

Geol. Paläont. Westf.	75	5-26	15 Abb.	Münster März 2010
--------------------------	----	------	---------	----------------------

Eine fossilführende Karstspalte im Steinbruch Hillenberg bei Warstein

Lothar Schöllmann & Manfred Schlösser *

Kurzfassung

In dem Massenkalksteinbruch Hillenberg bei Warstein wurde von Mitarbeitern der Firma Steinwerke Risse eine fossilführende Karstspalte entdeckt. Die Sedimentfüllung lieferte eine umfangreiche Säugetierfauna sowie einige Amphibien, Reptilien und Vogelreste. Im Zuge des weiteren Massenkalkabbaus konnten insgesamt vier Profile untersucht werden, so dass der Karstraum räumlich rekonstruiert werden konnte. Aufgrund der Sedimentologie handelt es sich um die Karstspaltentyp C (nach BOLLINGER & RUMMEL 1994). Die Fauna setzt sich aus pleistozänen und holozänen Elementen zusammen. Der Eintrag in die Spalte erfolgte mehrphasig durch Schlammströme.

Einleitung

In den Gebieten mit devonischem Massenkalk befinden sich einige der größten Höhlensysteme Deutschlands (NIGGEMANN 2003) und zahlreiche verfüllte Paläokarsthohlräume. In den Tagebauen werden diese Karstphänomene häufig angeschnitten. Die sehr unterschiedliche Ausdehnung und Form der Paläokarsthohlräume reicht von schmalen, wenige Zentimeter breiten und einige Meter langen Spalten bis zu Höhlen von einigen hundert Metern Länge. Entstanden sind diese Hohlräume im phreatischen Grundwasserbereich durch physiko-chemische Lösungsprozesse (DRYBRODT 1988, PALMER 1991, NIGGEMANN 1994, 2003).

Im Jahre 1979 waren von der Warsteiner Karbonatplattform 21 Höhlen bekannt (MEIBURG & STOFFELS 1979), inzwischen hat sich die Zahl auf über 50 erhöht (www.gd.nrw.de/zin/a_warst.pdf). Die Anzahl der in den Tagebauen im Laufe der letzten Jahre angeschnittenen Spalten liegt bei mehreren Hundert. Einen guten Überblick über die Literatur zur Karst- und Höhlenkunde liefert ZYGOWSKI (1988). Die ältesten Hinweise über fossile Tierknochen von der Warsteiner Hochfläche stammen von SCHAAFFHAUSEN (1877). Kurz nach der Entdeckung der Bilsteinhöhle (FABRICIUS 1887) führte CARTHAUS Ausgrabungen in dem Bilsteinhöhlenkomplex durch (CARTHAUS 1889, 1890). In den 20iger und 30iger Jahren des letzten Jahrhunderts wurden archäologische Ausgrabungen in der Höhle Hohler Stein durchgeführt, bei denen auch Knochen von pleistozänen und holozänen Wirbeltieren geborgen wurden (ANDREE 1927, HENNEBÖLE & ANDREE, J. 1933, GÜNTHER 1961).

Eine paläontologische Bearbeitung von Wirbeltieren aus westfälischen Höhlen führte SIEGFRIED (1961) durch. Speziell mit den Funden aus den o.g. Höhlen beschäftigte sich SIEGFRIED (1979). Eine moderne Bearbeitung der archäologischen Funde unter Einbeziehung des paläontologischen Materials erfolgte durch BAALES (1996).

* Anschrift der Autoren: Dr. Lothar Schöllmann, LWL-Museum für Naturkunde, Westfälisches Landesmuseum mit Planetarium, Paläontologische Bodendenkmalpflege, Sentruper Str. 285, 48161 Münster;
Manfred Schlösser, Christoph-Bernhard-Graben 169, 48163 Münster.

Der überwiegende Teil der zahlreichen in den Tagebauen angeschnittenen Karstspalten ist jedoch fossilifer. So kam einer Fundmeldung im Jahre 1999 durch einen Mitarbeiter der Steinwerke Risse in Warstein eine besondere Bedeutung zu. Im Steinbruch Hillenberg südlich von Warstein (Abb. 1) befand sich in einer ca. 40 m hohen Steinbruchwand eine Spalte mit einer fossilführenden Sedimentfüllung. Die Spaltenfüllung lieferte eine reichhaltige Kollektion an Wirbeltieren, welche von REIMANN (Großsäugetiere), BERGER & VIERHAUS (Kleinsäugetiere), Amphibien und Reptilien (BÖHME) und Vögel (MAYR) bearbeitet wurden. Die Bearbeiter der Amphibien und Reptilien (BÖHME) und der Vögel (MAYR) lieferten Faunenlisten.

In den Sedimentproben befanden sich nach BÖHME (freundliche schriftliche Mitteilung) Knochen von *Rana temporaria*, *Bufo bufo* und *Lacerta agilis*. BÖHME stellte die Schichten aufgrund der Funde von *Lacerta agilis* ins Holozän. Die Vögel sind lediglich durch *Lyrurus tetrix* (freundliche schriftliche Mitteilung per E-mail) von Herrn Dr. G. MAYR, Forschungsinstitut Senckenberg Frankfurt/Main vertreten.

Die fossilführenden Karstfüllungen Süddeutschlands werden nach einem Vorschlag von DEHM & FAHLBUSCH (1970) nach der Lokalität benannt und mit einer fortlaufenden Nummer versehen. Diese sinnvolle Bezeichnung von Fundstellen wird auch auf die Karstfüllung im Steinbruch Hillenberg angewandt, so dass die Lokalität die Bezeichnung Hillenberg 1 erhält.

Erste Ergebnisse über die Ausgrabung wurden in mehreren Vorträgen, einem Poster, einer Publikation und einer Diplomarbeit (REIMANN 2001, REIMANN & STRAUCH 2001, SCHÖLLMANN, REIMANN & BERGER 2001; SCHÖLLMANN & REIMANN 2001; SCHLÖSSER & SCHÖLLMANN 2000) vorgestellt.

Lage

Warstein liegt am Nordrand des Sauerlandes im Naturpark Arnberger Wald. Nach der naturräumlichen Gliederung Deutschlands befindet sich die Stadt im Nordsauerländer Oberland (335).

Der Steinbruch Hillenberg liegt am südlichen Stadtrand von Warstein. Innerhalb des Steinbruchs war die Spalte an der Nordwand (Abb. 1) des Steinbruchs aufgeschlossen (Bl. 4516 Warstein R 34 55 075, H 57 00 325).

Geologischer Überblick

Die devonischen Riffe und ihr Riffschutt liegen heute als Massenkalk vor, die in zahlreichen Sattel- und Muldenkernen, entsprechend dem Generalstreichen des Rheinischen Schiefergebirges (WSW-ENE), zu Tage treten. Eines dieser Vorkommen, der Warsteiner Sattel, taucht inselartig zwischen Hirschberg und Kallenhardt auf (CLAUSEN & LEUTERITZ 1979, CLAUSEN 1990). Dieser Sattel besteht aus Sedimenten des Mitteldevons, des Oberdevons und des Unterkarbons. Der Massenkalk streicht im Sattelnern in Form von zwei schmalen nördlichen Zügen und einem breiten südlichen Zug aus. Das südliche Vorkommen ist durch zahlreiche Querstörungen und Überschiebungen in Schollen zerlegt (CLAUSEN & LEUTERITZ 1979).

Abriss der Verkarstung

An der Wende Unter-Oberkarbon wurden die Sedimente des Devon und Karbons im Warsteiner Raum von der variszischen Gebirgsbildung erfasst. Die Gesteine wurden dabei intensiv gefaltet, geschiefert und in ein Schollenmosaik zerlegt. Die Gebirgsbildung prägte dem Gestein ein Trennflächengefüge auf, dass als Ansatzpunkt für die postkarbonische Verkarstung diente. Nachdem die Hebung des Gebirges eingesetzt hatte, und zu einem Rückzug des Meeres führte, wurde das Sauerland Festland und es begann die Abtragung des Gebirges. Bis die Warsteiner Karbonatplattform wieder freigelegt war, wurden mehrere tausend Meter Sediment abgetragen oder erodiert. Danach begann die Verkarstung. Mit umgelagerten Keupersporren und einer Sporenassoziation des Wealden bis Valangin (Exkursionsführer der Subkommission für Karbonstratigraphie 1977) aus Karstspalten im Raum Brilon (Blatt 4517 Alme) konnte belegt werden, dass die Freilegung der Briloner Karbonatplattform vor der Kreidezeit weitgehend abgeschlossen war.

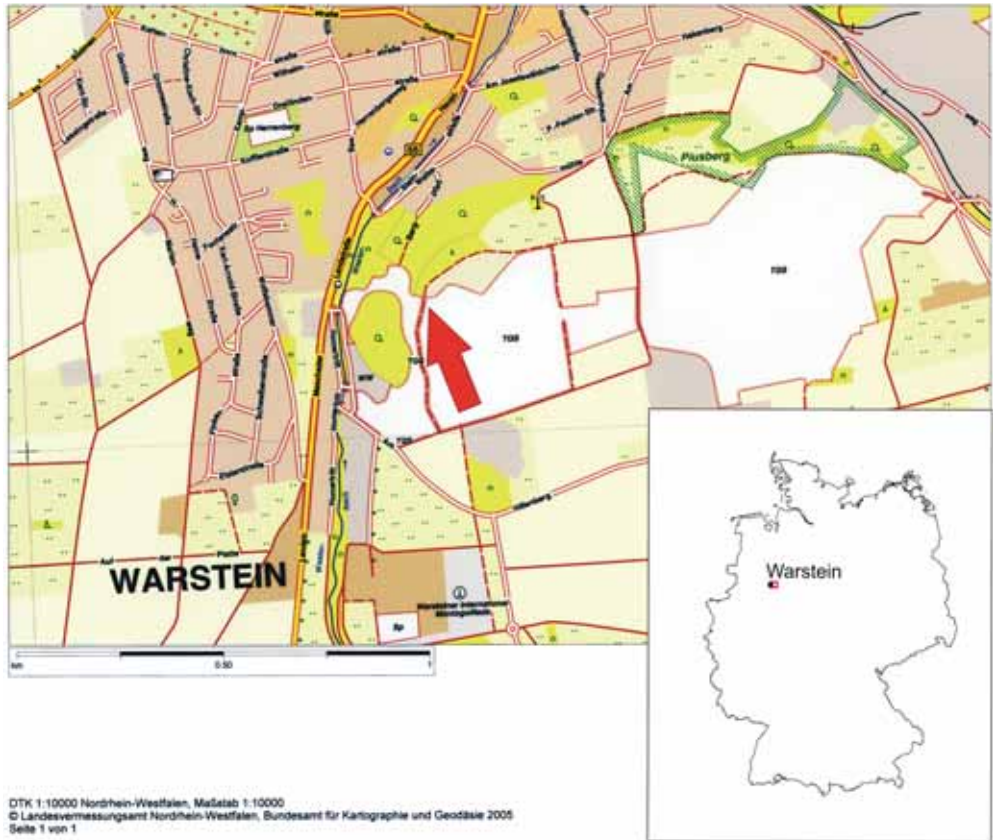


Abb. 1 Geographische Lage der Ausgrabungsstelle im Steinbruch Hillenberg südlich von Warstein. Die Karstspalte befand sich an der Nordwand des Steinbruchs.



Abb. 2 Nordwand des Steinbruchs Hillenberg mit der Karstspalte (Pfeil). Auf der Rampe (links im Bild) wird die letzte Schicht aufgebracht.



Abb. 3 Befund zu Beginn der Ausgrabung. Die Knochen sind deutlich in den Schichten erkennbar.

Unter den festländischen Bedingungen zur Unter-Kreidezeit schritt die Verkarstung in den Karbonatgebieten voran. Die Hohlräume füllten sich mit Sedimenten des Apt und des Alb (CLAUSEN et al. 1978). Sedimente der Unterkreide sind die ältesten Ablagerungen, die bisher in einer größeren Anzahl von Karsterscheinungen nachgewiesen worden sind (WIRTH 1964, Hönnetal; NORMAN & HILPERT 1987, HÖLDER & NORMAN (1986), Brilon-Nehden; CLAUSEN & LEUTERITZ 1989, Warstein; DROZDZEWSKI et al. 1998, Wülfrath).

Die Oberkreidetransgression ebnete die unterkretazische Landschaft mit marinen Sedimenten ein. Wie weit sich das Oberkreidemeer nach Süden erstreckte ist jedoch unbekannt. Diese Sedimente wurden im Tertiär und Quartär bis zur Denudationsgrenze am Haarstrang wieder abgetragen (NIGGEMANN 2003). Der zeitliche Ablauf dieser Freilegung der Karbonatplattform liegt jedoch weitgehend im Dunkeln. Sedimente der Oberkreide finden sich heute fast nur noch resedimentiert in Karstspalten. Im Raum Brilon liegen nach SCHRIEL 1954 noch Grünsandsteine auf dem Massenkalkplateau vor. Auch im Warsteiner Raum konnte in den letzten Jahren von den Verfassern mehrere Spaltenfüllungen mit resedimentierten Grünsanden nachgewiesen werden. In der Oberkreide und im Tertiär neigte sich die Ablagerungsfläche der Kreidesedimente nach Norden.

Im Tertiär wurden die Gesteine in einem warm wechselfeuchten Klima tiefgründig zersetzt. Nach (CLAUSEN & LEUTERITZ 1979) erfolgte die Entwässerung des eingerumpften Gebirges über ein System von Spülmulden. Nach NIGGEMANN (2003) ist jedoch in einer flachen Ebene ohne Taleintiefungen, wie sie für die Unter-Kreide immer wieder angenommen wurde (GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW, 1995), die Entstehung von Höhlensystemen nicht möglich. Für das nördliche Sauerland stellte NIGGEMANN (2003) fünf Höhlenstockwerke fest. In dem Warsteiner Massenkalkgebiet erkannte MEIBURG & STOFFELS (1979) drei Höhlenstockwerke. Sedimente der höheren Oberkreide und des Alttertiärs fehlen in den Karstkohlräumen der Warsteiner Karbonatplattform völlig. Während dieser Zeitabschnitte herrschten die Bedingungen eines bedeckten Karstes (CLAUSEN et al. 1978). Die weitere Verkarstung erfolgte subterran (CLAUSEN & LEUTERITZ 1979).

Im Pliozän wurde das Klima kälter und trockener. Durch epirogene Hebungen schnitten sich die Gewässer tiefer ein und das heutige Gewässernetz wurde festgelegt. Im Pleistozän erhöhte sich die Tiefen- und Seitenerosion der Flüsse. Der Wechsel von Kalt- und Warmzeiten führte zu einer abschnittswisen Tieferlegung der Erosionsbasis. Der Abtrag der Lockersedimente durch Solifluktion legte plombierte Hohlräume frei, so dass Bodensedimente eingespült werden konnten. In das Warsteiner Gebiet wurden große Mengen Löß angeweht, der durch Solifluktion umgelagert auch in Karsthohlräume gelangte. An der Oberfläche verwitterte der Löß zu Lößlehm und blieb stellenweise auf den Massenkalkflächen erhalten. Die während der Kaltzeiten entstandenen Schuttmassen verlehmt und bildeten Hang- und Hochflächenlehme. Die heutige Geländemorphologie mit der eingesenkten Karbonatplattform mit den sie überragenden silikatischen karbonischen Gesteinen entstand im jüngeren Pleistozän. Im Holozän bildeten sich die Auelehme und Geröllablagerungen in den Talsohlen.

Methoden

Die Ausgrabung

Im Jahre 1999 entdeckte der Diplomand Herr V. Kappen im Steinbruch Hillenberg (Steinwerke Risse) in Warstein eine fossilführende Karstspalte, die in einem vor etwa 30 Jahren stillgelegten Bereich des Steinbruchs lag. Ein Teil dieses stillgelegten Bereichs sollte nun wieder in Betrieb genommen werden, wozu die Aufschüttung einer Rampe erforderlich war. Durch diese Rampe war die fossilführende Spaltenfüllung, die sich unerreichbar in ca. 40m Höhe befand (Höhenangabe aus der topographischen Karte entnommen), wieder zugänglich geworden (Abb. 2). Der Schuttfächer direkt unterhalb der Spalte war bei unserem ersten Geländetermin mit Knochen übersät, unter denen sich auch Kleinsäuger-, Reptilien-, Amphibien- und Vogelknochen befanden. Aufgrund der Planungen der Steinbruchbetreiber sollte das Niveau vor der Steinbruchwand durch die Rampe um weitere 4 m angehoben werden. Von dieser Rampe aus sollte die Wandhöhe noch ca. 14 m betragen. Die fossilführenden Schichten konnten aus sicherheitstechnischen Gründen wegen eines Überhangs weder mit einer Leiter noch durch Abseilen von der Hochfläche erreicht werden



Abb. 4 Aufgrund der geringen Breite der Spalte konnte der Korb der Hubarbeitsbühne nicht direkt vor dem Profil platziert werden. Die Bergung der Funde und die Entnahme der Sedimentproben erfolgte mit entsprechend langen Geräten.



Abb. 5 Die Karstspalte verjüngt sich zum Hangenden auf wenige cm. Die Spaltenfüllung befindet sich hier bereits ca. 5m unter Massenkalkbedeckung.



Abb. 6 Profil 1 zu Beginn der Ausgrabung. Die ältesten Schichten der Karstfüllung sind durch einen Schuttfächer verdeckt. Oberhalb des Schuttfächers stehen 5 fossilführende Schichten an.

(Abb. 2). Die Ausgrabung wurde deshalb nach Fertigstellung der Rampe mit einem LKW mit Hubarbeitsbühne unter schwierigen Bedingungen durchgeführt.

Durch Auswaschungen lag die Spaltenfüllung nicht mehr mit der Steinbruchwand in einer Ebene, sondern um etwa 0,80 m eingetieft in der Wand. Während der Ausgrabung konnte der Korb der Arbeitsbühne aufgrund seiner Breite deshalb nicht direkt vor dem Profil platziert werden. Die größtmögliche Annäherung an die Sedimente betrug aufgrund der nur 1 m breiten Spalte ca. 0,90 m. Die Freilegung und Bergung der Knochen erfolgte deshalb mit entsprechend langen Geräten. Sedimentproben wurden mit einem kleinen Spaten genommen (Abb. 4). Die Knochen waren zu Grabungsbeginn gut in dem Profil erkennbar (Abb. 3).

Im Zuge des weiteren Massenkalkabbaus stellte sich heraus, dass die Spalte in Streichrichtung der ac-Kluft noch ca. 14 m nach NNW reichte. Auf dieser Strecke wurde die Spalte noch insgesamt dreimal durch Sprengungen angeschnitten und die freigelegten Profile erfasst, die im folgenden beschrieben werden.

Beschreibung der Profile und Sedimente

In den Massenkalken des Warsteiner Sattels sind die größten Spalten an die ac-Klüfte (CLAUSEN 1979) gebunden. Bei der untersuchten Spalte handelt es sich um eine solche korrosiv erweiterte ac-Kluft mit einer Streichrichtung von 160°. Die Seitenwände stehen saiger. Das Einfallen der Schichten der Karstfüllung konnte nur an einer Stelle während der Ausgrabung gemessen werden. Die Schicht fiel mit 40° nach Südwesten ein.

Im Jahre 1999 hatte die Steinbruchwand eine Höhe von etwa 20 m. Die Spalte war bis in eine Höhe von ca. 10 m von einem Schuttfuß bedeckt, so dass die Sohle der Spalte nicht aufgeschlossen war. Oberhalb des Schuttfußes standen,- bei einer maximalen Breite von 1,0 m,- Sedimente von 4,5 m Mächtigkeit an. Oberhalb der 4,5 m verengte sich die Spalte auf ca. 10 cm. Diese gering erweiterte Kluft lief bis zur Erdoberfläche (Abb. 5).

Profil 1

In dem aufgeschlossenen Profil (Abb. 6, 7) konnten aufgrund der Färbung und der unterschiedlichen Größe des Massenkalkschutts fünf Schichten unterschieden werden. Aus grabungstechnischen Gründen sind die Schichten vom Hangenden zum Liegenden durchnummeriert worden.

Da nicht für alle Schichten während der Ausgrabung die Einfallwinkel ermittelt werden konnten, sind hier die scheinbaren Mächtigkeiten angegeben.

Die ältesten aufgeschlossenen Sedimente (Schicht 5) bestanden aus einem hellbraunen Lehm, der groben, leicht kantengerundeten Blockschutt enthält. Die Oberfläche dieser Schuttkomponenten war nur leicht angewittert. Die ausschließlich aus Massenkalk bestehenden Blöcke erreichten eine maximale Kantenlänge von 50 cm. Die Kornsummenkurve (Abb. 8) dieses Höhlenlehms zeigten ein unsortiertes Sediment, dessen Hauptkomponente aus Schluff bestand. Der Sandanteil lag bei 30 % und der Feinkiesanteil bei 15%. Die Schicht enthielt in großer Zahl Knochen von Groß- und Kleinsäugetern. Es zeigte sich bereits während der Grabung, dass Faunenreste unterschiedlicher Klimate bzw. Alter in einer Schicht vorkamen. Einregelungen lagen nicht vor; die Längsachsen der Knochen waren vielmehr statistisch verteilt. Da die Basis der Schicht 5 nicht aufgeschlossen war, kann hier nur eine Mindestmächtigkeit von 2 m angegeben werden. In einem Kolk am westlichen Rand der Spalte hatte sich ein Relikt mit Lösssand erhalten (Abb. 7), der eine typische auf den Mittelschluff- bis Feinsandbereich beschränkte Kornsummenkurve zeigte. Dieser Lösssand wies nur sehr wenige kleine Massenkalkstücke auf und war völlig fossilieer.

Schicht 4, die eine Mächtigkeit von 0,40 bis 0,65 m besaß, setzte sich aus einem mittelbraunem Lehm zusammen, der kleinstückigen Massenkalk enthielt. Bei dieser Schicht handelte es sich um ein sehr inhomogenes Sediment, dessen Hauptkomponente aus Sand bestand. Der Schluffanteil betrug etwa 30 % und Feinkiesanteil lag bei ca. 10 %. Fossile Knochen sind sehr zahlreich vertreten. Die Hinterextremität eines Rothirsches lag schwach disartikuliert vor, wobei die Längsachsen der Knochen etwa senkrecht zur Achse der Spalte lagen. Ansonsten lag eine statistische Verteilung der Knochenlängsachsen vor. Größere Komponenten waren nur sehr untergeordnet vorhanden.

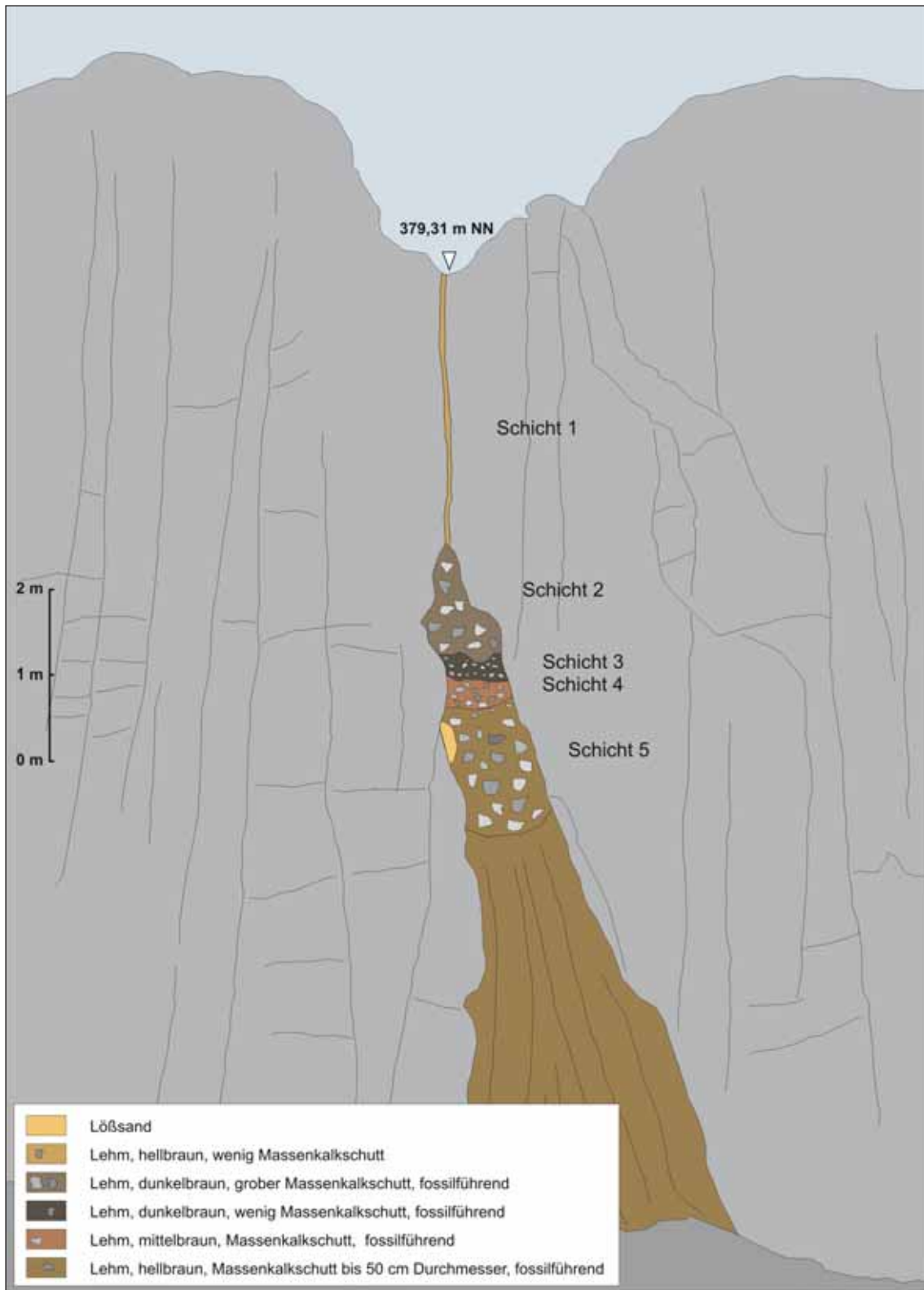


Abb. 7 Zeichnerische Interpretation des Profils 1; Maßstab 1m. Die Höhenangaben der Profile 1-3 wurden vom ehemaligen Westfälischen Amt für Vermessung, Außenstelle Meschede (heute Straßen NRW) einge-
 messen.

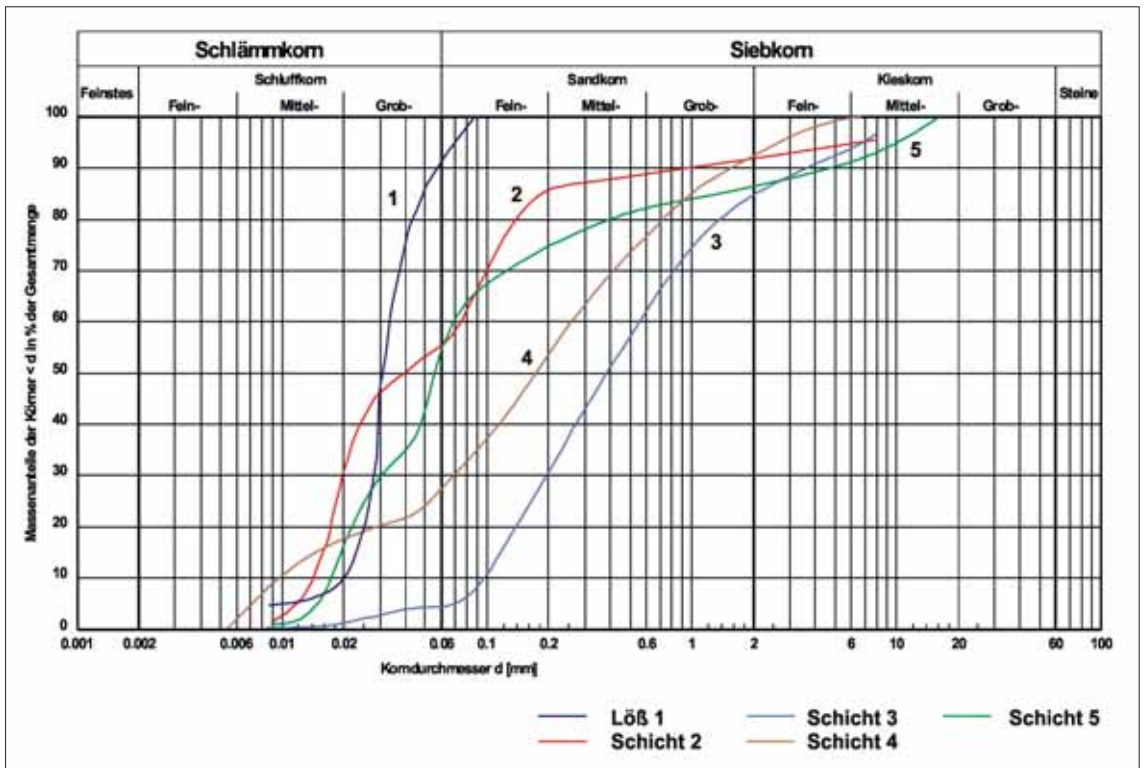


Abb. 8 Kornsummenkurven von den 5 Schichten des Profils 1, Schnitt 1. Probe 1 ist gut sortiert. Die übrigen Proben sind unsortiert, mit einem Schwerpunkt im Grobschluff-Feinsandbereich. Steine fanden in diesen vier Proben keine Berücksichtigung. Diese Sedimente gelangten durch Schlammströme in die Spalte und vermischten sich dort mit älteren Sedimenten.

Schicht 3 besaß eine Mächtigkeit von 0,20- 0,30 m. Es handelte sich um einen dunkelbraunen Lehm, der sehr wenig Massenkalkschutt der Kiesfraktion enthielt. Das Sediment bestand zu etwa 80 % aus Sand, mit einem geringen Schluff- und Kiesanteil. Die Fossilführung war eher gering. Einregelungen der Knochen waren nicht vorhanden.

Die 1,65-1,75 m mächtige Schicht 2 bestand aus einem hellbraunen Lehm, der groben Blockschutt aus Massenkalk enthielt. Die Kornsummenkurve zeigte ein Sediment mit einem Schluffanteil von fast 60 %, einem Sandanteil von ca. 30 % und einer Kiesfraktion von nicht ganz 10 %. Die wenigen Fossilien zeigten ebenfalls keine Einregelungen.

Schicht 1 wies, bei einer Spaltenbreite von 0,05- 0,10m, eine Mächtigkeit von 4,8m auf. Es handelte sich um einen hellbraunen Lehm mit wenigen kleinen Massenkalkstücken. Die Schicht war fossilieer.

Im Frühjahr 2000 wurde die Spalte von der Westseite aufgesprengt, so dass uns die horizontierte Bergung einer größeren Menge Sediment möglich war, aus dem durch Schlammung weitere Knochen einer artenreichen Kleinsäugerfauna gewonnen werden konnten (vgl. BERGER & VIERHAUS 2009).

Profil 2

Das Profil 2 befand sich in einer etwa 11m hohen, im Abbau stehenden Steinbruchwand. Ein Putzen des Profils und eine Beprobung der Schichten war deshalb ebenso unmöglich, wie die exakte Ermittlung der Schichtmächtigkeiten. Sedimentbeschreibungen aufgrund von Sieb- und Schlämmanalysen konnten deshalb nicht durchgeführt werden. Es liegen deshalb hier nur die scheinbaren Mächtigkeiten vor. Die Begren-



Abb. 9 Im Profil 2 besitzt die Karstfüllung die Form eines umgekehrten Y. Maßstab 2m.

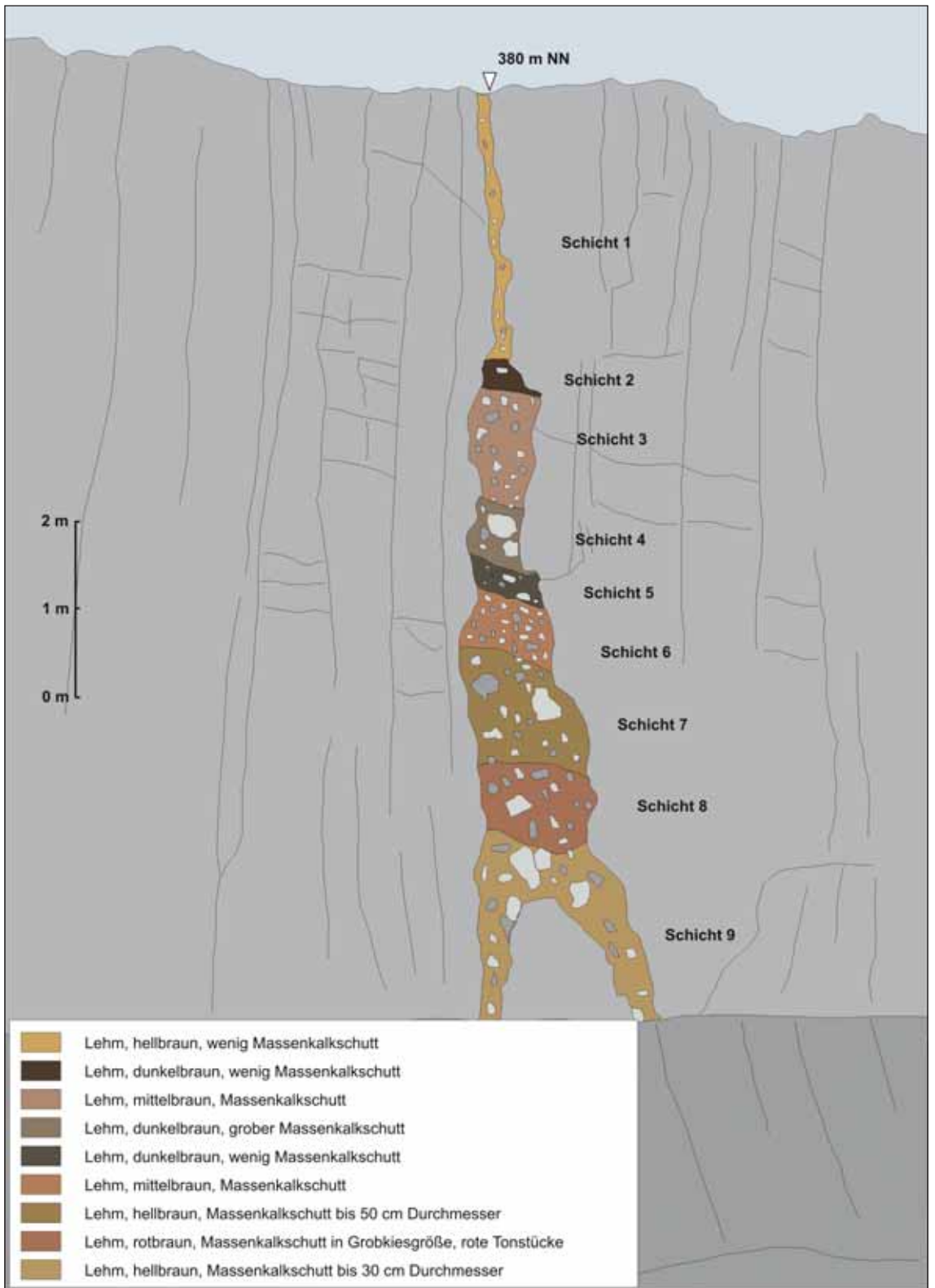


Abb. 10 Zeichnerische Interpretation der Karstfüllung des Profils 2. Maßstab 1m.

zungen der westlichen und östlichen Flanken der Spalte verliefen sehr unregelmäßig. In diesem Profil besaß die Sedimentfüllung die Form eines umgedrehten Y (Abb. 9, 10). In den Schichten enthaltene Massenkalkblöcke waren nur schwach kantengerundet und leicht angewittert.

In diesem Profil konnten acht Schichten unterschieden werden. Bei der ältesten Schicht handelte es sich um einen hellgrauen Lehm, der stark mit Massenkalkschutt durchsetzt war. Darüber folgte ein rotbrauner Lehm (Schicht 7) mit Massenkalkschutt in Kiesgröße, roten Tonsteinstücken und Massenkalkblöcken mit einer Kantenlänge von bis zu 0,25m. Der mittelbraune Lehm der Schicht 6 enthielt Massenkalkblöcke mit einer Kantenlänge von 0,40m. Schicht 5 setzte sich aus einem mittelbraunem Lehm zusammen, der kleinstückigen Massenkalk bis zu einer Kantenlänge von 0,1cm beinhaltete. Der dunkelbraune Lehm der Schicht 4 führte kleinstückigen Massenkalk. Schicht 3 bestand aus einem dunkelbraunem Lehm, der Massenkalkblöcke bis zu einer Kantenlänge von 0,35m aufwies. Der mittelbraune Lehm der Schicht 2 wies zahlreichen kleinstückigen Massenkalk auf. Schicht 1 setzte sich aus einem dunkelbraunen Lehm mit vereinzelten Massenkalkstücken zusammen. Fossilien traten nicht auf.

Profil 3

In diesem Profil besaß die Spalte einen trichterförmigen Querschnitt. Der Spaltenboden befand sich ca. 2,5 m über der Steinbruchsohle (Abb. 11, 12).

Bei der Schicht 1 handelte es sich um einen mittelbraunen- bis dunkelbraunen Lehm, welcher zahlreiche Massenkalkkomponenten führt. Schicht 2 besteht aus einem grau-braunen Lehm, dessen Grobfraktion aus Massenkalk besteht. Der graubraune Lehm der Schicht 3 enthielt kleine Massenkalkstücke. Schicht 4 bestand aus einem mittelrotbraunen Lehm, der Bereiche aus grünem Sand führte. Sehr zahlreich fanden sich Gangquarzgerölle in Kiesgröße. Ein Geröll aus gebleichtem Oberkreidesandstein, mit einem Durchmesser von 0,35 m, zeigte im Kern noch eine grüne Farbe (Glaukonit). Diese Schicht führte **keine** Massenkalkgerölle.

Schicht 5 setzte sich aus einem rot-braunen Lehm mit einem erheblichen Sandanteil zusammen, der stellenweise noch die grüne Farbe zeigte (Glaukonitsand). Am Top der Schicht befand sich ein Geröll aus Oberkreidesandstein, das randlich rot gefärbt war, im Kern aber noch den Grünsand erkennen ließ. Die Schicht enthielt kiesgroße Quarzgerölle und rote Tonsteinstücke. Fossilien konnten in keiner Schicht nachgewiesen werden.

Profil 4

Im Profil 4 besaß die Spalte eine Breite von ca. 0,10 m und war mit einem hellbraunen Lehm verfüllt. Unterschiedliche Schichten konnten innerhalb der Spaltenfüllung nicht mehr unterschieden werden. Die Sedimente enthielten keine Fossilien.

Parallelisierung

Innerhalb der Profile 1 und 2 (Abb. 7, 8) lassen sich einige Schichten aufgrund der Lithologie und der Höhen über NN sehr gut miteinander parallelisieren. Die Schichten 2 bis 5 des Profils 1 entsprechen den Schichten 4-7 des Profils 2. Die älteren Schichten 6 und 7 des Profils 2 sind im Profil 1 vermutlich durch den Schuttfächer verdeckt. Die Schichten 2 und 3 des Profils 2 tauchen in Profil 1 nicht auf, da dieser Bereich der Spalte zur Sedimentationszeit von Schicht 3 bereits mit älteren Sedimenten vollständig verfüllt war.

Eine Parallelisierung mit den Schichten des Profils 3 (Abb. 11) gestaltet sich etwas schwieriger. Die beiden ältesten Schichten (4 und 5), welche resedimentierte Glaukonitsande führten, fanden sich nur in diesem Profil. Die Schichten 1-3 dieses Profils könnten den Schichten 7-9 des Profils 2 entsprechen. Möglicherweise liegt zwischen den Schichten 3 und 4 ein längerer Hiatus. Die beiden Schichten führen eine völlig unterschiedliche Grobfraktion (vgl. Kap. Profil 3).

Rekonstruktion der Form der Spalte

Durch die Sprengungen an der NW-SE verlaufenden Steinbruchwand wurde die Spaltenfüllung insgesamt viermal angeschnitten. Hierbei zeigte sich, dass der Spaltenboden in NW-Richtung ansteigt, die Tiefe der Spalte also abnimmt. Mit Hilfe der Spaltenbreite an der Erdoberfläche, die in den Profilen ermittelbar war, und dem Abstand der Sprenglöcher von der Steinbruchkante, konnte die Öffnung des ehemaligen Karsthohlraumes zur Erdoberfläche rekonstruiert werden. Von der Steinbruchkante ließ sich die Spalte auf einer Länge von ca. 25 m nach NNW verfolgen. Die Spaltenöffnung an der Erdoberfläche besaß einen etwa spindelförmigen Umriss (Abb. 12), wobei sie nach NNW und SSE auf wenige cm ausdünnte. In NNW-liche Richtung ging die Spalte in eine Kluft ohne Sedimentfüllung über. In Richtung SSE war der Bereich der Spalte bereits vor ca. 30 Jahren abgebaut worden, so dass der Verlauf nur noch bis zur Steinbruchkante verfolgbar war. Im Bereich der spindelförmigen Öffnung besaß die Spalte ihre geringste Tiefe. In SSE-liche Richtung gewann der Karstraum rasch an Tiefe und die Überlagerung der Karstfüllung mit Massenkalk nahm rasch zu. Im Profil 1 befand sich der verfüllte Karstraum bereits 4, 8 m unter der Erdoberfläche (vgl. Abb. 5).

Palynologische und radiometrische Datierungen

Während der Grabungskampagne wurde aus jeder Schicht eine Probe zur palynologischen Datierung entnommen. Die Untersuchungen im Institut für Geobotanik, Hannover waren jedoch für alle Proben negativ (freundliche mündliche Mitteilung von Herrn PD Dr. SPEIER).

Aus der Kollektion der Wirbeltierknochen wurden zwei gut erhaltene Exemplare (linker Metacarpus von *Cervus elaphus* (P 28471) und rechter Humerus von *Sus scrofa* (P28481)) mit einer kräftigen Kompakta ausgewählt und an der Eidgenössischen Technischen Hochschule, Institut für Teilchenphysik, Dr. G. BONANI mit der ¹⁴C- Methode datiert. Für den Metacarpus ergab sich ein kalibriertes Alter von 5524 bis 5271 BC bei einer Wahrscheinlichkeit von 97,3 % und für den Humerus ein Alter von 5711 bis 5432 BC, bei einer Wahrscheinlichkeit von 99,9 %.

Die Untersuchung einer Sinterprobe von der nordöstlichen Spaltenwand an der Universität Heidelberg (freundliche mündliche Mitteilung von Herrn Dr. MANGINI, Heidelberg) mit der Th/U- Methode erbrachte ein Mindestalter von 100 000 Jahren.

Interpretation der Befunde

BOLLINGER & RUMMEL 1994 stellten aufgrund unterschiedlicher Sedimenttypen und Verfüllungsmechanismen eine Klassifikation der Karstspaltenfüllungen vor. Die Füllungen werden in vier Grundtypen gegliedert:

- A homogene Einlagerung
- B chaotische Lagerung
- C horizontale Schichtung
- D vertikale Schichtung

Da die Sedimente der Spalte in Warstein eine Schichtung aufwiesen, konnten sie dem Karstspaltenfüllungstyp C zugeordnet werden (Abb. 15). Dieser Typ zeichnete sich durch eine zyklisch-temporäre Sedimentation aus. Die hierbei häufig vorkommenden scharfen Übergänge zwischen den Schichten und die großen Korngrößenunterschiede trafen auf die untersuchte Spaltenfüllung jedoch nur bedingt zu. Die Korngrößenspektren der untersuchten Sedimente sind untereinander relativ gleichförmig (vgl. Abb. 8). Auffällige Unterschiede bestehen lediglich in der Grobfraktion, die, bis auf die älteste Schicht, aus schwach kantengerundeten Massenkalken besteht (vgl. Beschreibung der Profile und Sedimente).

Nach CLAUSEN & LEUTERITZ (1989) gehen die postkarbonischen Spalten des Warsteiner Raumes auf das während der Gebirgsbildung an der Wende Unter-Oberkarbon entstandene Trennflächengefüge zurück. Diese Trennflächen waren die Ansatzpunkte für die Verkarstung seit dem Mesozoikum. Das Entstehungsalter der Karstspalte in Warstein ist natürlich nicht mehr genau ermittelbar. Die radiometrische Datierung einer Sinterprobe von der NE-Flanke der Spalte im Profil 1 ergab ein Mindestalter von 100.000 Jahren. Für eine genauere Datierung war die Probe aufgrund von Verwitterungserscheinungen nicht geeignet. Da eine



Abb. 11 Trichterförmige Spalte im Profil 3, nach der Sprengung und dem Beräumen des Abschlags. Maßstab 2m.

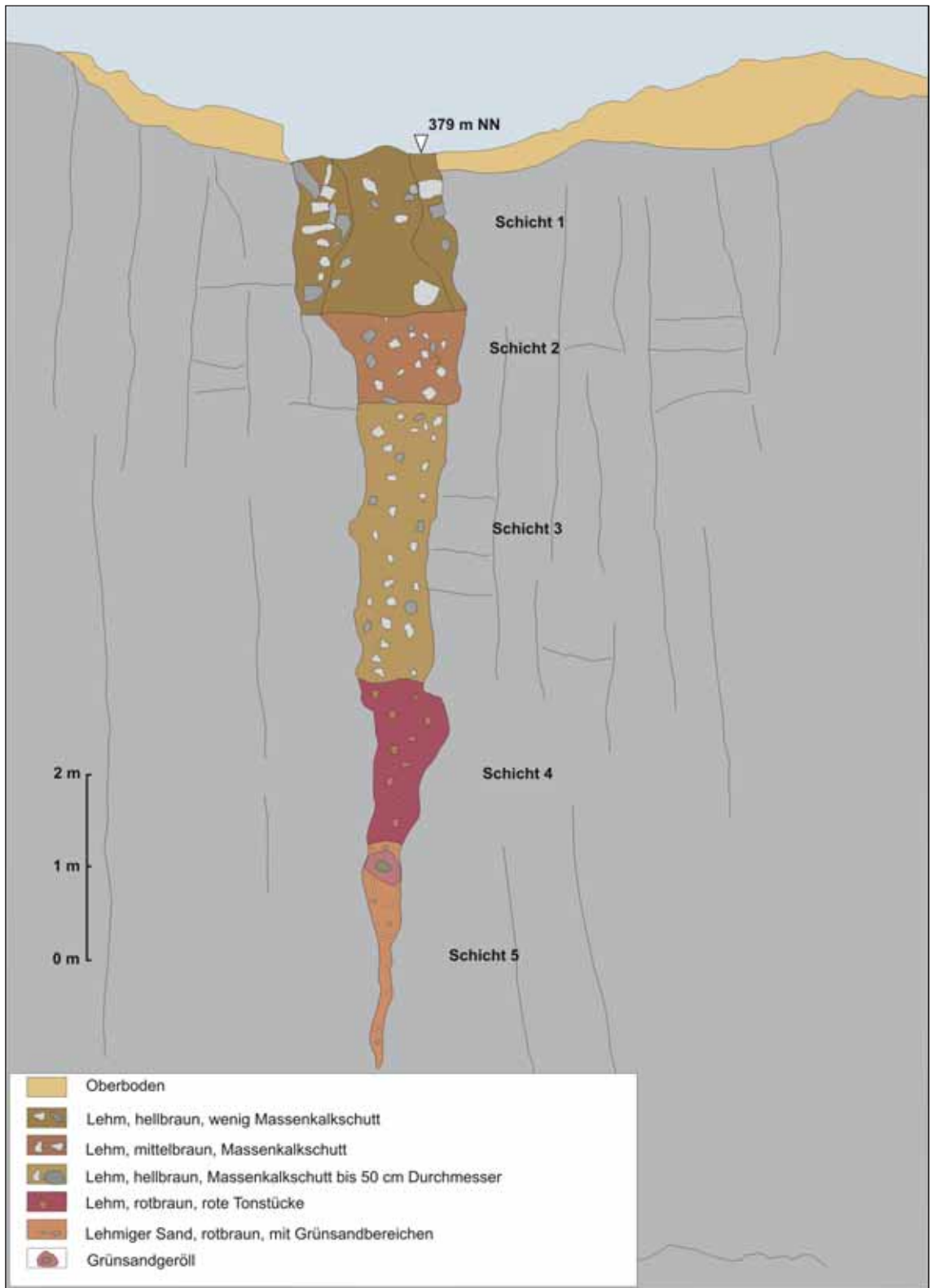


Abb. 12 Zeichnerische Interpretation des Profils 3., Maßstab 1m.

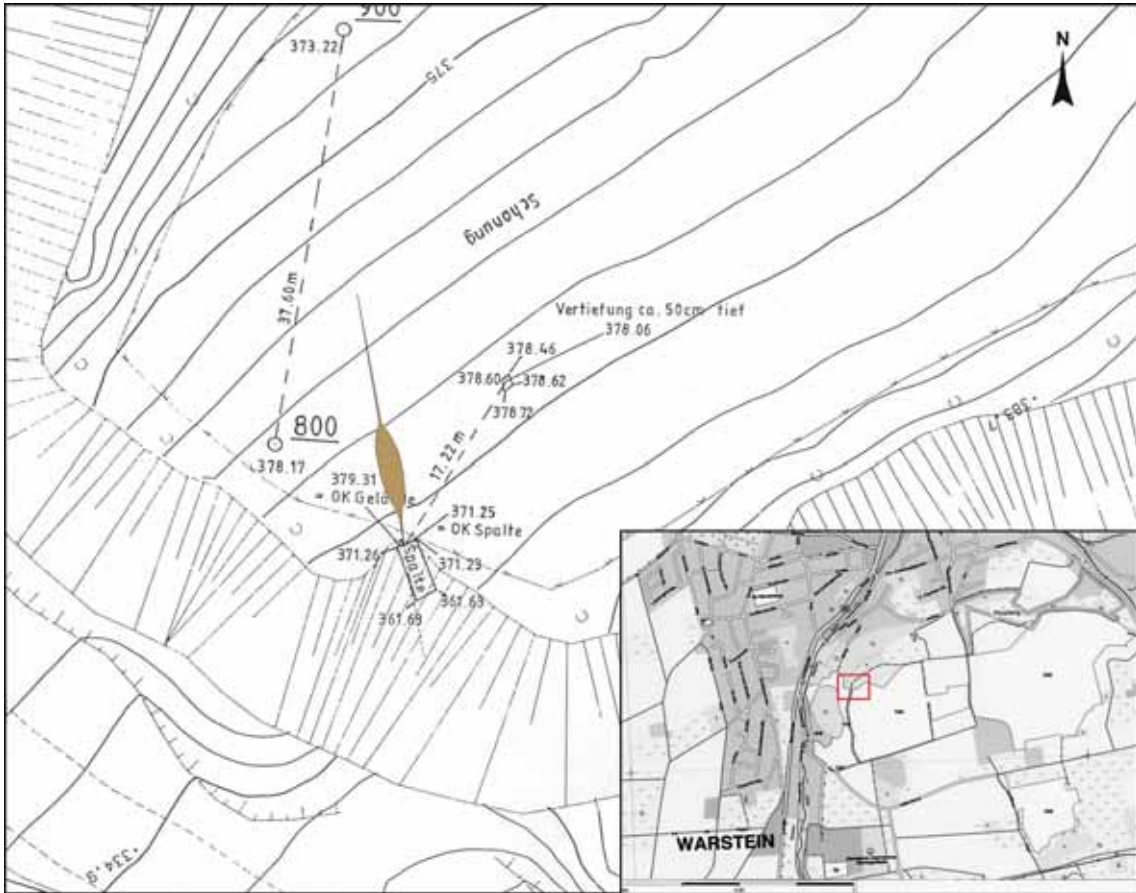


Abb. 13 Rekonstruktion der Form der Spaltenöffnung an der Erdoberfläche.

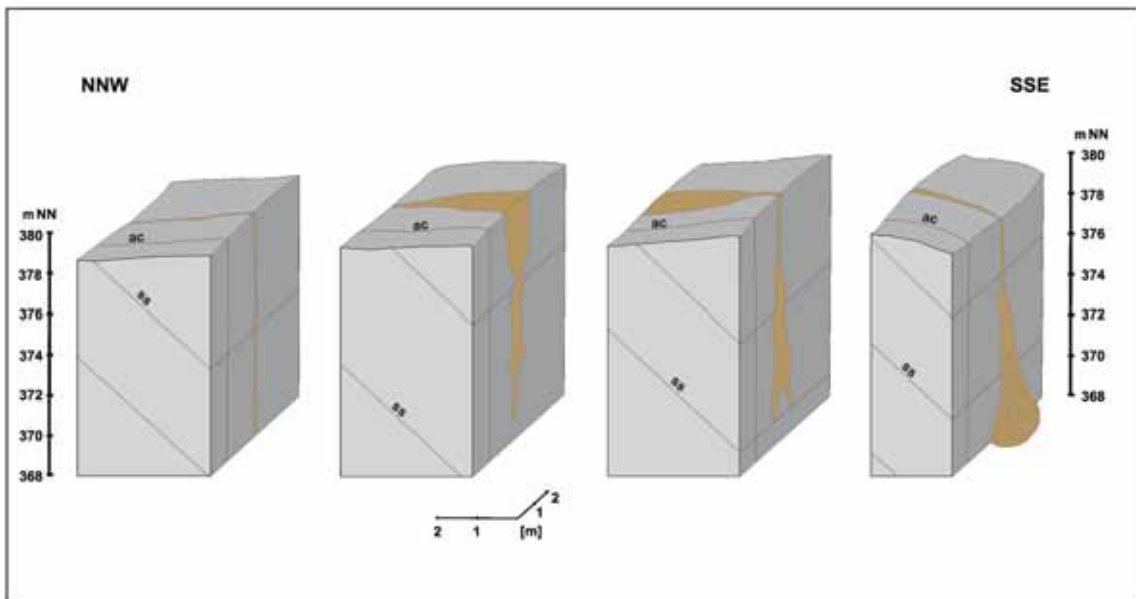


Abb. 14 Dreidimensionale Rekonstruktion der Karstspalte.

Sinterfläche einen Hohlraum und einen niedrigen Wasserstand voraussetzt, muss der Karsthohlraum bei der Entstehung des Sinters bereits bestanden haben und damit deutlich älter sein.

Um zumindest Hinweise auf das Genesealter der Spalte zu erhalten, soll ein Vergleich mit ähnlichen, besser datierten Karstphänomen durchgeführt werden. Für die Liethöhle des Warsteiner Sattels nennen MEIBURG et al. (1977) als Beginn der Höhlenbildung den Zeitabschnitt zwischen Jungtertiär und Altpleistozän. In dem Höhlensystem konnten die Autoren drei Höhenstockwerke nachweisen. Ähnliche Niveaugliederungen sind auch aus dem Massenkalkgebiet im NW-Sauerland (NIGGEMANN 2003), in Hessen (GRUBERT & HÜLSMANN 1998), dem Schwarzwald (PIEPJOHN 1995) und der Schwäbischen Alb (DRYBRODT 1990) bekannt. DRYBRODT (1990) gibt den Beginn der Höhlenniveaubildung mit 400 000 bis 2,5 Mio. Jahren an. Nach NIGGEMANN (2003) begann im NW-Sauerland die Höhlenbildung im Quartär, wie auch in den anderen deutschen Karstgebieten, vor ca. 500 000 Jahren. Die Entstehung der untersuchten Karsterscheinung in Warstein (Stbr. Hillenberg) dürfte ebenfalls in diesem Zeitrahmen anzusiedeln sein.

In der Oberkreide wurden weite Bereiche der rheinischen Masse im Zuge der Alb/Cenoman-Transgression mit Sedimenten eingedeckt. Der zeitliche Ablauf der Erosion dieser Sedimente und die Wiederfreilegung der Warsteiner Karbonatplattform liegen weitgehend im Dunkeln (EPHARDT & MEIBURG 1979). Nach diesen Autoren erfolgte die Abtragung der Oberkreide-Schichten im Tertiär. Hinweise auf datierte Karstfüllungen tertiären Alters liegen aus dem Warsteiner Raum nicht vor. Lediglich aus dem Briloner Raum werden von SCHRIEL (1954) mehrere tertiäre Formsandvorkommen beschrieben. Auch nach NIGGEMANN (2003) liegen im nordwestlichen Sauerland mehrere tertiäre Karstspalten mit resedimentierten Ober-Kreidesedimenten vor. Auch bei den ältesten Lockersedimenten der Karstspalte im Steinbruch Hillenberg handelt es sich um resedimentierte Grünsande der Oberkreide, die lediglich in Profil 3 auftraten (vgl. Abb. 11,12). Diese Sedimente waren nicht datierbar, so dass eine Einstufung ins Tertiär allein aufgrund der Lithologie rein spekulativ wäre. Neben dieser Interpretation besteht auch die Möglichkeit, dass noch im Quartär Relikte der Oberkreidegesteine im Einzugsbereich der Karbonatplattform vorhanden waren, die mit ebenfalls noch vorhandenen terra rossa Überresten in die Spalte resedimentiert wurden. Die nächst jüngeren Sedimente sind klar dem Quartär zuzuordnen.

Schon während der Ausgrabung fiel auf, dass überwiegend warmzeitliche (holozäne, bzw. interglaziale/interstadiale) Faunenreste (z.B. Reh, Wildschwein) aber auch Vertreter einer kaltzeitlichen Steppenfauna (z.B. *Bison priscus*) gemischt in den Schichten vorkamen. Der Erhaltungszustand der Knochen reichte von stark abgerollt bis gut erhalten. Unterschiede im Erhaltungszustand zwischen den beiden chronologisch differenten Faunen ließen sich jedoch nicht feststellen.

Der überwiegend warmzeitliche und klimatisch indifferente Charakter der Großsäugetierfauna, die vorläufige Untersuchung der Kleinsäuger, sowie die Tatsache, dass bestimmte Arten (z.B. *Panthera leo spelaea* und *Bison priscus*) auf das Pleistozän beschränkt sind, sprachen zunächst für ein spätweichselzeitliches Interstadial (REIMANN 2001).

Unter Einbeziehung der Steppenfauna (*Bison priscus*, *Mustela eversmanni* und der Rhinocerotidae) wäre auch eine Übergangsphase von der Mammutsteppe zu einem wärmeren Interstadial- oder umgekehrt-diskutierbar gewesen.

Die neueren Untersuchungsergebnisse, insbesondere die ¹⁴C- Datierungen und die Bestimmung der Kleinvertebratenfauna (u.a. Nachweis von *Lacerta agilis*) deuten jedoch darauf hin, dass die warmzeitlichen Faunenelemente ins Holozän datieren.

Somit ergibt sich ein chronologischer Hiatus zu den eiszeitlichen Vertretern der Fauna, da Steppenwisent (*Bison priscus*), Höhlenlöwe (*Panthera leo spelaea*) und Steppeniltis (*Mustela eversmanni*) während der Endphase der Weichseleiszeit, dem Alleröd und der jüngeren Dryas (ca. 12000 bis 9600 v.d.Z.) in Mitteleuropa nicht mehr vorkamen (V. KÖNIGSWALD 2002). Die jüngsten Nachweise dieser Faunenelemente stammen aus dem Magdalenien.

Sehr wahrscheinlich ist die zeitliche Lücke zwischen pleistozäner und holozäner Fauna noch größer, da *Mustela eversmanni*, *Bison priscus* und ? *Coelodonta antiquitatis* nach dem 2. Kältemaximum (Hochglazial) der Weichselkaltzeit (um 22000 Jahre v.d.Z.) nur noch sehr selten vertreten sind. Aufgrund dieser Fau-

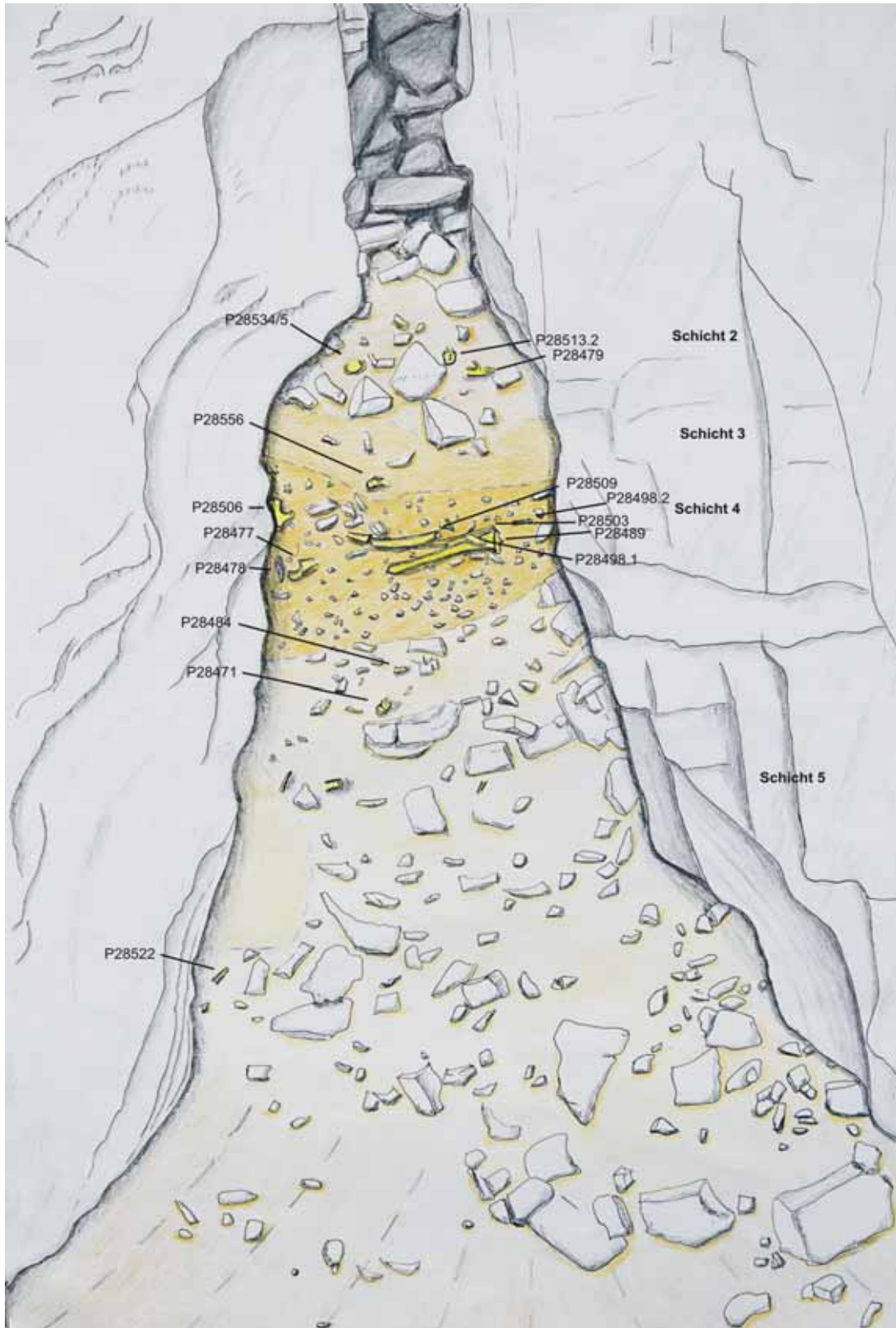


Abb. 15 Grabungsplan des Profils 1, Schnitt 1. In diesem Profil waren 5 fossilführende Schichten aufgeschlossen. Die Funde sind mit den Nummern versehen unter denen sie inventarisiert sind. Die Spaltenbreite an der Basis der Schicht 4 beträgt 0,80m.

nenzusammensetzung ergibt sich, dass hier eher eine früh- bis mittelweichselzeitliche Altersstellung der pleistozänen Fauna wahrscheinlich ist.

Die Bestimmung von *Coelodonta antiquitatis* ist nicht sicher, da die Rhinocerotidae nur durch nicht näher bestimmbare Skelettelemente, eine unvollständige Scapula und eine Phalange (REIMANN 2009), vertreten sind. Aufgrund des Vorkommens des Steppenilits, der in der Weichseleiszeit unseren Raum besiedelte, ist es jedoch sehr wahrscheinlich, dass es sich bei den Nashornresten um *Coelodonta antiquitatis* handelt, denn das Waldnashorn (*Stephanorhinus hemitoechus*) ist zuletzt im Eem belegt (V. KÖNIGSWALD 2002). Der Hiatus hätte in diesem Fall über 110 000 Jahre gedauert und es lägen Faunenelemente aus drei Zeitabschnitten vor. Dies ist jedoch aufgrund der Zusammensetzung der pleistozänen Faunenelemente sehr unwahrscheinlich. Auf Grund der paläontologischen Befunde ist die Genese der Fossilagerstätte mehrphasig erfolgt.

Im Profil 1 hat sich an der westlichen Spaltenwand in einer Hohlkehle ein Lösssandvorkommen (Abb. 7) erhalten, das sich nicht als Schicht durch die Spalte weiterverfolgen lässt. Bei den zum Zeitpunkt der Ausgrabung angetroffenen Sedimenten handelt es sich also nicht um die primäre Sedimentfüllung der Spalte. Eine ältere aus Lösssand bestehende Sedimentfüllung, die von der Karstoberfläche während der frühen bis mittleren Weichseleiszeit in der Karstspalte sedimentiert wurde, muss demnach erodiert und in größere Tiefen des Spaltensystems transportiert worden sein, was durch ein Fortschreiten der Verkarstung in die Tiefe leicht vorstellbar ist. Ob der dadurch entstandene Hohlraum zunächst mit pleistozänem, fossilführenden Lehm verfüllt wurde, oder direkt mit dem heute vorhandenen Lehm, lässt sich nicht mehr klären. Sehr wahrscheinlich ist, aufgrund der unterschiedlich alten Faunenelemente, fossilführender pleistozäner Lehm aufgearbeitet und resedimentiert worden. Dieser Lehm könnte ebenso wie der Lösssand in den Hohlkehlen (Abb.) erhalten geblieben und durch die holozänen Schlammströme, die im Frühjahr durch das Auftauen oder starke Regenfälle entstanden, wieder aufgearbeitet worden sein. BERGER & VIERHAUS (2009) berichten über einen großen Anteil von Skelettelementen von *Arvicola shermani* und *Talpa europaea* an der Gesamtkleinsäugerfauna, die sich mit dem Eintrag durch Gewölle von Raubvögeln nicht erklären lassen. Dieser Befund lässt sich jedoch gut mit der Interpretation der Schichten als Schlammströme in Einklang bringen. Die Tiere könnten in einem kalten Winter gestorben, oder durch Regen oder Tauwasser ertrunken sein und gelangten dann mit dem Schlammstrom in die Spalte.

Für die Schlammstromgenese spricht auch, dass kaum artikulierte Skelettelemente vorhanden sind. Eine Ausnahme bildet hier lediglich eine Rothirschextremität. Die disartikulierten Knochen lagen nicht eingeregelt vor, sondern waren chaotisch in den Lehm eingelagert. Aufgrund der Lage und Form der Spaltenöffnung an der Oberfläche des Massenkalkes, dem Neigungswinkel des Spaltenbodens und dem Einfallen der Schichten in dem Profil 1 ist der Sedimentfluss in der Spalte von Nordwesten nach Südosten erfolgt (vgl. Abb. 14).

Die oben beschriebenen Phänomene sind auch aus dem süddeutschen Raum beschrieben. So berichtet HEIßIG (1983) von der Fränkischen Alb von oligozänen Spaltenfüllungen, die durch Versturz in größere Tiefen gelangten, so dass nur in Hohlformen das fossilführende Material erhalten blieb, während in der durchziehenden Spalte jüngeres Sediment abgelagert wurde.

ZAPFE (1954) beschreibt eine Möglichkeit der Anreicherung von Knochen in Karstspalten und Höhlen, wonach Wirbeltiere auf der Suche nach Wasser in Höhlensysteme eindringen und dort abstürzen. Die frisch eingestürzten Kadaver liegen zunächst auf dem Top der Schutthalde. Im Laufe der Zeit rutscht der Kadaver bzw. das Skelett den Hang herunter und wird dabei disartikuliert. Diese Anreicherungsart kann aus mehreren Gründen, zumindest für das holozäne Material, auf die Karstspalte in Warstein nicht zutreffen.

- Einige Knochen sind abgerollt.

- Es sind Knochen mit Schnittspuren vorhanden, d.h. die Knochen kamen bereits isoliert in das Sediment.
- ZAPFE (1954) weist daraufhin, dass es sich bei Karstspalten häufig um Relikte größerer Höhlensysteme handelt. Innerhalb von 7000 Jahren (vgl. ¹⁴C-Datierungen) kann jedoch kein Höhlensystem über der Spalte abgetragen worden sein, so dass diese Interpretationsmöglichkeit für das holozäne Material ausgeschlossen werden kann. Im Falle der pleistozänen Knochen besteht möglicherweise diese Interpretationsmöglichkeit. Aufgrund der geringen Funddichte und der fehlenden Befunde lassen sich hierfür jedoch nicht genügend Indizien finden, denn ein großer Teil der Spaltenfüllung war bereits zu Beginn der Ausgrabung dem Abbau zum Opfer gefallen.

Dank

Frau Karola Risse und Herr Dr. Bauer (heute Brühne-Gruppe) von den Steinwerken Risse in Warstein haben unsere Ausgrabung großzügig unterstützt. Frau K. Risse stellte uns kostenlos schweres Gerät zur Verfügung. Herr Egbert Buschmann (Lünen) produzierte kostenlos einen Ring, mit dem der Anschluss einer Nikon-Coolpix an das Mikroskop Leica MZ6 möglich wurde. Herr Dr. G. Mayr (Forschungsinstitut Senckenberg, Frankfurt/Main) bestimmte die Vogelknochen der Grabung. Herr Dr. G. Böhme (Museum für Naturkunde der Humboldt Universität Berlin) nahm sich der Reptilien und Amphibien-Funde an. Herr Dr. M. Hiss (Geologischer Dienst, Krefeld) datierte einige Sedimente mit agglutinierenden Foraminiferen. Herr PD Dr. Speier (Hannover) führte die palynologischen Untersuchungen durch. Frau Berenika Oblonczyk führte die Nachbearbeitung der Dias durch.

Allen Personen möchten wir für ihre großzügige Unterstützung herzlich danken.

Literatur

- ANDREE, J. (1927): Altsteinzeitliche Funde aus Westfalen. II. Die Bilstein-Höhle bei Warstein i.W.- Mannus, 19: 87-91, 3 Abb.; Leipzig.
- BAALES (1996): Umwelt und Jagdökonomie der Ahrensburger Rentierjäger im Mittelgebirge.- Monographien des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz, **38**: 1-364; Mainz, Bonn.
- BERGER, M. & VIERHAUS, H. (2009): Die frühholozänen Kleinsäugetiere der Warsteiner Karstspalte.- Geologie und Paläontologie in Westfalen, nn
- BOLLINGER, T. & RUMMEL, M. (1994): Säugetierfunde aus Spaltenfüllungen. Die komplexe Genese am Beispiel eines Steinbruchs bei Petersbuch, Südliche Frankenalb (Bayern).- Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung, Paläontologie und historische Geologie, **34**: 239-264, 6 Abb., 2 Taf.; München.
- CARTHAUS, E. (1889): Führer durch die Bilstein-Höhlen (Tropfstein- u. Cultur-Höhlen) bei Warstein in Westfalen.- 48 S., 1 Kt.; Warstein.
- (1890): Die Bilsteinhöhlen bei Warstein.- Festschrift zur 21. Allgemeinen Versammlung der Deutschen Anthropologischen Gesellschaft am 11. –16. August 1890 zu Münster in Westfalen.- 2. Teil: 48 S.; Münster (Coppentrath).
- CLAUSEN, C.D. (1990): Zur Geologie der Warsteiner Carbonatplattform.- Geologisches Jahrbuch, **D95**: 211-251; Hannover.
- , GREBE, H., LEUTERITZ, K. & WIRTH, W. (1978): Zur Alterstellung und paläogeographischen Bedeutung des Paläokarstes auf der Warsteiner Carbonatplattform.- Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte **1978** (10): 577-589, 5 Abb.; Stuttgart.
- , GREBE, H., LEUTERITZ, K., UFFENRODE, H. & WIRTH, W. (1978): Zur Paläogeographie, Tektonik und Karstmorphologie der südlichen und östlichen Warburger Carbonatplattform (Warsteiner Sattel, Rheinisches Schiefergebirge).- Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen, **30**: 241-319, 6 Abb., 10 Taf.; Krefeld.
- & LEUTERITZ, K. (1979): Übersicht über die Geologie des Warsteiner Sattels und seiner näheren Umgebung.- Aufschluß, Sonderband **29**: 1-32, 9 Abb., 1 Tab.; Heidelberg.
- & LEUTERITZ, K. (1989): Spalten und ihre Füllungen in den Carbonatgesteinen des Warsteiner Raumes (nordöstlichen Rheinisches Schiefergebirge). –Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen, **35**: 309-391, 6 Abb., 4 Tab., 5 Taf.; Krefeld.

- DEHM, R. & FAHLBUSCH, V. (1970): Zur Bezeichnung fossilführender Spaltenfüllungen.- Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung, Paläontologie und historische Geologie, **10**: 351-364, 1 Abb.; München.
- DRODZDEWSKI, G., HARTKOP-FRÖDER, C., LANGE, F.G., OESTERREICH, B., RIBBERT, K.H., VOIGT, S. & WREDE, V. (1998): Vorläufige Mitteilung über unterkretazischen Tiefenkarst im Wülfrather Massenkalk (Rheinisches Schiefergebirge).- Mitteilungen des Verbandes deutscher Höhlen- und Karstforscher, **44** (2): 53-63, 9 Abb.; München.
- DREYBRODT, W. (1988): Processes in karst systems: Physics, chemistry and geology.- 288 S., 184 figs.; Berlin.
- (1990): Ein Modell der Entwicklung von Karst unter Berücksichtigung der Lösungskinetik von Kalkstein: Anwendung auf die Verkarstung in der Schwäbischen Alb.- Laichinger Höhlenfreund, **25**: 47-83, 21 Abb.; Laichingen.
- EPHARDT, G. & MEIBURG, P. (1979): Beziehungen zwischen Tektonik und Karst im Warsteiner Raum (Nordöstliches Rheinisches Schiefergebirge).- Aufschluss, Sonderband **29**: 93-111, 12 Abb.; Heidelberg.
- FABRICIUS, N. (1887): Ueber die Tropfsteinhöhle bei Warstein.- Verhandlungen des naturwissenschaftlichen Vereins der preussischen Rheinlande und Westfalen, **44**: 106-108
- GEOLOGISCHES LANDESAMT NRW (1995): Geologie im Münsterland.-195 S., 50 Abb., 6 Tab., 1 Taf.; Krefeld.
- GRUBERT, C. & HÜLSMANN, T. (1998): Das Herbstlabyrinth-Adventhöhle-System (5315/51) bei Breitscheid (Lahn-Dill-Kreis)/ Rheinisches Schiefergebirge- eine Beschreibung.- Speläogruppe 86 und Speleologische AG Hessen e.V., Jahresbericht **1998**: 9-17, 1 Abb; Hannover, Wiesbaden.
- GÜNTHER, K. (1961): Vorgeschichtliche Funde aus den westfälischen Höhlen.- Jahreshefte für Karst und Höhlenkunde, **2**: 261-283, 10 Abb.; München.
- HEIßIG, K. (1983): Karstspaltenfüllungen, ein ungewöhnlicher Typ von Fossilfundstellen.- Archaeopteryx, **1**: 24-32, 3 Abb., 1 Tab.; Eichstätt.
- HENNEBÖLE, E. (1963): Die Vor- und Frühgeschichte des Warsteiner Raumes.- Beiträge zur Warsteiner Geschichte, **2**: 72 S., 27 Abb., 12 Taf., 1 Kt.; Warstein.
- & ANDREE, J. (1933): Vorbericht über die Ausgrabungen im Hohlen Stein 1933.- Aus der Vorzeit in Westfalen-Lippe und am Niederrhein, **1**: 49-54, Abb. 9-13; Münster.
- HÖLDER, H. & NORMAN, D.B. (1986): Kreide-Dinosaurier im Sauerland.- Naturwissenschaften, **73**: 109-116, 7 Abb.; Berlin – Heidelberg - New York.
- KÖNIGSWALD, W. v. (2002): Lebendige Eiszeit.- 190 S., 198 Abb.; Darmstadt (Wissenschaftliche Buchgesellschaft).
- MEIBURG, P., HÜGEL, P., MARZELA, C. & ROTERS, F.A. (1977): Die geologische Entwicklung der Lietzhöhle im Warsteiner Massenkalk (Rheinisches Schiefergebirge).- Aufschluss, **28**: 457-507, 36 Abb., 1 Tab.; Heidelberg.
- MEIBURG, P. & STOFFELS, D. (1979): Die Höhlen im Warsteiner Massenkalk.- Aufschluss, Sonderband **29**: 143-178, 24 Abb. 1 Titelb.; Heidelberg.
- NIGGEMANN, S. (1994): Morphologische Beobachtungen in sauerländischen Karbonatkarsthöhlen.- Mitteilungen des Verbandes der Höhlen- und Karstforscher, **40**: 36-39, 4 Abb.; München.

- (2003): Mehrphasige Höhlen- und Flussentwicklung in nordwestlichen Sauerland.- Dortmund Beiträ-
ge zur Landeskunde. Naturwissenschaftliche Mitteilungen, **36/37**: 17-54, 26 Abb., 1 Tab.; Dortmund.
- NORMAN, D.B. & HILPERT, K.-H. (1987): Die Wirbeltierfauna von Nehden (Sauerland), Westdeutschland.-
Geologie und Paläontologie in Westfalen, **8**: 77S., 54 Abb., 2 Taf.; Münster.
- PALMER, A.N. (1991): Origin and morphology of limestone caves.- Geological Society of America Bulletin,
103: 1-21, 25 figs., 1 tab.; Burlington.
- PIEPJOHN, C. (1995): Die Erdmannshöhle bei Hasel (Südbaden) und die Abhängigkeit ihrer Entwicklung
von den quartären Klima Ereignissen.- Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie, **77**:
155-171, 7 Abb., 1 Tab.; Münster.
- REIMANN, C.K. (2001): Die Großsäugerfauna der fossilführenden Karstspalte Steinbruch Hillenberg.- 166
S., 43 Abb., 78 Tab.; Münster (unveröffentlichte Diplomarbeit).
- REIMANN, C. K. (2009): Die Großsäugerfauna der Karstspalte Hillenberg 1 in Warstein.- Geologie und
Paläontologie in Westfalen, **75**: 27-83, 28 Abb.; Münster.
- & STRAUCH, F. (2001): Die Großsäugetierfauna der fossilführenden Karstspalte im Steinbruch Hillen-
berg.- In: Alfred Wegener Stiftung (Hrsg.) (2001): PalBioSys 2001- 3,5 Milliarden Jahre Biodiversität,
Gemeinsame Jahrestagung der Paläontologischen Gesellschaft und der Gesellschaft für Biologische
Systematik, 17.-21. September 2001 in Oldenburg; Terra Nostra, 2001/6: S.198; Berlin. (Poster)
- SCHAAFFHAUSEN, H. (1877): Ueber einige fossile Tierreste aus einer Höhle bei Warstein.- Verhandlungen
des natur-historischen Vereins der preussischen Rheinlande und Westfalen, **34**: 115; Bonn.
- SCHÖLLMANN, L., REIMANN, C.A. & BERGER, M. (2001): Säugetierfunde aus einer jungpleistozänen
Karstspalte im Massenkalk bei Warstein.- Arbeitsgemeinschaft für die biologische und ökologische Lan-
deserforschung e.V., Protokoll der 25 Jahrestagung am 10. März 2001; Münster. (3 Vorträge)
- & REIMANN, C. A. (2001) Eine pleistozäne Karstspaltenfüllung im Massenkalk bei Warstein.- Monats-
versammlung der Rheinisch-Westfälischen Höhlen- und Karstforscher, November 2001; Iserlohn. (2 Vor-
träge)
- SCHLÖSSER, M. & SCHÖLLMANN, L. (2000): Artenreiche Eiszeitfauna aus einer Karstspalte.- Archäolo-
gie in Deutschland, **2000** (3): S. 43, 1 Abb.; Stuttgart.
- SCHRIEL, W. (1954): Neue Tertiärfunde bei Brilon im Sauerland als Zeitmarke für die junge Vererzung
(Pb, Zn, Cu, Fe) im Massenkalk.- Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte **1954**: 226-230; Stutt-
gart.
- SIEGFRIED, P. (1961): Pleistozäne Wirbeltiere in westfälischen Höhlen.- J. Karst und Höhlenkunde, **2**:
177-191, 6 Abb., 3 Tab.; München.
- (1979): Die eiszeitliche Tierwelt nach Funden in Warsteiner Höhlen.- Aufschluss, Sonderband **29**:
193-204, 5 Abb., 1 Tab.; Heidelberg.
- WIRTH, W. (1964): Über zwei Unterkreiderelikte im nördlichen Sauerland.- Fortschritte in der Geologie
von Rheinland und Westfalen, **7**: 403-420, 5 Abb., 1 Taf.; Krefeld.
- ZAPFE, H..(1954): Beiträge zur Erklärung der Entstehung von Knochenlagerstätten in Karstspalten und
Höhlen.- Beihefte zur Geologie, **12**: 60 S., 12 Abb.; Berlin.
- ZYGOWSKI, D. (1988): Bibliographie zur Karst- und Höhlenkunde in Westfalen (unter Einschluß des Ber-
gischen Landes).- Abhandlungen aus dem Westfälischen Museum für Naturkunde, **50**: 295 S.; Münster.