

# Mit Sandstein gefüllte Paläokarst-Hohlräume und Klüfte, aufgeschlossen in der Mühlbachquellhöhle (Südliche Frankenalb, Bayern)

Stefan Glaser

## 1 Einleitung

Die Mühlbachquellhöhle (KGM 2002) ist mit über acht Kilometern Gesamtganglänge die längste Höhle der Frankenalb. Der größere Teil der Gänge wird aktiv von Gewässern durchflossen und bietet daher hervorragende geologische Aufschlüsse, die vergleichsweise selten von Höhlensedimenten verdeckt sind. Die Gänge verlaufen überwiegend in den gebankten Kalk- und Mergelsteinen der Arzberg-Formation („Malm Gamma“) und der Dietfurt-Formation („Malm Beta“) des Oberjura (GLASER 2005).

Das unterirdische Gewässernetz der Höhle ist ausgerichtet auf die Mühlbachquelle nahe dem heutigen Altmühltal. Dieses wurde noch in der Rißeiszeit von der Donau durchflossen und entstand im Laufe des Quartärs. Es ist daher naheliegend anzunehmen, dass zumindest ein Großteil der heutigen Höhlengänge während des Quartärs entstanden sind. Sinterdatierungen deuten darauf hin, dass die Höhle schon vor über 100.000 Jahren bestand, spätestens vor 12.000 Jahren weitgehend in der heutigen Form (GLASER et al. 2015).

Im Umfeld der Mühlbachquellhöhle gibt es allerdings Hinweise auf ältere Verkarstungsphasen (Abb. 1). Zu nennen ist insbesondere ein nur teilweise im Einzugsgebiet der Höhle gelegenes, ausgedehntes System von Trockentälern und weiten Senken, das – rein morphologisch betrachtet – ein Einzugsgebiet von etwa 70 Quadratkilometern umfasst. Wenige Kilometer südlich von

Mühlbach sind vergleichbare Senken und Trockentäler mit tertiärzeitlichen Sedimenten der Oberen Süßwassermolasse gefüllt (GLA 2001). Die Sedimente weisen darauf hin, dass die Hohlformen ihren Ursprung möglicherweise in älteren Verkarstungsphasen haben. Tatsächlich wechselten in der Südlichen Frankenalb Phasen mit starker Absenkung des Grundwasserspiegels und nachfolgende Phasen mit erneuter Sedimentüberdeckung der Hochflächen mehrfach ab (GLASER 2000).

Nach dem Rückzug des Meeres gegen Ende des Oberjura setzte Abtragung und Verkarstung ein, die während dem größeren Teil der Unterkreidezeit andauerte, wohl über 40 Millionen Jahre lang. Gegen Ende der Unterkreide folgte eine fluviatile Überschüttung mit kaolinischem Ton, Silt, Sand (überwiegend Quarz) und Kies der Schutzfels-Formation („Schutzfelsschichten“). Beispielsweise wurden im Steinbruch Saal an der Donau mit Schutzfelsschichten angefüllte Hohlformen bis 80 m tief unter dem heutigen Gelände angetroffen (FAY et al. 1982). Obwohl die Gesteine der Schutzfels-Formation in weiten Gebieten in ähnlicher Ausprägung vorkommen und demnach zumindest alle tiefliegenden Bereiche der damaligen Landschaft bedeckten, findet man sie heute fast ausschließlich in Karsthohlformen, teilweise bis tief unter das heutige Talniveau. Es muss somit noch im Unteren Cenomanium eine erneute Abtragsphase gegeben haben, bevor „kurze Zeit später“ das Meer erneut über die Frankenalb

---

**Anschriften des Verfassers:** Dr. STEFAN GLASER, Albrecht-Dürer-Str. 29, 82152 Krailling.

vorstieß und die marinen Ablagerungen der Regensburg-Formation („Regensburger Grünsandstein“) und weitere Gesteine der Danubischen Kreideabfolge hinterließ (NIEBUHR et al. 2009).

Spätestens während des Santoniums (noch während der Oberkreide) zog sich das Meer wieder aus dem Gebiet zurück und Abtragung und Verkarstung konnten erneut einsetzen und dauerten etwa 65 Millionen Jahre bis ins untere Miozän an. Danach füllten fluviale bis limnische Sedimente ehemalige Täler. Im mittleren Miozän verfüllten die Auswurfmassen des Ries-Impakts eventuell verbliebene oder neu gebildete Täler und Hohlformen zumindest im Westteil der Südlichen Frankenalb. Im oberen Miozän lagerten sich Sedimente der Oberen Süßwassermolasse über den Südrand der Frankenalb bis auf die südlichen Hochflächen ab. Bis ins beginnende Quartär hinterließen Flüsse Sedimente auf Hochflächenniveau. Erst im Quartär schuf die Donau das heutige Altmühltal und ermöglichte so das erneute Einsetzen einer epigenetischen Verkarstung.

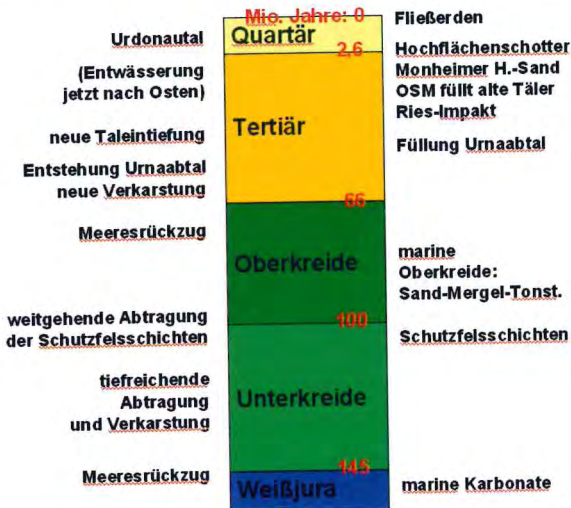


Abb. 1: Zeitschiene mit wichtigen Abtragungserignissen (links) und Sedimentationsereignissen (rechts) im Bereich der Südlichen Frankenalb.

## 2 Mit Quarzsandstein gefüllter Paläokarst

Schon bald nach der Erschließung der Mühlbachquellhöhle im Jahr 2001 fiel den Forschern der Karstgruppe Mühlbach e.V. im Ostgang eine Kluft mit einer etwa 10 cm

breiten weißlichen Füllung auf, die den Gang quert (Abb. 2). Bald wurde klar, dass es sich bei der Kluftfüllung um einen karbonatisch gebundenen Quarzsandstein handelt. Offenbar hatte der Sand die offene Kluft gefüllt und wurde zementiert, bevor der Höhlengang entstanden war.

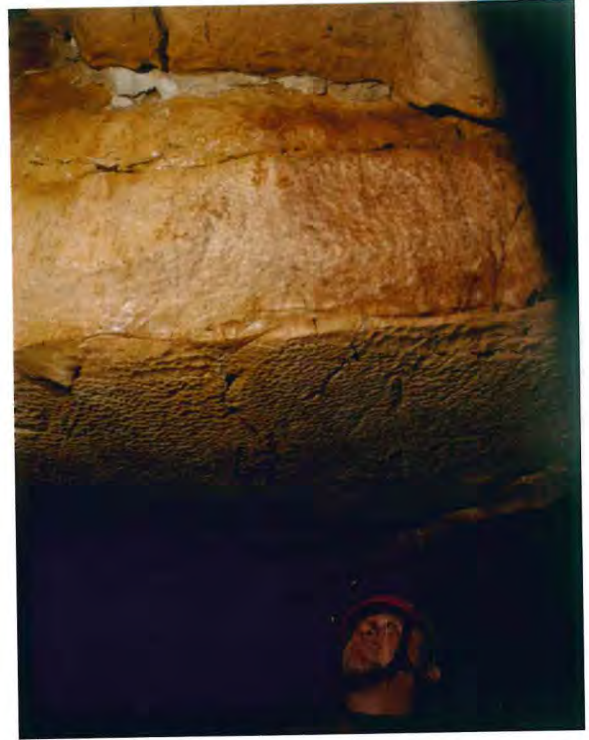


Abb. 2: Mit hellem Sandstein gefüllte Kluftspalte im Ostgang der Mühlbachquellhöhle.

Das scheinbare Einzelphänomen erhielt zunächst keine weitere Aufmerksamkeit. Erst mit dem verstärkten Einsatz lichtstarker LED-Lampen ab etwa 2010 wurde klar, dass es sich keineswegs um ein Einzelphänomen handelt. Insbesondere im Ostgang der Höhle wurden Dutzende weiterer Vorkommen lokalisiert: Kluftfüllungen in der Stärke von einem Millimeter bis mehrere Dezimeter Breite, Sandstein-umkränzte Deckenkolke sowie horizontale und vertikale Röhren und Höhlengänge von Dezimeterbreite bis zu (ehemals) gangbaren Ausmaßen. Hier ist somit ein veritabler Paläokarst erschlossen, der auch Rückschlüsse auf die Paläotektonik ermöglicht.

### 2.1 Sandstein und ehemaliger Mergelstein

Das Erscheinungsbild des Sandsteins ist an den verschiedenen Vorkommen relativ einheitlich. Es handelt sich um weißlich-grauen

Fein- bis Mittelsandstein, teilweise Schluffstein oder Grobsandstein mit feinstem weißem Kalzit als Bindemittel (Abb. 3). Die Quarzsandkörner sind überwiegend gut gerundet und durchscheinend bis hellgrau, vereinzelt beige, dunkelgrau oder rötlich. Teilweise ist eine Schichtung im Zentimeter- bis Dezimeterbereich zu erkennen, teilweise erscheint das Gestein homogen und masig. Stellenweise erscheint die Schichtung konkav verbogen, was darauf hindeutet, dass sich das noch weiche Sediment gesetzt oder in tieferliegende Hohlräume verlagert hat (Abb. 4). In den verschiedenen Vorkommen dominieren jeweils unterschiedliche Korngrößen (von Schluff bis Grobsand), jedoch liegt immer eine deutliche Sortierung mit einer oder höchstens zwei lokal dominierenden Korngrößen vor. Zusammen mit der guten Rundung der Körner und der Reinheit des Quarzsands weist dies auf einen fluviatilen Transport des weiträumig transportierten Ausgangsmaterials hin.



Abb. 3: Typische Probe eines Sandsteins aus einer Paläokarstfüllung (Maßstab mit Millimeter-teilung).

Die Mineralanalyse einer typischen Probe erbrachte 63 % Calcit, 34 % Quarz und 3 % Kaolinit. Die Korngrößenanalyse des nicht-karbonatischen Anteils ergab:

- 11 % Grobsand
- 28 % Mittelsand
- 12,5 % Feinsand
- 14 % Grobschluff
- 26 % Mittelschluff
- 3 % Feinschluff
- 5,5 % Ton



Abb. 4: Paläokarstfüllung mit deutlicher Schichtung, die nachträglich durch Setzungen nach unten verbogen wurde.

Es überrascht, dass der Sandstein nicht immer korngestützt auftritt, sondern einzelne Bereiche existieren, in denen Sandkörner lose in der Karbonatmatrix zu „schwimmen“ scheinen (Abb. 5). Trotz der oft guten Sortierung und der Schichtung des Sandes, die auf eine Ablagerung im fließenden Wasser hindeuten, scheint zumindest stellenweise das Matrixmaterial gleichzeitig mit dem Sand abgelagert. Demnach kann es sich bei der Matrix zumindest nicht ausschließlich um eine nachträgliche Ausfällung und Zementierung handeln. Vermutlich war das Matrixmaterial während der Sandablagerung zumindest teilweise in einer möglicherweise breiigen Konsistenz bereits vorhanden.

Hierzu passt die Beobachtung, dass im Umfeld der Sandsteinvorkommen die Mergelsteinlagen der Platynotamergel oft aus ihrer ursprünglichen Lage „herausgequetscht“ erscheinen. Oft schmiegen sie sich in vertikale Klüfte (Abb. 6) oder die Bänke erscheinen übermäßig dick oder dünn. Es gibt aber auch einzelne Lokalitäten, an denen „verquetschte“ Mergelsteine offenbar ehemalige Karsthohlräume ausfüllen – ganz ohne die Beteiligung von Sand (Abb. 7). Teilweise ist

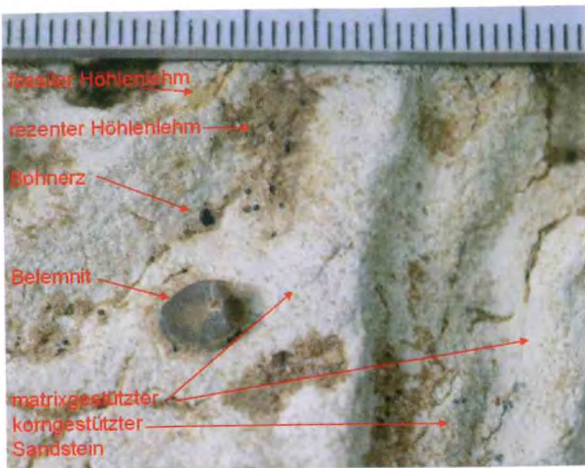


Abb. 5: Sandstein, teils korn- teils matrixgestützt. Außerdem eingelagert ein Belemnit, der vermutlich aus dem Weißjura-Nebengestein stammt und ein beiges Fragment, das vermutlich auf ehemaligen Höhlenlehm zurückgeht. Außen stellenweise anhaftend: brauner Höhlenlehm mit kleinen Bohnerzkörnern – das rezente Höhlensediment.



Abb. 6: In eine wandparallele Kluft „verquetschte“ Mergelsteinhorizonte der Platynota-Mergel, die scheinbar zusammenlaufen.



Abb. 7: In eine rundliche Paläokarst-Hohlform eingedrungener, ehemals aufgeweichter Mergelstein. Hier war kein Sand beteiligt, aber wohl ehemaliger Höhlenlehm (beige Farbe).



Abb. 8: Teilweise Bleichung am Kontakt Kalkstein-Sandstein.

hier noch eine direkte Verbindung mit dem benachbart anstehenden Mergelstein zu erkennen, teilweise fehlt diese aber und das Gestein gleicht der Matrix des Sandsteins.

Offenbar haben die Mergelsteine der Platynotamergel hier als veränderlich feste Gesteine fungiert, die unter (vermutlich langandauernder) Wasserbedeckung ihre eigentliche Festgesteinsfunktion eingebüßt hatten. Offenbar ging der Verfüllung des Paläokarsts ein Anstieg des Grundwasserspiegels voraus. Das Karbonat aus den aufgeweichten Mergelsteinen kommt als

Ausgangsmaterial für die Matrix der Sandsteine in Frage. Eine weitere Auffälligkeit ist die stellenweise Bleichung der benachbarten Kalksteine im Kontakt mit den Sandsteinen (Abb. 8). Die normalerweise grauen bis beigen Kalksteine sind stellenweise einige Millimeter bis etwa einen Zentimeter tief hell verfärbt. Dies kommt nicht nur im direkten Kontakt mit Sandsteinen vor, sondern auch entlang feiner Risse und Klüfte im Umfeld der Sandsteinfüllungen (Abb. 9). Offenbar wurde das Umgebungsgestein der Paläokarsthohlräume im Zusammenhang mit der Sandsteinablagerung geochemisch alteriert.



Abb. 9: Bleichung um einen feinen Riss im Kalkstein im Umfeld einer mit Sandstein gefüllten Kluftspalte.

Es fällt auf, dass trotz der Ablagerung im Höhlenmilieu in den Sandsteinen kaum Fremdkomponenten enthalten sind. Stellenweise kommen kantige Kalksteinbrocken vor, die einzeln oder in Form ehemaliger Versturzmassen in den Sandstein eingebettet sind (Abb. 10). Selten sind feinkörnige Fragmente enthalten, deren beige Farbe auf karbonatisch verkitteten ehemaligen Höhlenlehm hinweist (Abb. 5 und 7). Nicht festgestellt wurden ältere Sinterbildungen, Schotter oder Bohnerzkörner in den Sedimentfüllungen der Paläokarsthohlräume. Es fehlen auch organische Überreste und Fossilien aller Art, einzige Ausnahme ist ein Belemnit, der wohl aus dem Umgebungsgestein herausgelöst wurde (Abb. 5). Es fehlt zudem Glaukonit, der in den Ablagerungen der marinen Oberkreide vorkommt.



Abb. 10: Kantige Kalksteinbrocken in Sandsteinmatrix – wohl ein ehemaliger Versturz.

## 2.2 Räumliche Verbreitung

Die große Mehrzahl der etwa 30 bisher dokumentierten Vorkommen von Paläokarst-Füllungen liegen im Ostgang der Höhle zwischen Bermudadreieck und Ostsiphon 1 (Abb. 11). Weitere, teilweise große aber bisher nicht näher dokumentierte Vorkommen liegen im Bereich der Ostsiphonkette oberhalb Ostsiphon 1. Nur wenige Vorkommen liegen im Nordteil der Höhle. Überraschenderweise wurde im verzweigten vorderen Höhlenteil zwischen Eingang und Bermudadreieck bisher kein einziges Vorkommen registriert.

## 2.3 Der Paläokarst: enge Röhren, Schächte, Gänge und Klüfte

Die erfassten Sandsteinvorkommen liegen etwa zu gleichen Teilen in Kluftspalten und korrosiv erweiterten Karsthohlräumen. Die Karsthohlräume sind überwiegend enge Röhren (etwa 0,1 bis 0,6 m Durchmesser) und erstrecken sich in ihrer Mehrzahl senkrecht oder steil. Dies weist darauf hin, dass der Karstwasserspiegel vor der Verfüllung des Paläokarsts wohl tiefer lag als die heutigen Höhlengänge (etwa 375 – 400 m ü. NHN).

Das größte bislang dokumentierte Vorkommen liegt in einer steil ansteigenden Röhre von etwa 2 m Breite und 3 m Höhe, die rundum mehr oder weniger dick mit Sandstein ausgekleidet ist, während im Zentrum der Röhre die ehemalige Füllung teilweise wieder ausgeräumt wurde (Abb. 12). Ein weiteres bedeutendes Vorkommen quert die Gänge der Mühlbachquellhöhle in Deckenhöhe auf etwa 25 m Länge. Soweit erkennbar, scheint hier ein etwa horizontal verlaufendes Gangsystem bis ca. 2 m Höhe mit Versturzboden existiert zu haben. Ein weiteres interessantes Vorkommen ist an der Wand einer Gangnische aufgeschlossen: Ein knapp 2 m hohes und bis 0,8 m breites Gangprofil in V-Form mit einer flachen Decke, die an einer Schichtfuge angelegt ist (Abb. 13). Auch dieses Vorkommen lässt sich in der Decke des Hauptgangs – diesen querend – auf etwa 7 m Länge verfolgen.

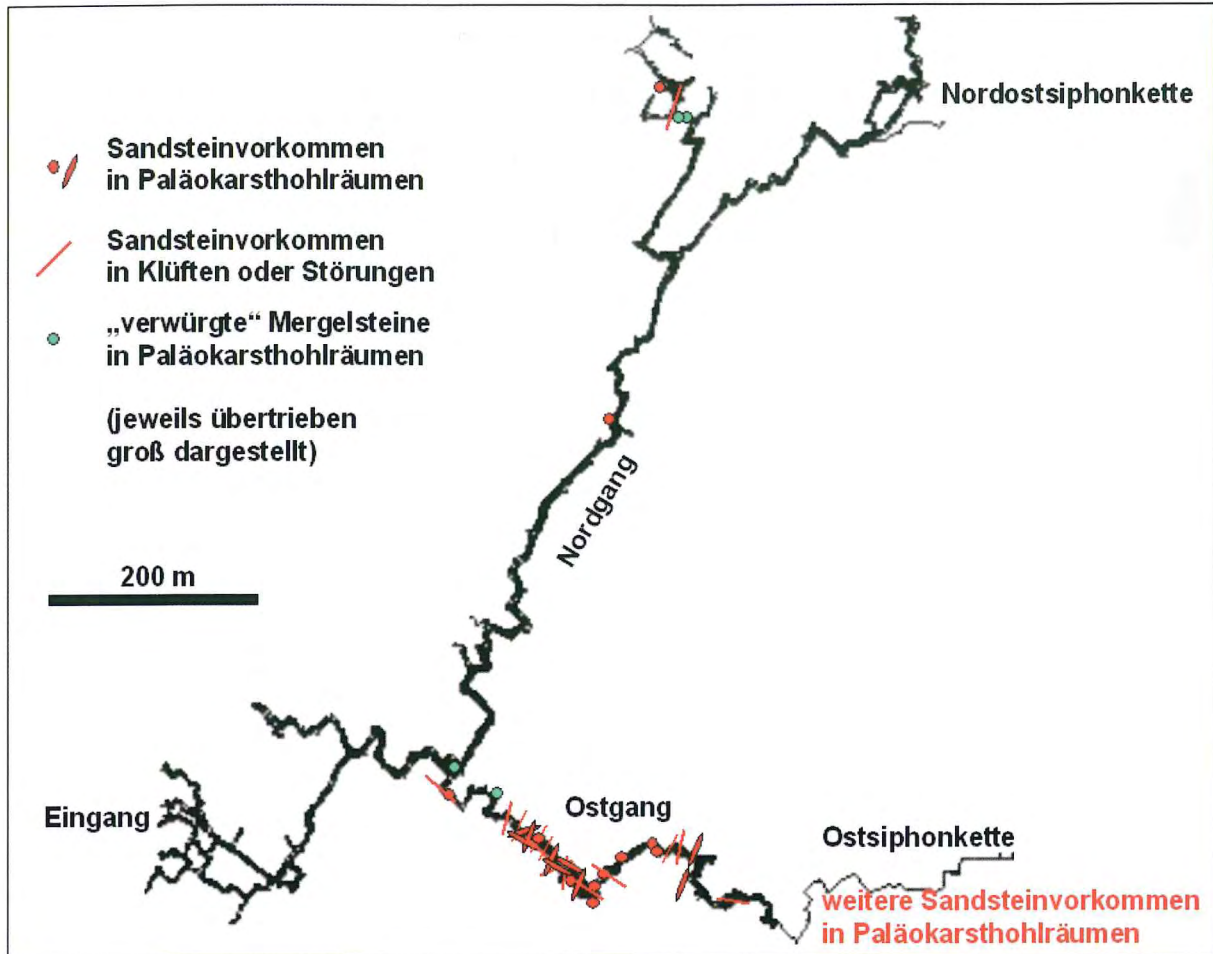


Abb. 11: Verteilung der Paläokarst- und Kluffüllungen in der Mühlbachquellhöhle.



Abb. 12: (links): Geräumige, steil nach oben führende Röhre, die allseitig mit Sandstein ausgekleidet ist.

Abb. 13 (rechts): In einer Gangnische aufgeschlossenes Profil eines Sandstein-verfüllten Horizontalgangs, etwa 2 m hoch und bis 0,8 m breit. Der Gang ist bis zu seiner horizontalen Decke (knapp oberhalb des Bildausschnitts, an einer Schichtfuge angelegt) restlos verfüllt.

Die große Mehrzahl der Paläokarsthohlräume ist bis heute vollständig bis zur ehemaligen Decke verfüllt. In einem Fall ist eine steil ansteigende Röhre von etwa 0,4 m Breite und 0,6 m Höhe in ihrem oberen Viertel offen. Ob dieser Teil ursprünglich verfüllt war oder aus unbekanntem Gründen offen geblieben war, ist unklar. Eine weitere unklare Situation bildet ein Sandsteinvorkommen, das sich kranzförmig um einen etwa 2,5 x 1,5 m großen Deckenkolk erstreckt (Abb. 14). Ehemals offengeblieben oder nicht – jedenfalls scheint dieser Kolk ein Relikt der früheren Verkarstungsphase zu sein.



Abb. 14: Sandstein-umkränzter Deckenkolk.

Das Verwitterungsverhalten der Füllungen ist jenem des umgebenden Kalksteins sehr ähnlich, was mit dazu führte, dass viele Vorkommen erst spät erkannt wurden. In vielen Fällen zeigen die Paläokarstfüllungen keinen nennenswerten Einfluss auf die Raumformen der heutigen Höhle. In seltenen Fällen ragen die Füllungen als Härtlinge in den Raum. Relativ häufig sind aber Gangnischen oder blind endende Gangansätze an den Paläokarstfüllungen angelegt.

### 3 Beziehungen zwischen Paläokarst und Tektonik

Interessant ist, dass viele Sandsteinvorkommen in Kluftspalten liegen, immerhin bis über 100 m unter der heutigen Geländeoberfläche. Offene Kluftspalten bis in eine solche Tiefe sind eher selten. Sie hatten sich offenbar erst „relativ kurzfristig“ vor ihrer Verfüllung geöffnet. Dies deutet auf eine einsetzende Dehnungstektonik hin. Mög-

licherweise hängt auch der Anstieg des Grundwasserspiegels und die Verfüllung mit diesem Wechsel im tektonischen Regime zusammen.

Die Mehrzahl der Sandstein-gefüllten Kluftspalten sind wenige Zentimeter bis Dezimeter geöffnet. In einem Fall ist in der Höhlendecke ein kluftgebundenes Sandsteinvorkommen von bis über einen Meter Breite erkennbar, allerdings war diese Kluftspalte vermutlich bereits vor ihrer Verfüllung korrosiv erweitert.

Besonders häufig sind die Sandstein-gefüllten Klüfte und geradlinige Karsthohlräume in Richtungen um 25° (10-40°) orientiert. Dies mag damit zusammenhängen, dass die meisten Vorkommen im überwiegend Richtung Osten verlaufenden Ostgang liegen und diesen somit queren. Die Richtung entspricht aber auch der Hauptkluft-richtung in der Höhle.

Oft kommen auch Richtungen zwischen 110° und 140° vor. Dies entspricht etwa der Richtung von zahlreichen Kleinabschiebungen in der Höhle (GLASER 2005). Allerdings verlaufen die verfüllten Kluftspalten meist nahezu vertikal während die Kleinabschiebungen meist um 60° einfallen. In einem Fall liegt eine senkrechte Spaltenfüllung im selben Gangabschnitt parallel zu einer Kleinabschiebung. Ein Schnitt der beiden Trennflächen ist aber leider nicht aufgeschlossen. In keinem Fall wurden Sandsteinfüllungen innerhalb der Kleinabschiebungen festgestellt.

In zwei Fällen sind Sandsteinfüllungen offenbar älter als kleine Versätze an steil stehenden Kluftspalten, an denen die Hohlräume angelegt sind, in denen die Sandsteine liegen. Es handelt sich aber in beiden Fällen nicht um eine der prägenden Kleinabschiebungen in Richtungen um 125° sondern um sehr kleine Versätze (ca. 15 cm) mit Streichrichtungen von 20° und 95° (Abb. 15).

Die Sedimentfüllungen sind somit jünger als eine markante Dehnungstektonik, die Kluftsysteme um 25° und 120° teilweise zu Spalten geöffnet hat. Die Klüfte selbst waren zumindest teilweise noch älter, nämlich wenn sich an ihnen bereits Paläokarsthohl-

räume entwickelt hatten. Die Sedimentfüllungen sind aber vermutlich älter als die Anlage der prägenden Kleinabschiebungen mit Richtungen um  $125^\circ$  (fortgesetzte Dehnungstektonik, möglicherweise in Zusammenhang mit Bewegungen am Schwäbisch-Fränkischen Lineament).



Abb. 15: Sandsteinfüllungen in einer Kluftspalte mit geringfügigem Versatz (ca. 15 cm), die Füllung erfolgte erst nach dem Versatz.

Selten kommen Paläokarstfüllungen in Richtungen von  $80^\circ$  bis  $95^\circ$  vor, die etwa parallel der Hauptverwerfung „Schwäbisch-Fränkisches Lineament“ (SCHWARZ 2012) liegen, das mit der „Beilngrieser Verwerfung“ (STREIM 1961) knapp südlich der Höhle entlangzieht, etwa parallel zum Ostgang. An dieser Hauptverwerfung haben wohl mehrfach in der Erdgeschichte Bewegungen stattgefunden. Eine Altersbeziehung zu den Paläokarstfüllungen ist mit den vorhandenen Aufschlüssen nicht zu ermitteln.

#### 4 Wann haben die Verkarstung und die Verfüllung stattgefunden?

Wie bereits eingangs erläutert wurde, haben sich in der Südlichen Frankenalb mehrfach Taleintiefung und Verkarstung mit hohen Grundwasserspiegeln und Sedimenta-

tion bis über die Hochflächen abgewechselt. Die jüngste Verkarstungsphase hat etwa mit dem Quartär begonnen. Als Sedimente gelangten in dieser Zeit vor allem ehemalige Deckschichten und Lehme in Form von Fließerden in die Höhle und wurden durch die Höhlengewässer umgelagert. Als Ursprung des Paläokarsts kommt das Quartär nicht in Frage, da die Verkarstung weiterhin voranschreitet und auch die Sedimente keinerlei Ähnlichkeit mit jenen im Paläokarst haben.

Prinzipiell in Frage kämen die Verkarstungsphasen während des Tertiärs. Deren ältere endete vor etwa 18 Millionen Jahren mit der Ablagerung des „Braunkohlentertiärs“ insbesondere im Urnaabtal. Die jüngere Verkarstungsphase im Tertiär endete vor etwa 14-10 Millionen Jahren mit der Überlagerung der Oberen Süßwassermolasse über den Südrand der Südlichen Frankenalb, wobei die Täler mehrerer Quellflüsse verschüttet wurden, die bis heute verschüttet sind (GLA 2002). Allerdings unterscheiden sich die Sedimente des Braunkohlentertiärs und der Oberen Süßwassermolasse erheblich von jenen, die im Paläokarst angetroffen wurden. Sie weisen meist eng benachbart ein breites Korngrößenspektrum von Tonen, Schluffen, Sanden und Kiesen auf und bestehen zwar überwiegend aus Quarzkomponenten, meist kommen aber auch Feldspat- und Fremdgesteinskomponenten vor. Die Farben der Tertiärsedimente sind typischerweise beige bis ockerbraungrau.

Es kann nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden, dass es sich bei den Paläokarstfüllungen um Tertiärsedimente handelt, die durch einen sehr lokalen Prozess überprägt und umgelagert wurden. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist aber sehr gering, zumal in mehreren Kilometern Umkreis um die Höhle keine Tertärablagerung an der Oberfläche kartiert sind (LfU 2011 und 2015). Auch die vielfach in Steinbrüchen der Region aufgeschlossenen Karstspaltenfüllungen aus dem Tertiär enthalten überwiegend Lehme, oft mit Bohnerzen, die keine Ähnlichkeit mit den Paläokarstfüllungen aufweisen.

Dass es sich bei den Paläokarstfüllungen um Ablagerungen der marinen Oberkreide



handelt, erscheint ausgeschlossen, da nicht nur die typischen Fossilien fehlen sondern auch das prägende Mineral Glaukonit, das dem transgressiven „Grünsandstein“ (Regensburg-Formation) seine Farbe verleiht. In einzelnen Höhlen im Raum Regensburg finden sich tatsächlich Paläokarst- und Kluftspaltenfüllungen, die mit typischer Regensburg-Formation verfüllt sind. Offenbar unterschieden sich die paläogeographischen Verhältnisse während der Transgression im Raum Regensburg von jenen im 35 Kilometer weiter westlich gelegenen Mühlbach.

Es verbleiben zuletzt die „Schutzfelschichten“ (Schutzfels-Formation) als Kandidat für die Herkunft der Paläokarstfüllungen. Die Ablagerung der Schutzfels-Formation beendete die langandauernde Verkarstungsphase während der Unterkreidezeit. Laut NIEBUHR et al. (2009) handelt es sich um Fluss- und Seesedimente (Tone, Silte, Sande, Kiese), die nur partiell verfestigt sind (dann kaolinisch oder kieselig gebunden). Die Sedimente sind gewöhnlich rein weiß, gelblich oder grünlich. Der Quarzanteil liegt bei 90-95%, Feldspäte und Karbonat fehlen überwiegend. Kleine – möglicherweise umgelagerte – Restvorkommen von Sanden der Schutzfelschichten liegen unweit der Höhle auf der Hochfläche in einer Höhe von etwa 510 m ü. NHN (LfU 2011).

Die Paläokarstfüllungen ähneln rein äußerlich manchen Sandsteinvorkommen der Schutzfels-Formation. Auch der Mineralbestand aus überwiegend Quarzsand und etwas Kaolin sowie die bleiche Farbe sind typisch. Ungewöhnlich für die Schutzfels-Formation ist die karbonatische Matrix des Gesteins und dass matrixgestützte Bereiche im Sandstein existieren. Dies kann mit den speziellen Rahmenbedingungen in den überfluteten Hohlräumen und dem Vorhandensein aufgeweichter Mergelsteine erklärt werden (siehe oben). Es darf mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass Gesteine der Schutzfels-Formation das Ausgangsmaterial der Paläokarstfüllungen sind und dass diese in einem engen zeitlichen Zusammenhang mit der Ablagerung der Schutzfels-Formation entstanden sind. Ablagerung und Zementation waren wohl vor dem Beginn der Meerestransgression im Cenomanium abgeschlossen.

## 5 Zusammenfassung

In Teilen der Mühlbachquellhöhle sind – bis über 100 m unter der heutigen Karsthochfläche – mit Sandstein gefüllte Kluftspalten und Paläokarsthohlräume aufgeschlossen. Die meist gut sortierten und gut gerundeten Sand- und Schluffkomponenten sind karbonatisch gebunden und weisen einen geringen Kaolinitgehalt auf. Höchst wahrscheinlich handelt es sich um Material aus der Schutzfels-Formation, das in unterkreidezeitliche Karsthohlräume umgelagert wurde. Aufgrund des speziellen Sedimentationsumfelds in der Höhle wurden die Gesteine karbonatisch zementiert, wohl unter Beteiligung aufgeweichter Mergelsteine aus der umgebenden Arzberg-Formation.

Das Vorhandensein offener Kluftspalten vor deren Verfüllung weist auf eine beginnende Dehnungstektonik hin, die bevorzugt 25° streichende Kluftspalten sowie untergeordnet um 120° streichende Kluftspalten öffnete. Eine fortschreitende Dehnungstektonik (Richtungen meist um 125°), die mit dutzenden Kleinabschiebungen in der Mühlbachquellhöhle dokumentiert ist, scheint erst nach der Verfüllung des Paläokarsts eingesetzt zu haben.

Der zeitliche Ablauf von in der Mühlbachquellhöhle dokumentierten Aspekten stellt sich demnach im regionalen Zusammenhang wie folgt dar:

- Die Ablagerung mariner Karbonatgesteine endet mit dem Meeresrückzug zum Ende des Weißjura.
- Während der Unterkreidezeit werden die jüngeren Weißjuragesteine weitgehend abgetragen, die verbliebenen Karbonate verkarsten tiefgründig, teilweise bis mindestens auf das heutige Talniveau.
- Gegen Ende der Unterkreidezeit steigt das Grundwasserniveau an, die Mergelsteine der Platynota-Mergel weichen am Kontakt Paläokarst–Grundwasser auf.
- Eine beginnende Dehnungstektonik öffnet vorher schon existierende Kluftspalten mit Richtungen um 25° und 120°.
- Fluviale Schüttungen der Schutzfels-Formation füllen Teile des vorherigen Talsystems und die Paläokarsthohlräume.

- me weitestgehend. Im Paläokarst erfolgt eine karbonatische Zementierung.
- Wohl erst nach der Verfüllung des Paläokarsts setzt sich die Dehnungstektonik mit zahlreichen Kleinabschiebung mit Streichrichtungen um 125° fort (möglicher Zeitraum zwischen beginnender Oberkreide und Ende Tertiär).
  - In der Mühlbachquellhöhle gibt es weder Belege für die Abtragungsphase nach Ablagerung der Schutzfelsschichten noch für die Ablagerung der marinen Oberkreide.
  - Auch für die Verkarstungs- und Sedimentationsphasen während des Tertiärs finden sich in der Mühlbachquellhöhle bisher keine eindeutigen Belege. Es erscheint allerdings wahrscheinlich, dass ausgedehnte Senken und Trockentalsysteme, die teilweise im Einzugsgebiet der Höhle liegen, auf das Tertiär zurückgehen. Inwieweit die Entstehung einzelner Höhlenteile hiermit zusammenhängt, ist bislang nicht klar.

- Während des Quartärs tiefte die Urdonau das heutige Altmühltal ein. Das unterirdische Gewässernetz der Mühlbachquellhöhle entwickelt sich als Zubringer zu diesem Tal.

## 6 Dank

Meinen Kameraden aus der Karstgruppe Mühlbach danke ich für ihre Begleitung bei ungezählten Touren und ihre übergroße Geduld, wenn beispielsweise in der Höhle ein regelrechtes Büro aufgebaut werden musste und wir den Tag auf gerade einmal 30 Metern Gangstrecke verbrachten – immer im kalten Höhlenbach stehend. Ohne euer hartnäckiges Interesse und eure Diskussionen wäre dieser Artikel nicht entstanden. Weiterhin danke ich meinem Kollegen im Bayerischen Landesamt für Umwelt Thomas Pürner für die Diskussionen zur Danubischen Kreide, seine Einschätzungen zu dem Material und die Durchsicht des Manuskripts.

## Schriftenverzeichnis

- FAY, M., FÖRSTER, R. & MEYER, R.K.F (1982): Exkursionsführer 2. Symposium Kreide, Exkursion A: Regensburg. – 54 S.; München.
- GLA (2001): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, 7035 Schamhaupten; München, Bayerisches Geologisches Landesamt.
- GLA (2002): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 10 Ingolstadt, Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:100 000. – 172 S.; München, Bayerisches Geologisches Landesamt.
- GLASER, S. (2000): Die Verkarstungsgeschichte des Malms der Südlichen Frankenalb. – Laichinger Höhlenfreund, **35**: 39-58; Laichingen.
- GLASER, S. (2005): Geologische und Hydrogeologische Erkenntnisse aus der Mühlbachquellhöhle (Südliche Frankenalb, Bayern). – Geol. Bl. NO-Bayern, **55**: 1-30; Erlangen.
- GLASER, S., WISSHAK, M. & FIETZKE, J. (2015): Altersdaten von Höhlensintern aus dem Raum Mühlbach (Südliche Frankenalb, Bayern). – Laichinger Höhlenfreund, **50**: 73-86; Laichingen.
- KGM (2002): Die Mühlbachquellhöhle, ein neuentdecktes Naturwunder im Altmühltal. – 24 S., Karstgruppe Mühlbach e.V.
- LfU (2011): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, 6935 Dietfurt a. d. Altmühl; Augsburg, Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- LfU (2015): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, 6936 Hemau; Augsburg, Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- NIEBUHR, B., PÜRNER, T. & WILMSEN, M. (2009): Lithostratigraphie der außeralpinen Kreide Bayerns. – Schriftenr. dt. Ges. Geowiss., **65**: 7-58; Hannover.
- SCHWARZ, U. (2012): Das Schwäbisch-Fränkische Bruchmuster. – Z. dt. Ges. Geowiss., **163**(4): 411-446; Stuttgart.
- STREIM, W. (1961): Stratigraphie, Fazies und Lagerungsverhältnisse des Malms bei Dietfurt und Hemau (Südliche Frankenalb). – Erlanger Geol. Abh., **38**: 49 S.; Erlangen.