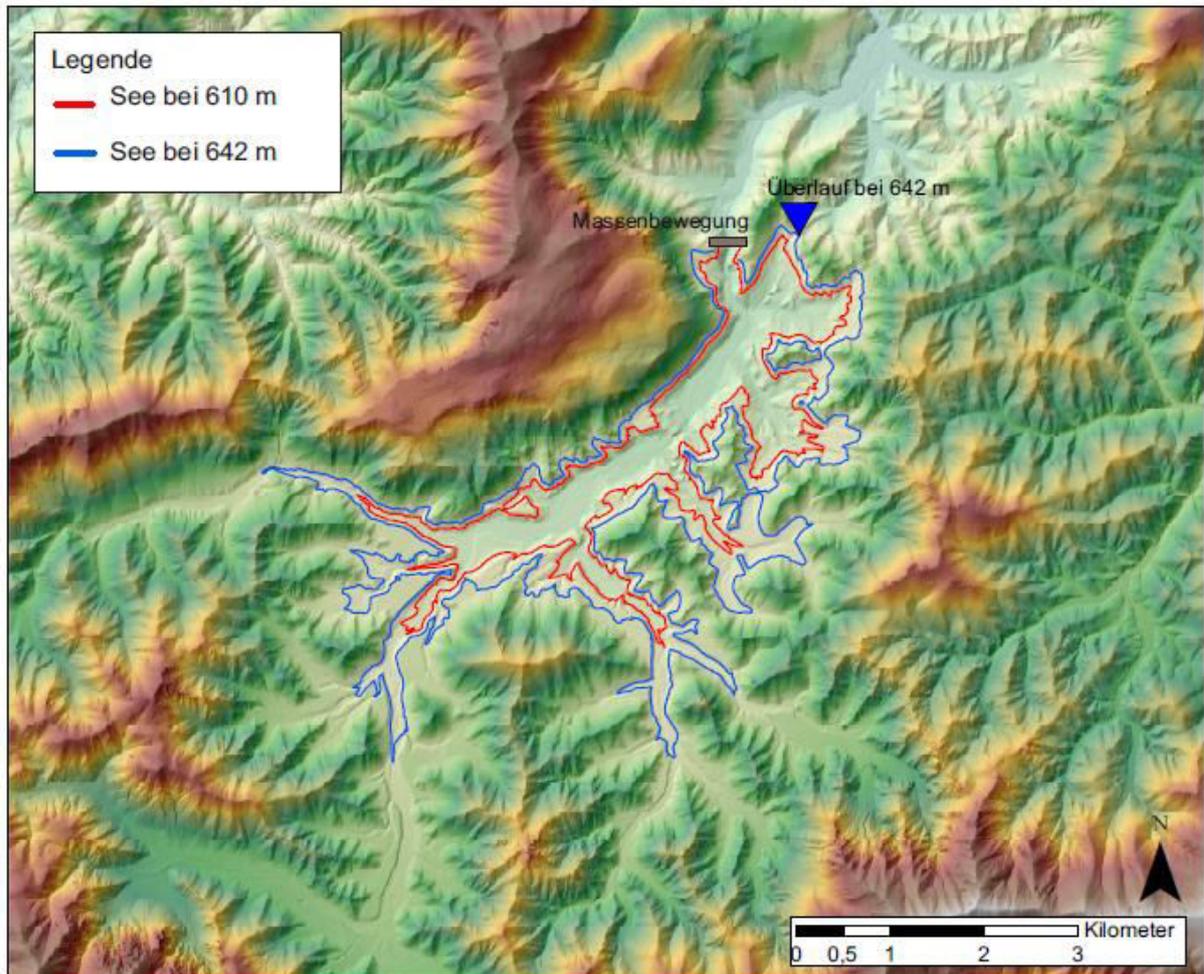


Abb. 38: Ausdehnung des rekonstruierten Sees bei der minimalen Seehöhe von 610 m (rot) und der maximalen Seehöhen von 642 m (blau). Hintergrund schattiertes Höhenmodell vom Land Niederösterreich.

Massenbewegungen haben eine durchschnittliche hydraulische Leitfähigkeit von $10^{-5} - 10^{-6} \text{ m s}^{-1}$ (Vieira & Fernandes, 2002; Gomes & Vieira, 2016). Diese Sickerrate ist vorwiegend abhängig vom auflastenden Wasserdruck und der Kontaktfläche. Die Kontaktfläche des Wassers mit der Massenbewegung beträgt rund 70.000 m^2 bei einem Wasserstand von 634 m. Dadurch ist ein Durchsickern von rund $0,07 - 0,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durch die gesamte Massenbewegung anzunehmen.

Die heutige durchschnittliche Schüttung der Unrechtraisen liegt in der Lurgenge bei rund $2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Hochwasserereignisse und stark ansteigende Schüttungen, vor allem zwischen Februar und Mai, würden die Füllung des Sees beschleunigen. Niedrigwässer zwischen November und Februar führen zu einer Wasserspiegelabsenkung.

Das ungefähre Seevolumen wurde durch die berechnete Seefläche auf der 634 m Isohypse abgeschätzt, die $7,4 \text{ km}^2$ beträgt. Die 634 m Isohypse dient hierbei als Ausgangswert durch die Verebenung der Terrassentops. Die Seetiefe beträgt unmittelbar südlich der Massenbewegung ca.

100 m, nimmt jedoch flussaufwärts stetig ab. Zur Abschätzung des Wasservolumens wurde eine durchschnittliche Wassertiefe von 40 m angenommen, was ein ungefähres Seevolumen von ca. 0,3 km³ ergibt.

Bei der heutigen Schüttung der Unrechttraisen oberhalb der Lurgenge von ca. 2 m³/s und einem Wasserverlust durch Versickern durch die Massenbewegung von ca. 0,3 m³/s würden somit 1,7 m³/s zur effektiven Aufstauung beitragen. Unter dieser Annahme wurde eine Füllungsdauer bis zu 634 m Höhe von 204 Tagen ermittelt. Diese Werte sind als Näherungswerte zu verstehen, da über die ursprüngliche Talform und das Volumen des Sees, die Abflusswerte und Niederschlagssummen während der Entstehung des Paläosees, dessen Bestand und die Eigenschaften der Massenbewegung sehr wenig bekannt ist.

5.5.2 Vergleich mit rezenten Seen

Ein Vergleich mit einem rezenten, durch eine Massenbewegung aufgestauten See, stellt z. B. der Lake Shewa bei Badakhshan in Afghanistan dar. Er weist eine Länge von 12 km, einer Tiefe von bis zu 270 m und eine Höhe des Dammes von ca. 400 m auf. Jährliche Wasserspiegelschwankungen betragen zwischen 7 und 12 m und sind durch Schüttungsschwankungen der Zuläufe beeinflusst. (Shroder & Weihs; 2010).

Der Lake Sarez in Tadjikistan ist ein Beispiel für einen relativ rezenten Bergsturz-Stausee, der sich im Jahre 1911 gebildet hat. Die Messungen bezüglich der Ausdehnung und des Wasserspiegels begannen 1926. Seitdem ist der Wasserspiegel um ca. 50 m gestiegen. Heute hat er eine Fläche von ca. 80 km², ein Wasservolumen von ca. 16,5 bis 17 km³ und saisonale Wasserspiegelschwankungen von ca. 10 m, wodurch seine maximale Tiefe zwischen 480 bis 490 m variiert. Nichtsaisonale Flutereignisse haben einen Einfluss auf den Wasserspiegel von 7 bis 8 m. Zwischen 1950 und 1988 hat sich die Sickermenge durch die Massenbewegung von anfänglichen 55 m³/s auf ca. 42 m³/s verringert. Die Aufzeichnungen über 15 Jahre ergeben, dass der Wasserspiegel um 0,2 m pro Jahr ansteigt (Papyrin, 2008).

Verglichen mit diesen beiden Seen weist der rekonstruierte Stausee in Niederösterreich ein relativ geringes Wasservolumen und einen hohen Wasserzufluss durch die Unrechttraisen auf, wodurch sehr starke saisonale Wasserspiegelschwankungen erklärt werden können.

5.5.3 Theorien zum Abfließen des Sees

Die Massenbewegung in der Lurgenge fällt an der Ostseite mit 38° zum Fluss ab. Dieser Hang und das damit verbundene Abfließen des Sees könnten durch ein Aufbrechen des Dammes oder das Überfließen und rückwirkende Einschneiden des Wassers in die Massenbewegung hervorgerufen worden sein. Durch die kurzzeitigen Aufstauungszyklen und den, verglichen mit der Ausdehnung des Sees, großen Zuflussmengen an Wasser wäre ein Überlauf an der Ostseite der Massenbewegung

denkbar. Das Auftreten von Seetonen bis in hohe Bereich des Bergsturzdammes weist auf eine fast vollständige Verlandung des Paläosees und anschließender rückschreitender Erosion hin.

6. Schlussfolgerung

Das Auftreten der Röhrenkarren an den Hängen der Lurgenge deutet auf das ehemalige Vorhandensein eines Sees mit Wasserspiegelschwankungen hin. Weitere Bildungstheorien für die charakteristischen Röhrenkarren fallen nahezu weg da es sich um Lösungserscheinungen im Kontakt mit Wasser handelt. Geologisch und morphologisch lässt sich vor allem der als Massenbewegung charakterisierte Körper im Norden der Lurgenge als Indiz für die ehemalige Aufstauung der Unrechttraisen anführen.

Die sedimentologischen Charakteristika aus den erstellten Kornsummenkurven und dem CM-Diagramm weisen ebenfalls auf Seeablagerungen hin. Durch die Klassifizierung nach Passega (1964) im CM-Diagramm wird das Ablagerungsmilieu auf eine pelagische Suspension eingegrenzt. Die Mineralzusammensetzungen zeigen, dass die Sedimente aus dem Einzugsgebiet der Unrechttraisen kommen. Das Vorkommen von litoraler und wahrscheinlich limnischer Fauna unterstreicht die Annahme der Aufstauung der Unrechttraisen.

Durch einen Sattel wird der maximale Wasserstand auf 642 m.ü.A. beschränkt, was zu einer maximalen Tiefe des Sees von ca. 110 m, nach heutiger Talbodenhöhe, führen würde. Durch das Auftreten der Röhrenkarren muss der See einen Mindestwasserstand von 610 m.ü.A. erreicht haben, was einer Tiefe von ca. 75 m entspricht. Durch die Änderung des Gradienten der Terrassentopsets wird eine durchschnittliche Aufstauungshöhe von 634 m.ü.A. angenommen.

Die Existenz von feinkörnigen (See-)sedimenten bis weit nach oben deuten auf einen außergewöhnlichen langen Bestand des Bergsturzdammes hin.

7. Literatur

Alber, J. in Schermann, O.; Alber, J.; Ceipek, N.; Klein, P.; Malecki, G.; Passauer, U.; Exel, R. (1983): OEK 73, Geologische Karte. Flußspatprospektion auf hydrochemischer Grundlage in den niederösterreichischen Alpen, Endbericht 1983 - Türrnitz.

BH St. Pölten (1933): Bescheid zum Naturdenkmal. – Abrufbar unter: <http://noel.gv.at/externeseiten/ru5/nsb/ce1c3f77-dcdf-4557-9bb0-dfdd3b275776.pdf> .

Dreybrodt, W., Gabrovšek, F. & Perne, P. (2005): Condensation corrosion: A theoretical approach. – Acta Carstologica, 34(2): 317-348.

BMLFUW (2017): EHYD. www.ehyd.gv.at. abgerufen 12.1.2017.

Elozra, J., & Higuera-Ruiz, R. (2016): Relict hollow cylinders (*röhrenkarren*-type) generated on the Urgonian limestones of the eastern Cantabrian coast: morphometry, make-up mechanism and paleoenvironmental considerations. – Reviste de la Sociedad Geológica de Espana, 29(1): 59-77.

Gomes, M. C. V. & Vieira, B. C. (2016): Saturated hydraulic conductivity of soils in a shallow landslide area in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil – Zeitschrift für Geomorphologie, NF Volume 60 (1): 53 – 65.

Grzimek, B. (1971): Grzimeks Tierleben – Die neuzeitige Enzyklopädie des gesamten Tierreichs, Band I. Niedere Tiere. – Kindler Verlag Ag, Zürich.

Hartmann, H. & Hartmann W. (1982): Die Höhlen Niederösterreichs Band 2. – Die Höhle, Beiheft 29, Wien.

Hofmann, T. (2006): Geotope in Niederösterreich. – In: Wessely G. (Hrsg.): Geologie der Österreichischen Bundesländer Niederösterreich. Geol. Bundesanstalt (Wien): 365-373, Wien.

Knighton, David (1998): Fluvial Forms & Processes; A new perspective – Department of Geography, University of Sheffield (UK): 242 – 261, Sheffield.

Kurz, H. & Mayer, A. (1965): Höhlen im Traisental bei St. Ägyd am Neuwald. – Höhlenkundl. Mitt. Wien, 21 (5): 51-52, Wien.

Lambeck, K., Johnston, P; Smither, C; Nakada, M. (1996): Glacial Rebound of the British Isles–Iii. Constraints on mantle viscosity – Geophysical journal International, 125 (2): 340 – 354, London.

Lismonde, B. (2000): Corrosion des coupoles de plafond par les fluctuations de pression de l'air emprisonné. – Karstologia, 35 (1): 39-46, Savoie.

Liste der Naturdenkmäler Niederösterreichs; http://www.noel.gv.at/noe/Naturschutz/Naturdenkmaeler_in_NOe.html

Look, E.-R. (1996): Arbeitsanleitung Geotopschutz in Deutschland. Leitfaden der Geologischen Dienste der Länder der Bundesrepublik Deutschland. – Angewandte Landschaftsökologie, 9 , Bonn – Bad Godesberg.

Mandl, G.W. et al. (2002): Geologische Karte von Niederösterreich 1: 200 000: Legende und Kurzerläuterung. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

Mandl, G. W., Nowotny A., Rockenschaub, M. (2001): Geologische Karte 1: 50 000, Blatt 104 Mürrzuschlag. – Geologische Bundesanstalt, Wien.

Martin, C. & Eiblmaier, M. (2003): Lexikon der Geowissenschaften – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

- Meisinger, A. (1951): Naturdenkmale Niederösterreichs. – Amt der NÖ Landesregierung (Wien), Wien.
- Meisinger, A. (1959): Naturdenkmale Niederösterreichs, 2. erweiterte Auflage. – Amt der NÖ Landesregierung (Wien), Wien.
- Moser, M. & Pavlik, W. (2013): Geofast Karte Blatt 74 Hohenberg. – Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Passega, R. (1964): Grain size representation by CM patterns as a geological tool – *Journal of Sedimentary Petrology*, 34 (4): 830-847, Bartelsville, Oklahoma.
- Papyrin, L. P. (2008): The prospects of bringing lake Sarez into the safe state and use of its water resources. – International exhibition center “Crocus Expo” Plenary presentation, Moscow, Russia.
- Robert, P.-A. (1959): Libellen – Naturkundliche K + F – Taschenbücher, Kümmerly & Frey, Geographischer Verlag, Schweiz, Bern.
- Schlesinger, G. (1941): Naturdenkmale in Niederdonau. – Gaupresseamt Niederdonau der NSDAP, Österreich, St. Pölten.
- Schuster, R.L. & Evans, S.G., (2011): Engineering measures for the hazard reduction of landslide dams. – Evans, S.G., Hermanns, R.L., Strom, A., Scarascia-Mugnozza, G. (Eds.), *Natural and Artificial Rockslide Dams, Lecture Notes in Earth Sciences 133*. Springer: 77–100, Deutschland, Heidelberg.
- Shroder, J. F. & Weihs, B. J. (2010): Geomorphology of the lake Shewa landslide dam, Badakhshan, Afghanistan, using remote sensing data. – Wiley on behalf of the Swedish society for anthropology and geography; *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 92 (4): 469-483, Schweden, Huddinge.
- Simms, M. J. (1990): Phytokarst and Photokarren in Ireland. – *Transaction of British Cave Research Association. Cave Science*, 17 (3): 131-133, England, Buxton.
- Simms, M. J. (2002): The origin of enigmatic, tubular, lake-shore karren: a mechanism for rapid dissolution of limestone in carbonate-saturated waters. – *Physical Geography*, 23 (1): 1-20, London.
- Simms, M. J. & Parkes, M. A. (2005): Holey rocks and holey ghosts: the threatened karst of the Great Western Lakes. – Department of Geology (Belfast, Northern Ireland) & Geological Survey of Ireland, Dublin.
- Spengler, E. (1931): Erläuterungen zur Geologischen Spezialkarte der Republik Österreich. Blatt Schneeberg – St. Aegyd. – Geologische Bundesanstalt, Wien, 78 – 79, Wien.
- Tucker, M. (1988): *Techniques in Sedimentology*. – Blackwell Scientific Publications, 1988), S. 191-214, London, Edinburgh, Cambridge, Palo Alto, Carlton Victoria.
- Van Husen, D. (1987): Die Ostalpen in den Eiszeiten. Aus der geologischen Geschichte Österreichs. – *Populärwiss. Veröffentl.*, 23 Abb., Karte 1 : 50.000 – Geologische Bundesanstalt, Wien, Wien.
- Vieira, B. C. & Fernandes, N. F. (2004): Landslide in Rio de Janeiro: The role played by variations in soil hydraulic conductivity. – *Hydrological Processes*, 18 (4): 791-805, Hoboken.
- Visher, G. S. (1969): Grain size distribution and depositional processes. – *Journal of Sedimentary Petrology*, 39(3): 1074-1106, McLean.
- Woodmorappe, J. (2006): Hardgrounds and the Flood: the need of re-evaluation. – *Journal of Creation*, 20(3): 104-110, Brisbane.

Anhang

Weitere Tabellen

Tabelle 3: Koordinaten (Bundesmeldenetz M34) und Seehöhen der Aufschlüsse, sowie vorgefundene Besonderheiten.

Aufschlussnr.	GPS RW	GPS HW	Seehöhe	Besonderheit
1.	695075	304294	576	Röhrenkarren
2.	695052	304309	577	Röhrenkarren
3.	695005	304353	583	Felsblock
4.	695002	304327	635	Felsblock
5.	695020	304308	648	Erosionsüberhang
6.	695047	304277	625	Erosionsüberhang
7.	695047	304304	594	Röhrenkarren
8.	695042	304287	580	Röhrenkarren
9.	695100	304287	580	Röhrenkarren
9. – 10.			580	Röhrenkarren
10.	695100	304280	580	Röhrenkarren
11.	695061	304505	561	Massiger Aufschluss
12.	695061	304505	561	Massiger Aufschluss
13.	695017	304559	565	Röhrenkarren
14.	695212	304351	577	Röhrenkarren
15.	694978	304300	575	Waagrechte Löcher
16.	695186	304650	585	Erosionshöhle
17.	695165	304665	577	Röhrenkarren
18.	695139	304706	576	Röhrenkarren

19.	695132	304725	587	Röhrenkarren
20.	695231	304327	524	Kleine Höhle
21.	695231	304327	524	Kleine Höhle
22.	695417	304660	615	Ostflanke von Thorhofklamm
23.	695310	304474	604	Röhrenkarren
24.	696022	304339	607	Vernässungszone
25.	695714	302966	571	Vernässungszone mit kl. Bach
26.	695719	303117	606	Bachgraben bei Obermitterbach
27.	695879	303528	602	Rauchfeldner Kogel Süd
28.	695794	303350	608	Schottergrube Rauchf. Kogel
29.	694891	303805	544	Kalkaufschluss
30.	695019	304061	607	Röhrenkarren
31.	695106	304202	603	Röhrenkarren
32.	694138	303148	630	Schottergrube Heindl
33.	694175	303168	627	Schottergrube Heindl
34.	694390	303428	632	Aufschluss über Schottergrube
35.	694412	303372	588	Rinne abwärts von Weg
36.	694358	303165	579	Schottergrube Heindl
37.	694626	303554	583	Kalkaufschluss über

				Gasth. „Fritz“
38.	694656	303611	602	Kalkaufschlüsse im Hang
39.	694970	304872	633	Blöcke auf Massenbewegung
40.	691556	302224	647	Wald Richtung Stadlhof
41.	691558	302167	671	Aufschluss in Wald
42.				Gr. Dolomitaufschluss
43.	693889	301200	615	Aufschluss an Weg
44.	694584	302946	560	Verwitterter Aufschluss an Straße
45.	695198	305176	579	Kalkblock im Hang
46.	695277	305192	634	Höhle an Kalkaufschluss
47.	695293	305271	631	Erosionsüberhang
48.	695315	305377	605	Erosionsüberhang
49.	695358	305469	597	Halbhöhle in massigen Kalkaufschluss
50.	695423	305505	648	Erosionsüberhänge
51.	695277	305447	551	Schotteraufschluss an Weg
60.			547	Röhrenkarren
61.			545	Röhrenkarren
63.				Sedimentprobe Prallhang (a.-d.)

64.				Sedimentprobe Forstweg
65.				Sedimentprobe Forstweg
66.				Sedimentprobe auf Verebnungsfläche
67.				Sedimentprobe Forstweg
68.				Sedimentprobe auf Massenbewegung
69.				Lesestein Lunzer Schichten
70.				Felswand gegenüber Stollen

Tabelle 4: Massenanteil in Gramm der Fraktionen in den Sedimentproben (Sedigraph + Siebung).

Korngröße [mm]	63a	63b	63c	63 d	64
>1	0,21	0,11	0,121	1,012	0,021
1-0,5	0,04	0,011	0,054	0,398	0,006
0,5-0,25	0,013	0,003	0,042	0,345	0,016
0,25-0,125	0,04	0,02	0,242	1,326	0,051
0,125-0,063	0,1	0,11	1,748	3,684	0,538
0,063-0,0315	0,33	0,33	3,44	3,57	1,01
0,0315-0,016	0,82	1,23	7,43	4,51	2,64
0,016-0,008	4,8	4,9	6,94	3,14	3,12
0,008-0,004	9,2	7,9	4,91	1,89	4,98
0,004-0,002	8,25	6,7	2,94	1,07	6,05
0,002-0,001	4,14	3,6	1,24	0,7	4,43

0,001-0,0005	2,1	2,02	0,92	0,65	2,9
0,0005-0,00025	0,98	1,08	0,92	0,44	1,95
0,00025-0,000125	0,16	0,24	0,16	0,02	0,39
Korngröße [mm]	65	66	67	68	
>1	0,0	0,297	0,016	0,006	
1-0,5	0,005	0,071	0,013	0,007	
0,5-0,25	0,022	0,067	0,014	0,011	
0,25-0,125	0,589	0,089	0,279	0,045	
0,125-0,063	7,182	0,253	0,227	0,14	
0,063-0,0315	6,3	1,37	1,02	1,65	
0,0315-0,016	6,85	3,42	5,71	5,23	
0,016-0,008	2,95	4,7	7,04	5,9	
0,008-0,004	1,4	4,14	5,33	5,23	
0,004-0,002	0,6	3,39	3,69	3,98	
0,002-0,001	0,47	2,71	2,77	2,8	
0,001-0,0005	0,9	2,62	2,46	2,46	
0,0005-0,00025	1,02	2,32	1,23	1,23	
0,00025-0,000125	0,35	0,83	0,38	0,47	

Tabelle 5: Prozentualer Massenanteil der Fraktionen in den Sedimentproben (Sedigraph + Siebung).

Korngröße [mm]	63a	63b	63c	63 d	64
>1	0,687	0,394	0,389	4,443	0,075
1-0,5	0,125	0,039	0,173	1,748	0,021
0,5-0,25	0,042	0,011	0,135	1,515	0,057
0,25-0,125	0,125	0,067	0,777	5,822	0,181
0,125-0,063	0,308	0,39	5,614	16,176	1,914
0,063-0,0315	1,059	1,171	11,048	15,675	3,594
0,0315-0,016	2,631	4,364	23,862	19,802	9,394

0,016-0,008	15,399	17,315	22,289	13,787	11,102
0,008-0,004	29,515	27,888	15,769	8,299	17,721
0,004-0,002	26,467	23,808	9,442	4,698	21,529
0,002-0,001	13,282	12,702	3,982	3,074	15,764
0,001-0,0005	6,705	7,167	2,955	2,854	10,32
0,0005-0,00025	3,144	3,832	2,954	1,932	6,939
0,00025-0,000125	0,513	0,852	0,514	0,088	1,388
Korngröße [mm]	65	66	67	68	
>1	0,0	1,13	0,053	0,02	
1-0,5	0,017	0,27	0,043	0,023	
0,5-0,25	0,077	0,255	0,046	0,037	
0,25-0,125	2,055	0,339	0,924	0,151	
0,125-0,063	25,061	0,963	0,752	0,469	
0,063-0,0315	21,983	5,214	3,38	5,528	
0,0315-0,016	23,903	13,015	18,92	17,522	
0,016-0,008	10,294	17,886	23,327	19,766	
0,008-0,004	4,885	15,755	17,661	17,522	
0,004-0,002	2,094	12,901	12,227	13,334	
0,002-0,001	1,64	10,313	9,179	9,381	
0,001-0,0005	3,14	9,971	8,151	8,241	
0,0005-0,00025	3,559	8,829	4,076	6,432	
0,00025-0,000125	1,221	3,159	1,259	1,575	

Höhlenpläne

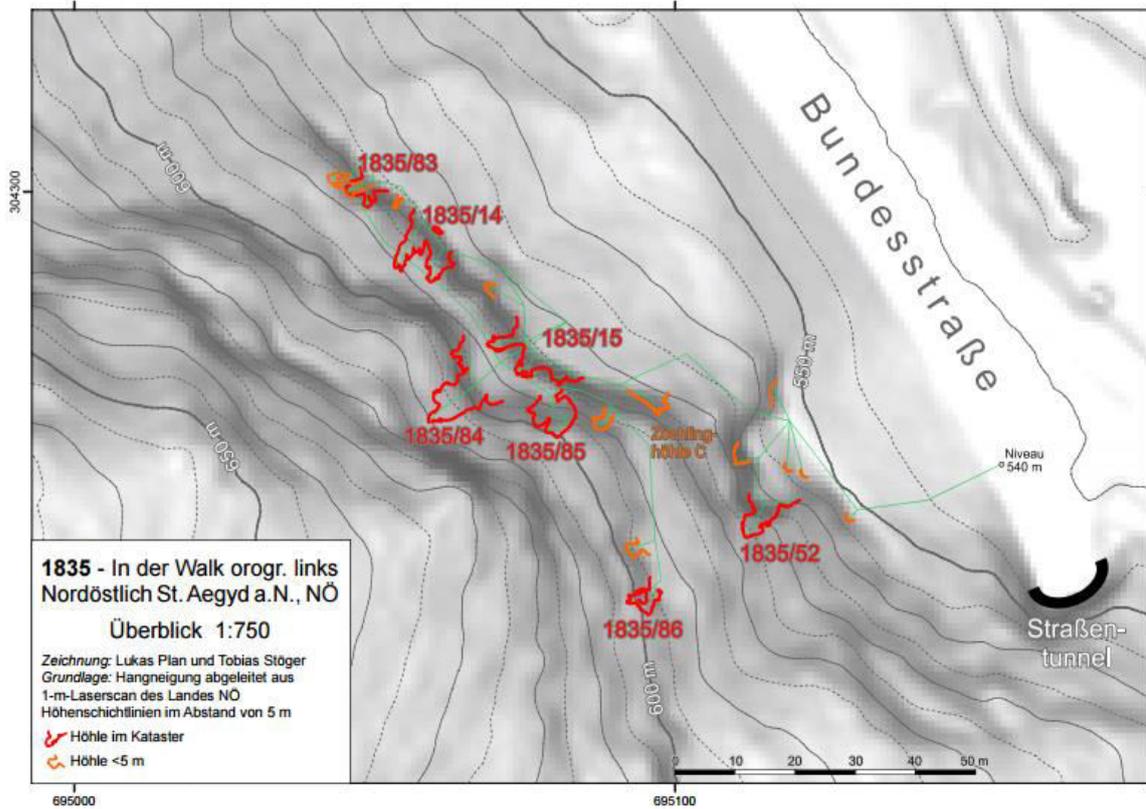


Abb. 39: Lage und Nummerierung der aufgenommenen Höhlen auf einem hochauflösendem ALS.

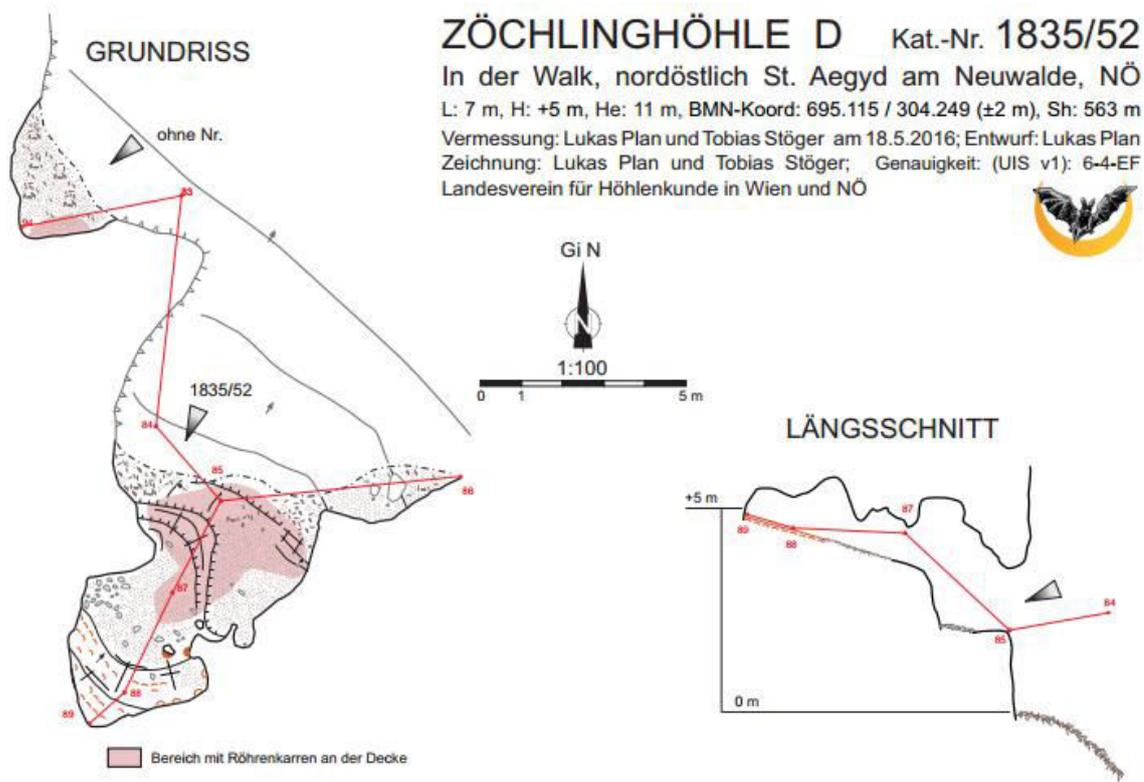


Abb. 42: Höhlenplan der Zöchlinghöhle D mit der Katastrnummer 1835/52.

STEINPOLYGONHÖHLE 1835/84

In der Walk, nordöstlich St. Aegyd am Neuwalde, NÖ

L: 9 m, H: +2 m, He: 15 m, BMN-Koord: 695.067 / 304.268 (± 2 m), Sh: 594 m

Vermessung: Lukas Plan und Tobias Stöger am 18.5.2016;

Entwurf: Lukas Plan; Zeichnung: Lukas Plan und Tobias Stöger;

Genauigkeit: (UIS v1): 6-4-EF Landesverein für Höhlenkunde in Wien und NÖ

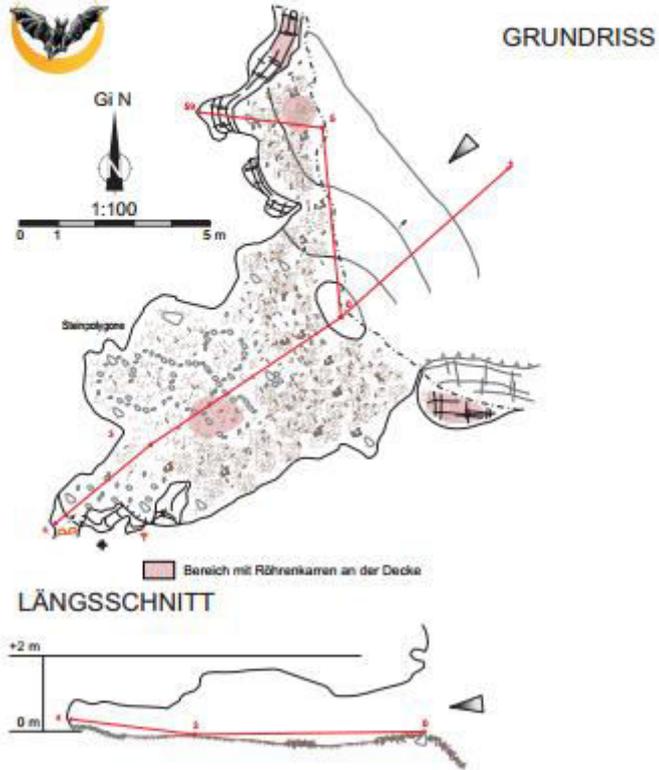


Abb. 43: Höhlenplan der Steinpolygonhöhle mit der Katasternummer 1835/84.

BLOCKSTÖPSELHÖHLE 1835/86

In der Walk, nordöstlich St. Aegydt am Neuwalde, NÖ

L: 7 m, H: +1 m, He: 6 m, BMN-Koord: 695.097 / 304.236 (± 2 m), Sh: 594 m

Vermessung: Pauline Oberender und Michael Nagl am 18.5.2016;

Entwurf: Pauline Oberender; Zeichnung: Tobias Stöger und Pauline Oberender;

Genauigkeit: (UIS v1): 6-4-EF Landesverein für Höhlenkunde in Wien und NÖ

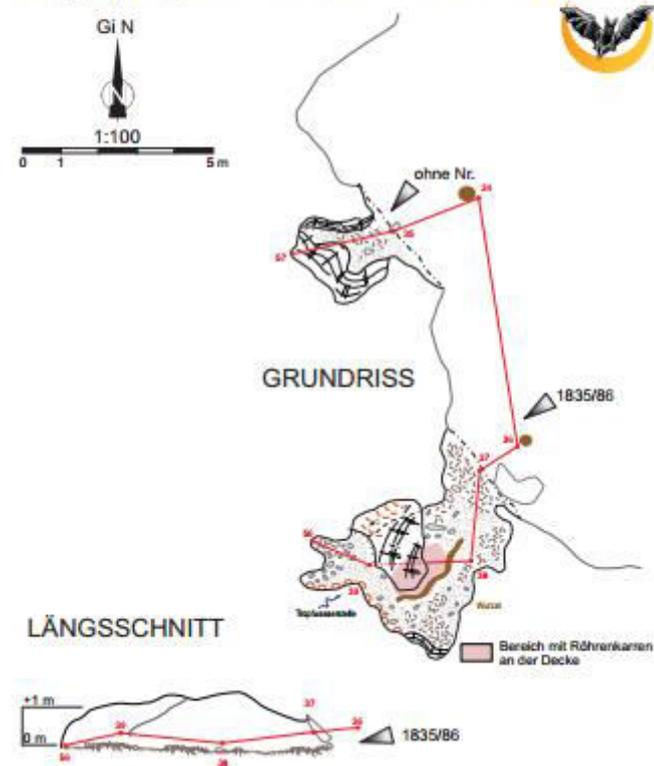


Abb. 44: Höhlenplan der Blockstöpselhöhle mit der Katasternummer 1835/86.