

Geol. Bl. NO-Bayern	55 (2005)	Heft 1-4	Seite 1-30	Erlangen Dezember 2005
------------------------	--------------	----------	------------	---------------------------

Geologische und hydrogeologische Erkenntnisse aus der Mühlbachquellhöhle (Südliche Frankenalb, Bayern)

Von **Stefan Glaser**
Mit 12 Abbildungen im Text

Zusammenfassung

Die vor kurzem entdeckte Mühlbachquellhöhle ist mit über 7 km Ganglänge die längste Höhle der Fränkischen Alb und die einzige Höhle der Region, die einen Zugang zum unterirdischen Karstentwässerungssystem ermöglicht. Die Höhle verläuft in gebankten Kalk- und Mergelgesteinen des oberen Oxford und des unteren Kimmeridge (Malm). Eine Vielzahl von WNW-OSO streichenden Kleinabschiebungen durchzieht hier das Gestein. Die Anlage der Höhlengänge folgt bevorzugt dem Mergelhorizont der Platynota-Zone und den tektonischen Strukturen.

In der Höhle ist ein unterirdisches Gewässernetz aufgeschlossen, in dem drei Hauptgewässer und mehrere Seitenzuflüsse ineinander einmünden. In ihrem Schüttungsverhalten und in ihren chemischen Eigenschaften unterscheiden sich die einzelnen Gewässer stark. Insbesondere fällt der extrem niedrige Nitratgehalt einzelner Seitenzuflüsse und Tropfstellen auf. Spuren von Extremhochwässern in der Höhle stehen in Zusammenhang mit dem temporären Rückstau von Niederschlags- und Schmelzwässern in großen Karstwannen auf der Hochfläche. Die Beobachtungen in der Höhle ermöglichen eine Präzisierung der Modellvorstellungen für den Grundwasserumsatz in der Region.

1 Einleitung

Der Eingang der Mühlbachquellhöhle liegt am östlichen Ortsrand von Mühlbach im unteren Altmühltal. Mühlbach ist ein Ortsteil der oberpfälzischen Stadt Dietfurt a.d. Altmühl. Das Gebiet wird dem Naturraum der Südlichen Frankenalb zugerechnet.

Anschrift des Verfassers: Dr. S. Glaser, Albrecht-Dürer-Str. 29, D-82152 Krailling

Der Ort Mühlbach liegt auf etwa 365 m ü. NN in einem kurzen Seitental 1 km nördlich der zum Main-Donau-Kanal umgestalteten Altmühl. Östlich des Ortes steigt das Gelände steil zur Hochfläche der Südlichen Frankenalb an. Deren Hangkante wird hier auf etwa 480 m ü. NN erreicht. Der Steilhang wird von zwei Karsttälern durchschnitten, die vom Ort aus auf die Hochfläche ziehen: in östlicher Richtung die flachere Langsteigholzschlucht und in ost-nordöstlicher Richtung die Mühlbachschlucht (Abb. 1). Kuppen der Hochfläche überragen 510 m ü. NN während große Karstmulden (Abb. 2) teilweise bis unter 470 m ü. NN eingesenkt sind.

Der Hangbereich und die Hochfläche über den bisher bekannten Höhlenteilen sind komplett bewaldet. Im weiteren Einzugsgebiet wird die Hochfläche jeweils etwa zur Hälfte landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzt. Hier liegen auch mehrere kleine Ortschaften.

Im Hochflächenbereich oberhalb der Höhle stehen vor allem dünnbankige Kalkgesteine mit Kieselplatten des Malm Epsilon (oberstes Kimmeridge) an (Streim 1961). Weiter nördlich und östlich finden sich auf der Hochfläche vor allem massive Dolomitgesteine des Malm Delta bis Zeta (Kimmeridge bis Thiton). Am Hang oberhalb von Mühlbach treten dicktafelbankige Dolomitgesteine des Malm Delta (Kimmeridge) in markanten Felsbildungen zu Tage (Meyer 1977). Die gebankten Kalk- und Mergelgesteine des Malm Gamma (unteres Kimmeridge) und die gebankten Kalksteine des Malm Beta (oberes Oxford), die im unteren Teil des Hanges und in Talnähe anstehen, sind fast vollständig durch Hangschutt verdeckt.

Tektonisch gesehen liegt Mühlbach in einem grabenartigen Bereich an der sogenannten Schwarzwald-Bayerwald-Linie (v. Freyberg 1969), einer bedeutenden Störungszone, die in West-Ost-Richtung quer durch Deutschland zu verfolgen ist. Entlang der Langsteigholzschlucht zieht laut den geologischen Karten von Streim (1961) und Meyer (1977) in West-Ost-Richtung die "Beilngrieser Verwerfung". Es grenzt hier Malm Beta an Malm Delta, was eine Anhebung der Südscholle um ca. 30 m impliziert. Etwa 1,2 km nördlich von Mühlbach verläuft die "Dietfurter Verwerfung", die in Richtung 110° streicht und an der laut Streim (1961) die südliche Scholle um etwa 15 m abgesunken ist.

Am östlichen Ortsrand von Mühlbach entspringen insgesamt drei Quellen. Die Mühlbachquelle (auch "Blautopf"), die die stärkste Quelle darstellt, findet sich etwa 20 m nördlich der Mündung der Mühlbachschlucht in das Haupttal. Hier entströmen einem künstlich angestauten Quellteich durchschnittlich knapp 300 l/s. Etwa 100 m südlich liegt am Dietrichweg eine Nebenquelle, die

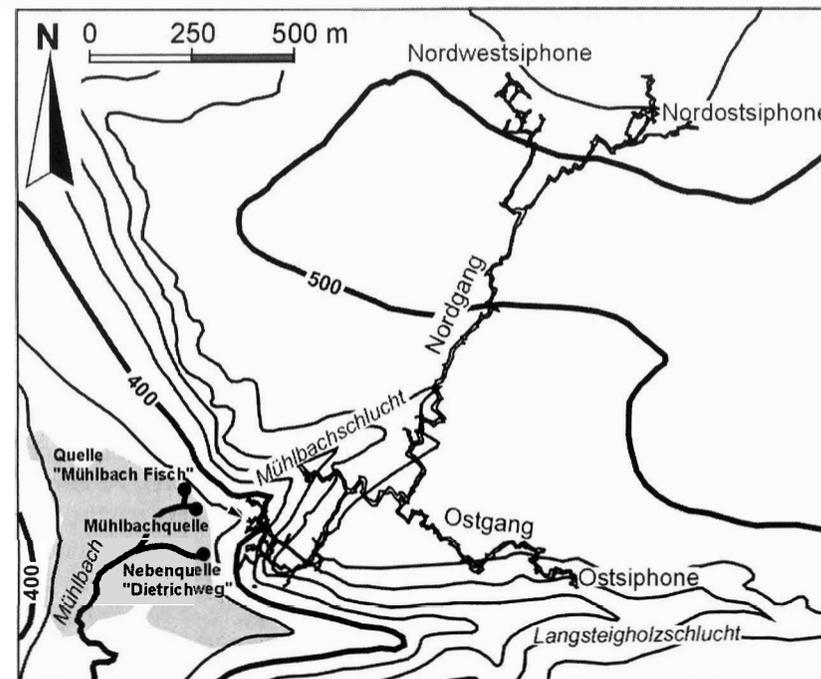


Abb. 1: Grundrissdarstellung der Höhle und des umgebenden Gebietes

etwa 10 l/s schüttet. Im Chemismus und Schüttungsverhalten gleicht diese Nebenquelle weitgehend der Hauptquelle. Eine weitere Quelle ("Mühlbach Fisch") mit maximal wenigen l/s Schüttung entspringt nur 45 m nordnordwestlich der Mühlbachquelle im Anwesen Paulus. Das hier austretende Wasser unterscheidet sich in allen Eigenschaften deutlich von den beiden anderen Quellen.

Zusätzlich findet sich am östlichen Ortsrand ein normalerweise trocken liegender Graben, der nach wenigen 10er Metern an einer steilen Quellnische ("Hungerbrunnen") knapp südlich der Mühlbachschlucht endet. Hier haben in historischer Zeit mindestens zwei mal enorme Hochwasserausbrüche stattgefunden.

Das bisher letzte derartige Ereignis trat im Februar 1909 ein (Hartmann 1914, Wellnhöfer 1952). Die Dolinen auf der verschneiten Hochfläche oberhalb von Mühlbach waren teilweise zugefroren. Eine etwa 40 cm mächtige Schneedecke wurde durch einen Starkniederschlag von etwa 100 mm inner-

halb weniger Tage aufgetaut. In den Trockentälern bildeten sich reißende Wildbäche (Abb. 10). In den abflusslosen Karstsenken stauten sich großflächige, bis mehrere Meter tiefe Seen an. Als die Dolinen am Grund der Seen auftauten, fanden mehrere Millionen Liter Wasser ihren unterirdischen Weg nach Mühlbach und brachen als reißender Wildbach am Hungerbrunnen zu Tage.

Angeregt durch die Berichte über das Hochwasser im Jahr 1909 interessierte sich eine Gruppe von Höhlenforschern für das Gebiet und schloss sich später zur Karstgruppe Mühlbach e.V. zusammen. Einem kalten Luftzug folgend, der im Bereich der Quellnische im Sommer dem Hangschutt entströmt, konnte die Karstgruppe Mühlbach in jahrelanger ehrenamtlicher Arbeit im Januar 2001 einen künstlichen Zugang in das erwartete Quellsystem schaffen (Karstgruppe Mühlbach 2002, Glaser et al. 2003). Diese Entdeckung und die darauf folgende speleologische Erforschung und Dokumentation der Mühlbachquellhöhle ermöglichen im Bereich der Fränkischen Alb erstmals eine direkte Untersuchung eines unterirdischen Karstentwässerungssystems.

2 Kurzbeschreibung der Höhle

Mit inzwischen über 7000 m Gesamtganglänge ist die Mühlbachquellhöhle derzeit mit Abstand die längste der etwa 3000 bekannten Höhlen der Fränkischen Alb. Besondere Bedeutung kommt der Mühlbachquellhöhle dadurch zu, dass sie in weiten Teilen von einem aktiven unterirdischen Flusssystem durchzogen wird. Es existieren nur relativ wenige trockene Seitengänge. In der Fränkischen Alb sind bisher nur zwei weitere Höhlen mit vergleichbaren unterirdischen Gewässern bekannt, die jedoch beide zur Zeit nicht für weitere Forschungen offen stehen: Die ICE-Schachtbachhöhle östlich von Grösdorf im Altmühltal (Hoffmann & Strobl 2001) und die Petrusquellhöhle bei Deising im Altmühltal (pers. Mitteilung M. Walter).

Im hangnahen Eingangsbereich fächert sich die Mühlbachquellhöhle gießkannenartig in verschiedene Gangteile auf: Der Bachlauf teilt und vereinigt sich hier mehrfach und passiert an mehreren Stellen siphonante Zonen. Mehrere bergauswärts führende Gangansätze enden ebenso wie der talwärtige Höhlenbach an Verstürzen in Hangnähe. Etwa 200 m Luftlinie vom Eingang entfernt erreicht man jedoch einen gewaltigen Gang von bis zu 8 m Durchmesser, in dem man dem unterirdischen Mühlbach bachaufwärts weiter in den Berg folgen kann.

In etwa 250 m Luftliniendistanz östlich des Eingangs zweigt vom Haupt-

gang in Richtung Nordwest ein nicht mehr vom Wasser durchflossener Nebengang ab, der nach etwa 200 m unter der Mühlbachschlucht an einem Versturz endet.

Das Gefälle im eingangsnahen Bereich des Hauptgangs ist relativ hoch und führt zur Ausbildung mehrerer kleiner Kaskaden. Nach insgesamt etwa einem Kilometer Wegstrecke liegt das Bachniveau 10 m über dem Niveau der Mühlbachquelle (Luftliniendistanz: 500 m). Hier spaltet sich die Höhle bergwärts in zwei Äste auf, die beide ein geringeres Gefälle aufweisen.

Der aus östlicher Richtung einmündende Gang bringt bei normalen Wetterbedingungen gut 90% des Wassers des Mühlbachs. In dem zunächst relativ engen, im weiteren Verlauf aber zunehmend geräumigen Ostgang erreicht man nach etwa einem weiteren Kilometer Gangstrecke eine ausgedehnte Siphonzone. Bislang wurden sieben Siphone von maximal 70 m Länge und 8 m Tiefe überwunden ("Ostsiphone").

Der aus nördlicher Richtung einmündende Höhlenast führt unter normalen Wetterbedingungen wesentlich weniger Wasser als der Ostgang, weist aber im Durchschnitt größere Raumprofile auf. Eine Ausnahme bildet hierbei lediglich die durch Sedimente fast völlig verschlossene Unterwasser-Engstelle des "Maulwurfsiphons". Nach Überwindung dieser Schlüsselstelle und etwa einem weiteren Kilometer Gangstrecke, vorbei an mehreren vertikal nach oben ziehenden Schloten und einigen kleinen seitlichen Quellen, folgt eine weitere Hauptverzweigung.

In zunächst westlicher, dann nördlicher Richtung zieht ein klammartiger Gang, aus dem normalerweise wenige Liter/Sekunde zufließen. Nach einigen 100 Metern verzweigt sich dieser Höhlenteil mehrfach. Die Hauptfortsetzung ist in einer Siphonkette zu sehen, von der bisher zwei temporäre und drei ständige Siphons mit bis zu 50 m Länge und 8 m Tiefe erkundet wurden ("Nordwestsiphone").

Die Hauptmenge des Wassers im Nordgang fließt entlang einem geräumigen Gang aus nordöstlicher Richtung zu. Nach etwa 400 m Gangstrecke wird auch hier eine Siphonzone erreicht; sechs Siphone mit bis 130 m Länge und 10 m Tiefe sind hier bereits durchtaucht ("Nordostsiphone", Karstgruppe Mühlbach 2004). Noch vor der Siphonzone mündet von Norden ein verzweigtes, teilweise engräumiges Gangsystem mit mehreren großen Hallen ein, das unter normalen Witterungsbedingungen nicht von aktiven Höhlengewässern durchflossen wird. Dieser Höhlenteil reicht ebenso wie die Nordwestsiphone an den Südrand der großen Karstsenke heran, in der sich 1909 kurzzeitig ein Schmelzwassersee aufgestaut hatte.

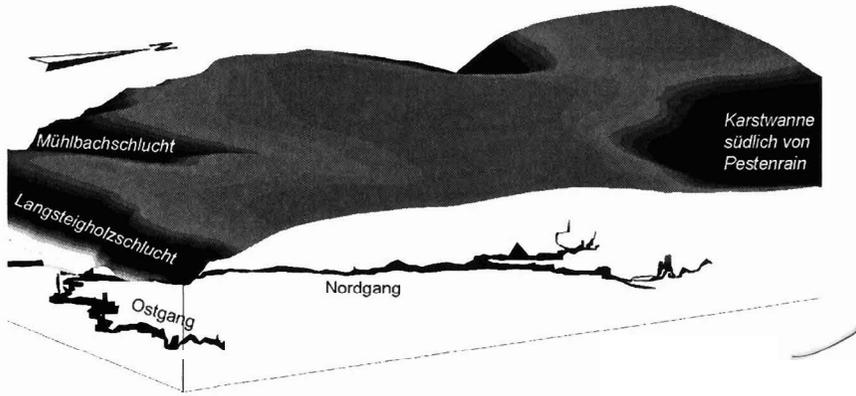


Abb. 2: Digitales Raummodell der Höhle und des überlagernden Geländes, erstellt von der Karstgruppe Mühlabach e.V.

3 Geologie im Bereich der Höhle

Die Mühlabachquellhöhle mit ihren meist gut zugänglichen und nur selten von jüngeren Sedimenten verdeckten Raumbegrenzungen bildet einen riesigen geologischen Aufschluss, der in optimaler Weise zahllose geologische Beobachtungen ermöglicht. Als Grundlage für alle zukünftige Untersuchungen wird hier vor allem auf die stratigraphische und tektonische Situation sowie auf deren Beziehungen zur Raumentwicklung der Höhle eingegangen.

Die günstige Aufschlusssituation in der Höhle ermöglicht in optimaler Weise eine Bank-für-Bank Kartierung nach der durch v. Freyberg (1939) in der Fränkischen Alb eingeführten Methode. Als optimales Referenzprofil erwies sich aufgrund seiner ungewöhnlichen Länge jenes aus dem Steinbruch Leibrecht am Arzberg (Streim 1960, Schmidt-Kaler 1983), der etwa 6 km westlich von Mühlabach liegt.

Die Kartierung hat ergeben, dass beinahe alle bisher bekannten Höhlenteile in gebankten Kalk- und Mergelgesteinen des oberen Malm Beta und des unteren Malm Gamma verlaufen (Abb. 3). Nur Schlote reichen häufig bis in den obersten Malm Gamma (bis über die Crussoliensis-Mergel), in kaum zugänglichen Deckenbereichen wohl auch bis in den unteren Malm Delta. Als ältestes in der Höhle über Wasser aufgeschlossenes Gestein findet sich im

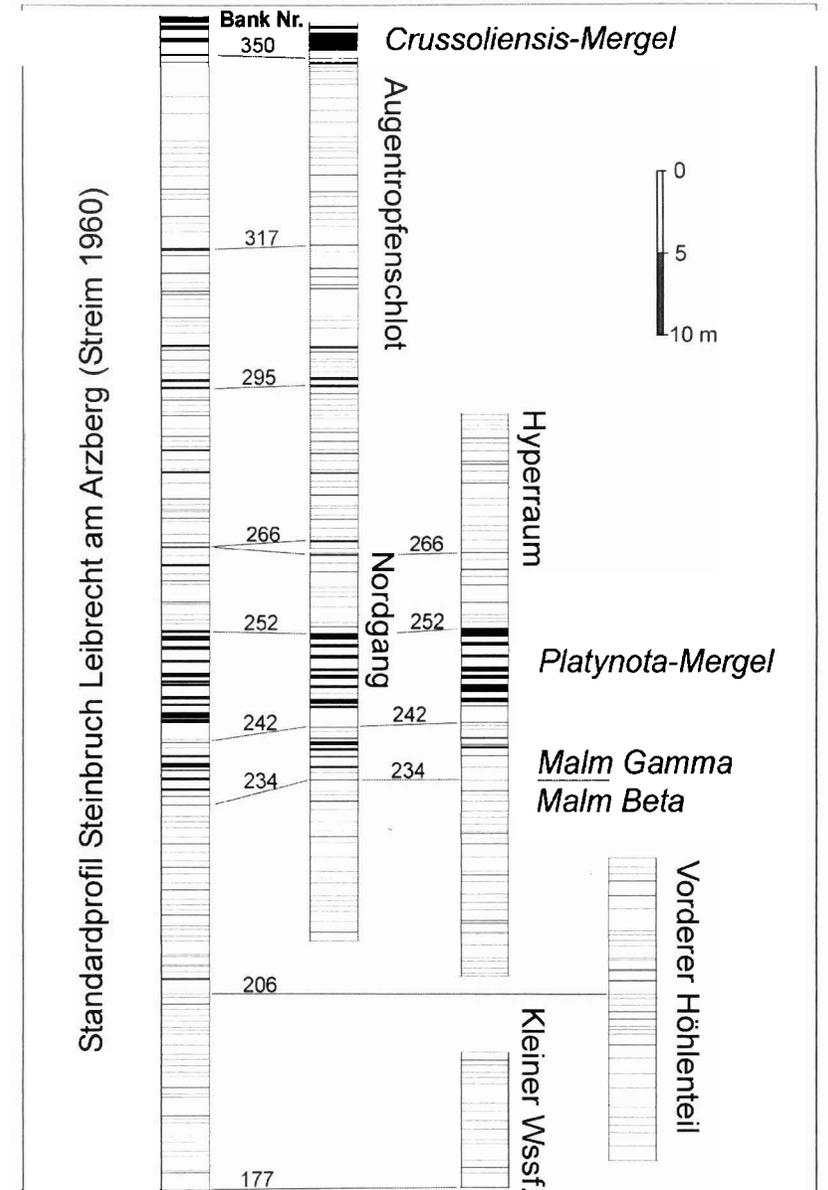


Abb. 3: Profilsäulen aus dem Steinbruch Leibrecht am Arzberg und aus verschiedenen Teilen der Mühlabachquellhöhle

eingangsnahen Höhlenbereich die Bank 177 im Werkkalk (Malm Beta). Ein Übergang zu massigen Gesteinen ist bisher nur in einem kleinen eingangsnahen Raum sowie in einem Schlotbereich bekannt.

Bei einer detaillierten Betrachtung der Raumentwicklung der Höhle relativ zum Umgebungsgestein fallen markante Zusammenhänge auf. Auf weite Strecken bewegt sich der Forscher in den Horizontalteilen der Höhle in etwa entlang der Grenzfläche Malm Beta – Malm Gamma (Oxford – Kimmeridge). An den Höhlenwänden ist dann der Bereich der Platynota-Mergel zu erkennen. Die Decke der überwiegend kastenförmigen Raumprofile wird sehr häufig von der ersten Kalkbank oberhalb der Platynota-Mergel (Bank 252) gebildet.

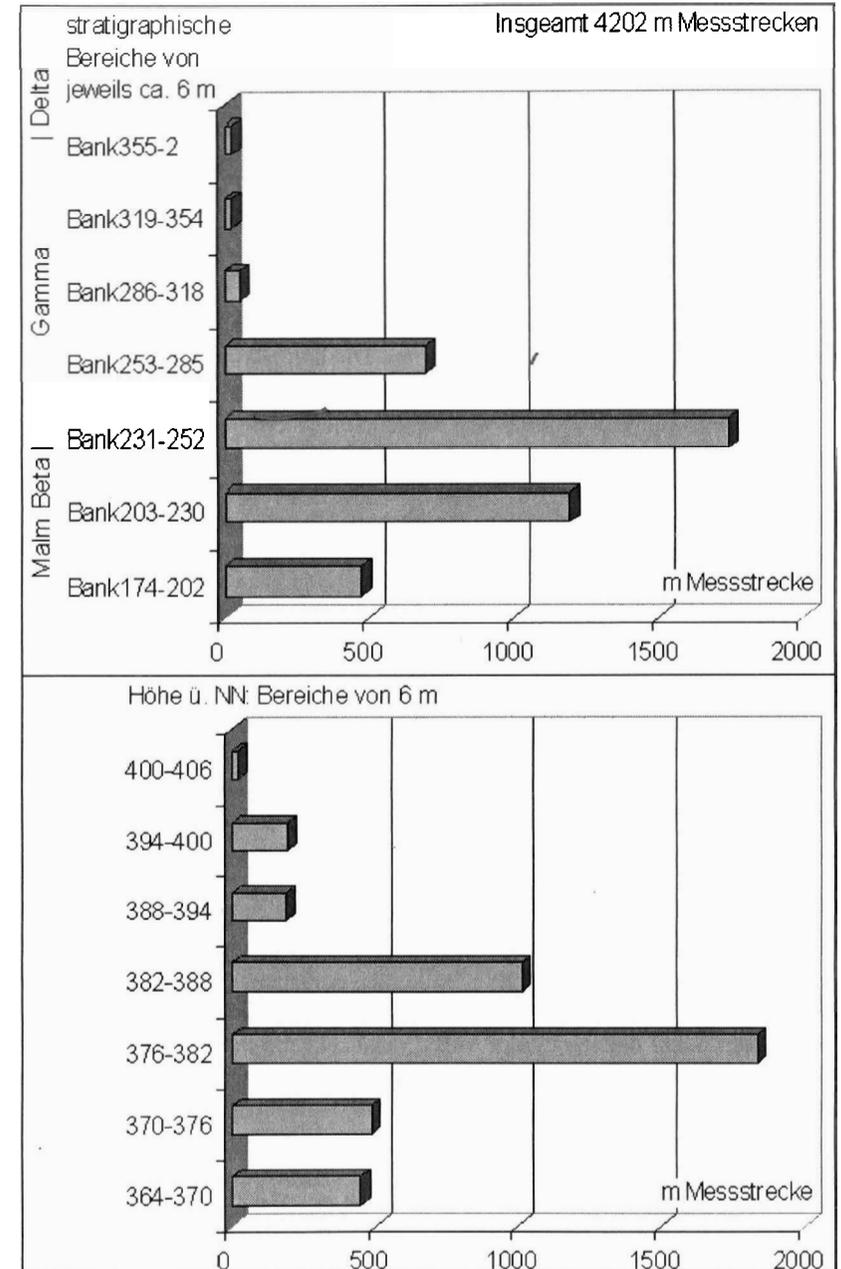
Es fällt weiterhin auf, dass die Raumhöhe meist mit der Höhe der Bank 252 über dem Wasserspiegel korreliert. Nicht nur niedrige Räume haben oft diese Gesteinsbank als Decke. Dort, wo die Bank 252 hoch über dem Wasserspiegel ansteht, haben sich oft entsprechend hohe Räume gebildet. Siphonante Zonen finden sich vor allem in Bereichen, in denen die Platynota-Mergel unter den Wasserspiegel abtauchen.

Auch der Polygonzug, der zur Vermessung der Höhle erstellt wurde, wurde im Hinblick auf den scheinbaren Zusammenhang von Raumentwicklung und Stratigraphie ausgewertet. Für 342 Messpunkte, die insgesamt über 4200 m Höhlengänge repräsentieren, wurde jeweils die exakte stratigraphische Position bestimmt. Bei der Auswertung ergibt sich, dass die Messpunkte im Mittel wenige Zentimeter unterhalb der Grenzfläche Malm Beta – Malm Gamma liegen (Standardabweichung: 5 m). Interessant ist nun die Frage, ob sich die Höhenlage der Gänge eher am Vorflutniveau oder an stratigraphischen Gegebenheiten orientiert. Die Auswertung des Polygonzuges lässt hier leider noch keine abschließende Aussage zu (Abb. 4).

Die Raumformen zeigen aber, dass die Platynota-Mergel bei der Hohlraumgenese der Mühlbachquellhöhle offenbar eine wesentliche Rolle spielen. Möglicherweise entfalten die Mergellagen im Primärstadium der Höhlenbildung gegenüber den klüftigen Kalksteinen eine gewisse wasserstauende Wirkung, wodurch sich die Primärhohlräume bevorzugt oberhalb der Mergellagen entwickeln. Denkbar ist während dieses Stadiums auch ein Einfluss der chemischen Zusammensetzung der Mergel auf das Lösungspotential des Grundwassers. So könnte beispielsweise der Pyritgehalt der Mergel oxidiert werden. Die entstehende Schwefelsäure bewirkt dann die Umwandlung von

>>>>>

Abb. 4: Verteilung der Gangstrecken auf jeweils etwa 6 m mächtige Teilbereiche der Gesteinsfolgen und Verteilung der Gangstrecken auf 6 m Höhenintervalle über NN



Kalkstein in gut wasserlöslichen Gips, wie er in Form von Ausblühungen an einer Mergellage in der Mühlbachquellhöhle tatsächlich beobachtet wurde. Weiterhin begünstigt der vergleichsweise hohe Phosphatgehalt in den Mergellagen die Ansiedlung von Mikroorganismen, deren Stoffwechselprodukte die Verkarstung weiter begünstigen können. Schwarze Biofilme finden sich in der Mühlbachquellhöhle nicht nur auf Geröllen im Bachbett, sondern auch auf aus Kalkstein herausgewitterten Fossilien und auf Mergellagen.

Sobald sich eine durchgehende Primärröhre herausgebildet hat und – wie im Fall der Mühlbachquellhöhle – eine ausreichende Menge Wasser zur Verfügung steht, begünstigen die brüchigen Mergellagen eine erosive Erweiterung und Eintiefung des Höhlengerinnes. Die kompakteren Kalksteinlagen oberhalb der Platynota-Mergel bilden das stabile Höhlendach.

Die Feststellung, dass sich die ausgedehnten Gangsysteme der Mühlbachquellhöhle beinahe ausschließlich in gebankten Kalk- und Mergelgesteinen entwickelt haben, ist insofern überraschend, dass bei weitem der größte Teil der etwa 3000 bekannten Höhlen der Fränkischen Alb in massigen Dolomit- und Kalkgesteinen liegen. Das scheinbare Fehlen von Höhlen in gebankten Kalken der Fränkischen Alb wurde von manchen Forschern in der Vergangenheit dahingehend interpretiert, dass eine nennenswerte Verkarstung in diesen Gesteinen nicht stattfinden könne, da sie nicht die nötige Standfestigkeit aufwiesen.

Tatsächlich sind Felsbildungen – und damit auch natürliche Höhleneingänge – in gebankten Kalk-Mergelgesteins-Abfolgen der Fränkischen Alb sehr selten. Gebankte Gesteine werden in Hangbereichen durch die Verwitterung entlang der Klüftung stark aufgelockert, wodurch sich das Schichtfallen allmählich immer mehr der Hangneigung anpasst (“Hakenschlagen”). In Verbindung mit Ansammlungen von Hangschutt und wohl auch mit eiszeitlichen Vorgängen wie Frostsprengung und Fließerdebildung erfolgte in gebankten Gesteinen eine Plombierung nahezu aller Höhlen-Eingangsbereiche.

Auch die Mühlbachquellhöhle hat keinen natürlichen Eingang. Alle von innen her in Richtung Hang führenden Gänge sind durch Versturzmateriale, Hangschutt oder Lehm blockiert. Auffällig ist auch die starke Verästelung der Höhle im hangnahen Bereich. Scheinbar haben Hangbewegungen mehrfach ehemalige Quellaustritte blockiert und den Höhlenbach dazu gezwungen, sich neue Wege zu schaffen. Mehrere Diffluenzen und Konfluenzen des Höhlenbachs im hangnahen Bereich sind das Ergebnis dieser Vorgänge.

Im Gegensatz zur Malm-Schichtfazies bleiben Höhlen und Höhleneingänge in den sehr standfesten Gesteinen der Malm-Massenfazies auch an

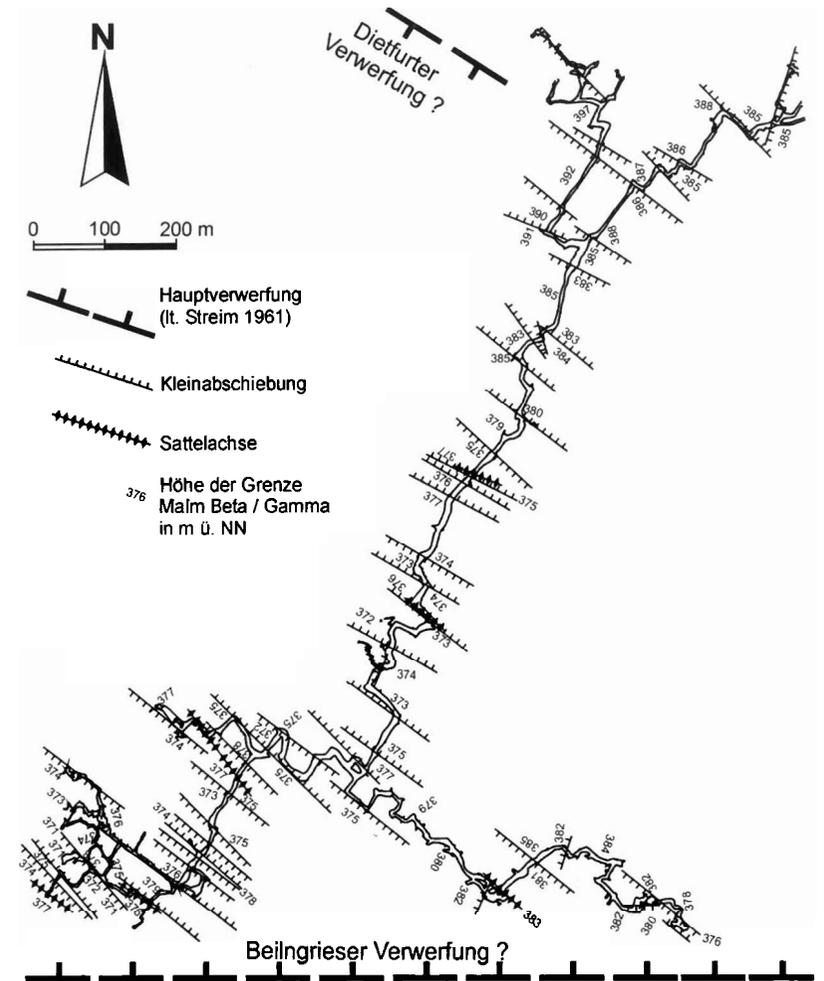


Abb. 5: Tektonische Karte der Mühlbachquellhöhle

steilen Hängen stabil. Mehr noch: ältere (keide-, tertiär- oder pleistozänzeitliche) Sedimente, die einen Großteil der Höhlen der Fränkischen Alb erfüllen, werden hier im oberflächennahen Bereich wieder aus den Höhlen heraus erodiert. Dieser Vorgang erklärt die große Zahl von relativ geräumigen Höhlen und Höhlenruinen in den Felshängen der Fränkischen Alb, die bergwärts meist nach kurzer Strecke an mächtigen Höhlensedimenten enden.

Neben der Schichtlagerung lassen sich auch die tektonischen Strukturen in der Mühlbachquellhöhle besonders gut dokumentieren. Trotz der Nähe der West-Ost verlaufenden Schwarzwald-Bayerwald-Linie, an der das unmittelbar südlich der Höhle verlaufende Trockental der Langsteigholzschlucht angelegt ist, dominieren in der Höhle Kleinabschiebungen, die um 125° streichen.

Bislang wurden in der Mühlbachquellhöhle 55 Kleinabschiebungen mit vertikalen Versatzbeträgen zwischen 0,1 und 6 m dokumentiert (Abb. 5). Von diesen streichen 49 in Richtungen zwischen 115° und 140° und fallen durchschnittlich 60° ein (Werte zwischen 35° - 85°). Die 28 in Richtung SSW einfallenden Abschiebungen weisen einen durchschnittlichen Vertikalversatz von 2,0 m auf. In entgegengesetzter Richtung fallen 21 Störungen mit einem durchschnittlichen Vertikalversatz von 1,4 m ein. In vielen Fällen wurde beobachtet, dass sich die Höhe des Versatzes entlang des Streichens der Störung ändert oder diese ganz verschwindet.

Andere Richtungen von Kleinabschiebungen treten nur sehr untergeordnet auf: vier fallen in Richtung Westen, eine in Richtung Osten und eine in Richtung Süden ein. Die vertikalen Versatzbeträge liegen in allen diesen Fällen unter 0,3 m. Nur eine einzige Überschiebung mit einem Versatzbetrag von 0,20 m und einem Einfallen Richtung NNE wurde bisher festgestellt.

In ihrer Gesamtheit gliedern die Kleinabschiebungen das gesamte Gesteinspaket im Bereich der Höhle in eine kleinräumige Abfolge von WNW-OSO-streichenden Horsten, Gräben und Staffelbrüchen. Der Abstand zwischen zwei Kleinabschiebungen (senkrecht zu deren Streichrichtung) beträgt nirgends mehr als 90 m, im Durchschnitt sogar nur 44 m.

Neben den Kleinabschiebungen fallen an 7 Orten in der Höhle faltenartige Schichtverbiegungen auf (Abb. 6). Es handelt sich zumeist um sattelförmige Aufwölbungen von maximal 3 m Höhe und einer Wellenlänge zwischen 2 und 15 m, die teilweise eine leichte Vergenz in Richtung Südsüdwest aufweisen.

Die Schichtverbiegungen dokumentieren lokale Kompressionsbereiche in einem überwiegend durch Extension (Abschiebungen!) geprägten Bereich. Obwohl nicht alle Faltenstrukturen direkt an Abschiebungen grenzen, lassen sie sich möglicherweise von der Genese her mit antithetischen Flexuren vergleichen. Die lokalen Einengungseffekte wären demnach auf listrische (also nach unten hin flacher werdende) Abschiebungsflächen oder auf Stauchungen zwischen verschieden steil geneigten Abschiebungen zurückzuführen. Möglich ist aber auch, dass kurzfristig ein Kompressionsregime vorherrschte. Eine generelle Einengung aus Richtung Nordost würde auch die

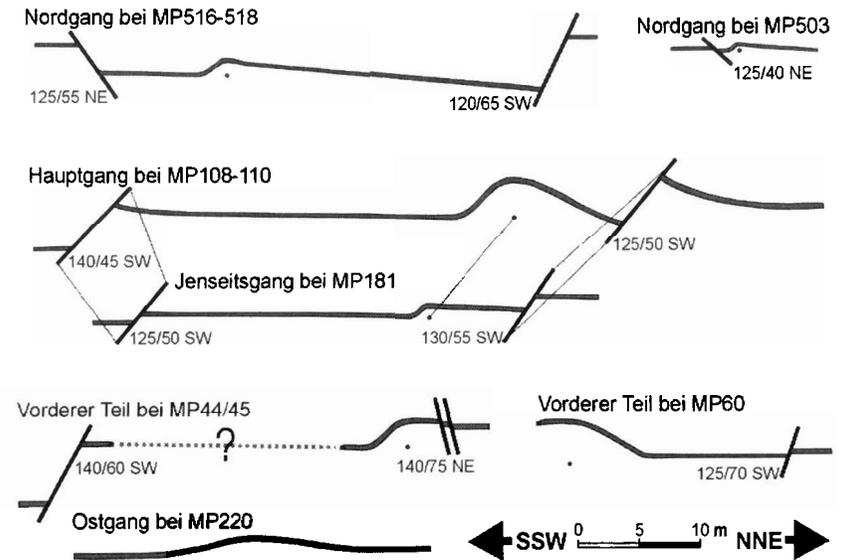


Abb. 6: Nicht überhöhte Skizzen der Faltenstrukturen in der Mühlbachquellhöhle

Vergenz der Falten erklären. Einen mehrfachen Wechsel zwischen Kompression und Dehnung während des Tertiärs nehmen Bergerat & Geysant (1983) für die Frankenalb an.

Legt man einen idealisierten SSW-NNO-Schnitt von 1400 m Länge durch den Bereich der Höhle, so durchquert dieser insgesamt 14 nach SSW einfallende Abschiebungen (Summe der Vertikalkomponenten: 33,60 m), 18 nach NNE einfallende Abschiebungen (Summe der Vertikalkomponenten: 23,50 m) und 4 Faltenstrukturen (Summe der Einengungsbeträge: 4,50 m). Aus den Abschiebungen ergibt sich eine Extensionskomponente von insgesamt 35,60 m. Abzüglich der Einengung an den Falten folgt somit für den Bereich der Höhle eine Gesamtextension in SSW-NNO-Richtung von gut 2%.

Die Dominanz von Kleinabschiebungen mit "herzynischen" Streichrichtungen wurde auch bei der Oberflächenkartierung durch Steim (1961) festgestellt. Eine mit dem Höhlenbereich vergleichbare Bilanzierung des Dehnungsbetrags war allerdings aufgrund der mangelhaften Aufschlussverhältnisse nicht möglich. Auf den beiden Kartenblättern Dietfurt und Hemau wurden insgesamt nur 47 Kleinverwerfungen festgestellt. In der Höhle schwer

zu erkennen ist dagegen der Einfluss der großen, zur Schwarzwald-Bayerwald-Linie gehörenden Hauptstörungen der Beilngrieser und Dietfurter Verwerfungen, die bei der Oberflächenkartierung erkannt wurden.

Knapp südlich der Höhle verläuft entlang der Langsteigholzschlucht in West-Ost-Richtung die "Beilngrieser Verwerfung", an der die Nordscholle (in der die Höhle liegt) um etwa 30 m abgesenkt ist. Der südlichste Teil des Ostgangs der Höhle reicht bis auf etwa 40 m an diese Störung heran. Die südliche Raumbegrenzung in dieser Halle wird von einer möglicherweise tektonischen Brekzie gebildet, deren kantige Kalksteinkomponenten durch rötlich gefärbte Kalzitadern zusammengehalten werden. Dies ist bislang der einzige Ort in der Höhle an dem ein direkter Einfluss der Beilngrieser Verwerfung gegeben erscheint.

Die etwa 110° streichende Dietfurter Verwerfung mit einem Vertikalversatz von 15 m wurde von Steim (1961) etwa 1200 m nördlich von Mühlbach lokalisiert. Falls sich die Störung geradlinig nach OSO fortsetzt, müsste sie auch den Nordteil der Mühlbachquellhöhle durchziehen. Tatsächlich finden sich im fraglichen Bereich zwei Kleinabschiebungen, die jedoch zusammen weniger als 5 m Vertikalversatz aufweisen. Entweder läuft die Dietfurter Verwerfung hier aus oder sie schwenkt nördlich der Höhle auf Ost-West-Richtung ein.

Vertikale Kleinklüfte ohne Versatz sind in der Höhle häufig durch nischenartige Raumerweiterungen gekennzeichnet. Sie wurden bisher nicht systematisch erfasst, relativ häufig sind allerdings Richtungen um 40° (etwa senkrecht zu den Kleinabschiebungen). Vor allem im Nordteil der Höhle sind zahlreiche Gänge an solchen Klüften angelegt. Erwähnenswert sind Klüfte mit Kalzitfüllungen bis 10 cm Breite, die vereinzelt beobachtet wurden. Sie zeigen Streichrichtungen von 80°, 95° und 110°. Zumindest in einem Fall ist eine solche kalzitgefüllte Kluft durch eine 130° streichende Kleinabschiebung versetzt worden.

Insgesamt zeigen die Gangrichtungen in der Mühlbachquellhöhle eine starke Bindung an die tektonischen Strukturen. Die Mehrzahl der Gänge hat sich entweder parallel oder senkrecht zur dominanten Richtung der Kleinabschiebungen entwickelt (Abb. 7). Möglich erscheint zusätzlich ein indirekter Einfluss der Beilngrieser Störung auf die Raumentwicklung: Obwohl nur wenige Gangteile in Ost-West-Richtung verlaufen, legt doch der Ostbach und der daraus hervorgehende Hauptbach eine Entfernung von 1250 m etwa parallel zur Beilngrieser Verwerfung zurück – quasi um eine unsichtbare Hilfslinie pendelnd.

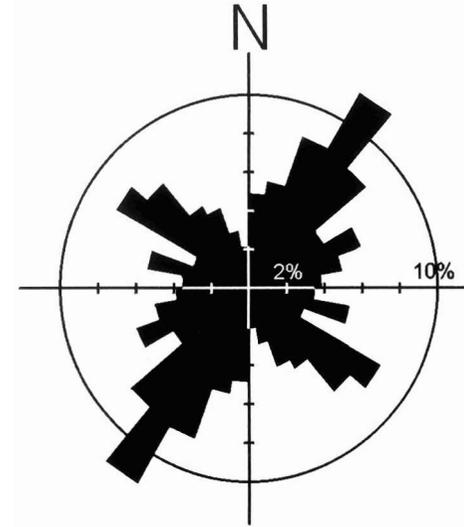


Abb. 7: Die Länge der Gangstrecken der Mühlbachquellhöhle in unterschiedlichen Richtungen spiegelt die tektonischen Strukturen des Gebietes wieder.

Die in der Höhle festgestellten Kleinabschiebungen passen sich gut in den überregionalen tektonischen Bauplan ein. WNW-OSO verlaufende Abschiebungen finden sich in Süddeutschland weit verbreitet. Als prominentes Beispiel seien die Abbrüche um das Landshut-Neuöttinger Hoch genannt. An diesen Störungszonen fanden seit dem Perm bis ins Tertiär mehrfach Bewegungen statt. Die Mühlbachquellhöhle ist in ihrer heutigen Ausprägung erst nach der Anlage der Störungen entstanden, da sich ihre Gänge an den Störungen orientieren, aber nicht von diesen versetzt werden.

4 Hydrogeologie im Bereich der Höhle

Eine besonders große Bedeutung kommt der Mühlbachquellhöhle im Hinblick auf die einzigartigen Möglichkeiten zu, die sie zur Erforschung des Karstgrundwassers bietet. Zum ersten Mal kann hier in der Fränkischen Alb ein unterirdisches Gewässernetz direkt beobachtet und differenziert beprobt werden.

Die Mühlbachquelle und die Nebenquelle am Dietrichweg werden beide aus dem selben Höhlengewässer gespeist. Sie gleichen sich daher in ihrem Schüttungsverhalten und Chemismus weitgehend, wobei Schwankungen an der Hauptquelle gegenüber der Nebenquelle mit einer zeitlichen Verzögerung

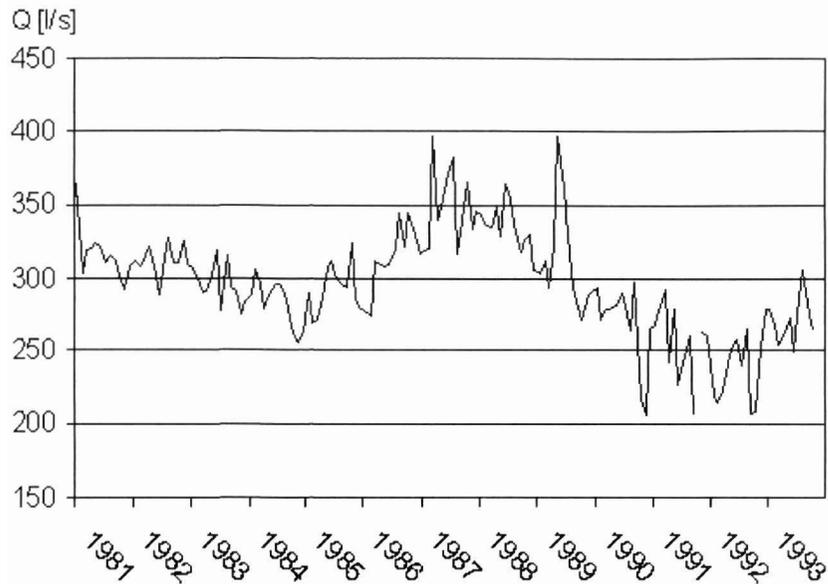


Abb. 8: Schüttungsverlauf des Mühlbachs in den Jahren 1981 bis 1993 (Monatsmittelwerte) nach Daten des Bayerischen Landesamts für Wasserwirtschaft.

von einer halben Stunde feststellbar sind. Insgesamt entspringen in Mühlbach im langjährigen Durchschnitt knapp 300 l/s (Glaser 1997). Auf starke Niederschläge reagiert die Quelle mit Eintrübung und stark erhöhter Schüttung, die Schüttungsschwankungen sind für eine Karstquelle allerdings vergleichsweise sehr gering ($MHQ/MNQ=2$). Ein Jahresgang ist weder bei der Schüttung, noch bei den Inhaltsstoffen zu beobachten. Allerdings zeigt der Schüttungsgang langjährige Schwankungen, die als verzögerte und stark gedämpfte Reaktion auf niederschlagsreiche oder -arme Jahre aufzufassen sind (Abb. 8).

Die kleine Nebenquelle im Anwesen Paulus ("Mühlbach Fisch") hat nach bisherigem Kenntnisstand keinerlei Verbindung mit der Mühlbachquellhöhle. Sie wurde noch nicht trübe laufend beobachtet und zeigte auch nach Markierungsversuchen keine Tracerspuren, während die benachbarten Quellen deutliche Tracergerhalte aufwiesen. Der Chemismus dieser Quelle ist sehr konstant und unterscheidet sich deutlich von jenem der Hauptquelle. Die um 0,5°C höhere Durchschnittstemperatur weist auf ein aufsteigendes Grundwasser hin.

Als großer Sammelstrang ("Collecteur") bildet der Hauptbach der Mühlbachquellhöhle den unterirdischen Vorfluter für das Karstgrundwasser in

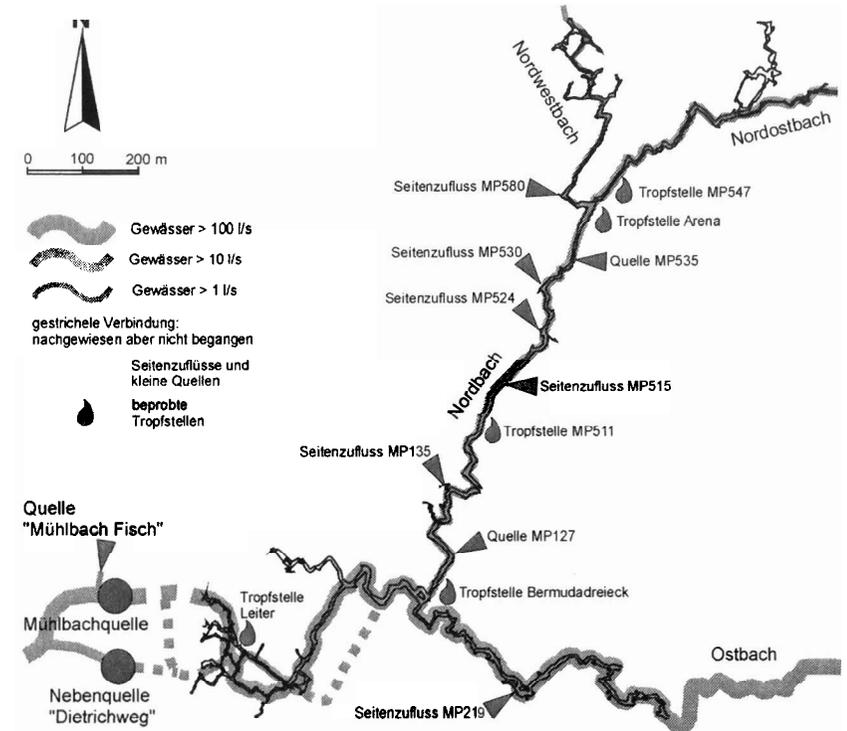


Abb. 9: Skizze zum Verlauf der Haupt- und Nebengewässer der Mühlbachquellhöhle

seinem Einzugsgebiet (Abb. 9). Allerdings tritt das Wasser nicht gesammelt an einer Quelle zu Tage. Unterhalb der Zusammenmündung der Hauptzubringer Ostbach und Nordbach weist die Höhle wohl aufgrund junger Taleintiefungsphasen ein starkes Gefälle auf. Dieses bewirkte in Kombination mit der oben beschriebenen Verschüttung von Quellaustritten am Hang eine starke Verästelung der Höhle und auch des Höhlenbaches im eingangsnahen Bereich. Schon bei normalen Abflussbedingungen tritt das Höhlengewässer an zwei Quellen zu Tage. Hochwasserspuren in der Höhle belegen, dass bei Extremabflüssen (wie z.B. 1909) mehrere weitere verborgene Quellaustritte an den Hängen über dem Ort Mühlbach aktiviert werden. Der Hungerbrunnen, in dem heute der Eingang zur Höhle liegt, ist der größte dieser Hochwasseraustritte.

Der Ostbach trägt normalerweise etwa 90-95% zur Gesamtschüttung des

Mühlbachs bei. Seine Reaktion auf Niederschlagsereignisse ist vergleichsweise schwach, die Schüttung schwankt eher langfristig. Sieht man von Tropfwässern und einem winzigen Seitenzufluss bei MP219 ab ($< 0,1$ l/s), setzt sich der Ostbach ohne jegliche Verzweigung oder Einmündung bis an das bisher bekannte Höhlenende fort.

Der Nordbach reagiert dagegen relativ schnell und heftig auf Niederschläge. Er verzweigt sich im weiteren Verlauf der Höhle und nimmt eine Anzahl an kleineren Seitenzuflüssen (Abb. 9) auf.

Den größten Anteil an der stark schwankenden Schüttung des Nordbachs hat der Nordostbach mit meistens wenigen 10er l/s. Seine relativ hohen Chlorid- und Nitratgehalte weisen auf ein Einzugsgebiet mit überwiegend landwirtschaftlich genutzten Flächen hin. Der Nordwestbach liefert eine ebenfalls stark schwankende Schüttung von normalerweise wenigen l/s. Seine Inhaltsstoffe deuten eher auf ein Waldeinzugsgebiet hin.

Insgesamt sieben kleinere Seitengerinne mit maximal 3 l/s Schüttung wurden in der Höhle bisher lokalisiert. An diesen sind im Gegensatz zu den Hauptgerinnen keine oder nur kurze Höhlengänge angelegt. Das Schüttungsverhalten und die chemischen Inhaltsstoffe an den einzelnen Nebengerinnen ist sehr unterschiedlich. Eine kleine Quelle weist beispielsweise durch höhere Temperatur und Konstanz auf aufsteigendes Wasser hin, während ein anderes Seitengerinne durch korrosives Verhalten auffällt.

Neben den Haupt und Nebengerinnen erhält die Höhle einen nicht exakt zu ermittelnden Zufluss aus zahlreichen Tropfstellen. Interessant ist die Feststellung, dass nahezu alle größeren Tropfstellen in direktem räumlichem Zusammenhang mit Kleinabschiebungen stehen. Bei einigen beprobten Tropfstellen fällt der geringe Chloridgehalt und das teilweise fehlende Nitrat auf. Das Wasser der Tropfstellen stammt von Sickerwässern aus dem Waldeinzugsgebiet über der Höhle ab. Insofern sind die niedrigen Chloridgehalte nicht überraschend. Auch in Sickerwässern unter Waldböden sind jedoch normalerweise einige mg/l Nitrat zu erwarten. Beachtlich ist daher das teilweise Fehlen von Nitrat in den Tropfwässern. Es weist möglicherweise auf Denitrifizierungsprozesse hin, die auf dem Weg zwischen dem Waldboden und der Höhlendecke stattfinden.

Ein mikrobieller Nitratabbau im Karstgrundwasser der Frankenalb wird bereits seit einigen Jahren diskutiert (Seiler et al. 1996, Müller et al. 1996). Unklar ist aber bislang, in welchem Teil des Aquifers die nötigen Bedingungen für eine Denitrifikation gegeben sind: Besiedelung durch geeignete Mikroorganismen, anaerobe Verhältnisse und ausreichend lange Verweilzeiten. Es ist

überraschend, dass diese Bedingungen ausgerechnet oberhalb der Höhle gegeben sein sollen, wo man zunächst einen wasserungesättigten Bereich erwartet. Allerdings gaben bereits Pegelstände im Umfeld der ICE-Schachtbachtöhle einen deutlichen Hinweis darauf, dass in der Südlichen Frankenalb die Gesteinsporen auch weit oberhalb von luftgefüllten Höhlen wassergesättigt sein können (Glaser 2002). Als Siedlungsraum für die Mikroorganismen und Zwischenspeicher für das Grundwasser steht das Porenvolumen in den massigen Dolomitgesteinen des Malm Delta zur Verfügung, die oberhalb der Höhle lagern. Michel (1999) bestimmte die durchschnittliche Nutzporosität in diesen Gesteinen mit 7% bei gleichzeitig extrem niedrigen Permeabilitäten. Tritium-Messreihen belegen hohe mittlere Verweilzeiten des Grundwassers auch in Bereichen, in denen massiger Malm Delta oberhalb des regionalen Grundwasserspiegels ansteht (Glaser 1997). Offenbar wird das Wasser in den Poren des massigen Malm Delta relativ lange zwischengespeichert, bis entlang der stärker wasserwegigen Kleinabschiebungen letztlich die Drainage in die tieferen Teile des Aquifers erfolgt.

Aufgrund der klimatischen Wasserbilanz ist im Einzugsgebiet der Quelle Mühlbach mit einer durchschnittlichen Grundwasserneubildung von 265 mm pro Jahr (entsprechend $8,4$ l/(s*km²)) zu rechnen (Glaser 1997). Die derzeit bekannten Teile der Mühlbachquellhöhle erstrecken sich unter einer rechteckigen Fläche von etwa $1,5$ km². Demnach müssten der Höhle durchschnittlich etwa $12,6$ l/s aus der lokalen Grundwasserneubildung zufließen. Die kleinen Seitengerinne, die ihre Einzugsgebiete wohl im Nahbereich der Höhle haben, bringen insgesamt knapp 5 l/s. Die restlichen ca. 8 l/s müssten demnach auf Tropfstellen oder auf nicht erkannte Zuflüsse entfallen, die z.B. von unten direkt in ein Hauptgerinne einmünden.

Die Gesamtschüttung des Mühlbachs von knapp 300 l/s erfordert ein Einzugsgebiet von insgesamt ca. 35 km². Nach bisherigen Erkenntnissen dürfte es sich in nordöstlicher Richtung bis in den Raum Eichelberg und Neukirchen erstrecken (Abb. 10). Erfolgreiche Markierungsversuche sind jedoch nur aus dem Raum Eutenhofen und Gundelshofen dokumentiert. Die Tracer legten die über 3 km Entfernung von den Eingabestellen bis zur Quelle in Mühlbach mit vergleichsweise langsamen Geschwindigkeiten von durchschnittlich einigen hundert Metern pro Tag zurück (Glaser 1997). Auffällig waren die hohen Wiedererhaltsraten von durchwegs über 80%.

Da die Höhle zum Zeitpunkt der Durchführung der Versuche noch nicht bekannt war, liegen keine Beobachtungen vor, auf welchem Weg die Tracer zur Quelle gelangten. Naheliegender ist die Vermutung, dass sie von Eutenhofen und

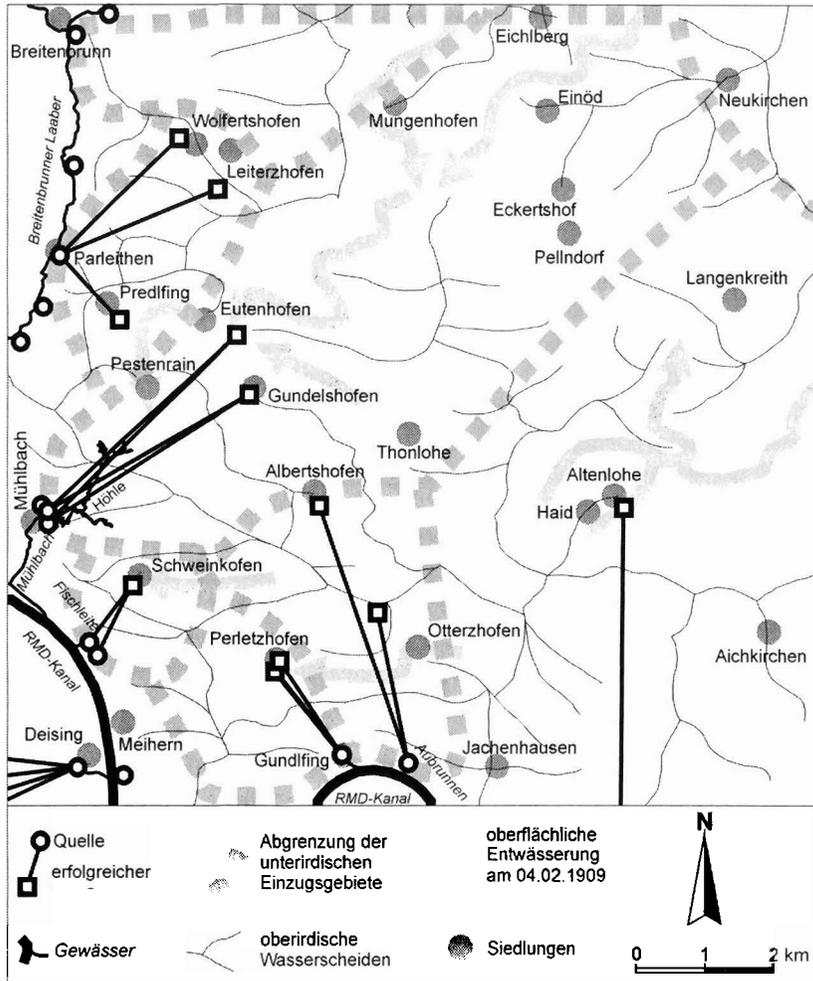


Abb. 10: Markierungsversuche, vermutete Grenzen der unterirdischen Einzugsgebiete und oberirdische Wasserscheiden im Gebiet nordöstlich von Mühlabach

Gundelshofen über den Nordostgang in die Höhle eintraten. Der Nordwestgang entwässert wohl im wesentlichen das Waldgebiet südwestlich von Pestenrain während der Ostbach den weiten Weg aus dem nordöstlichen Teil des Einzugsgebiets zurücklegt.

Für Grundwassermarkierungsversuche kann üblicherweise nicht die wahre Fließstrecke ermittelt werden, weshalb man die "Luftlinienentfernung" als Berechnungsgrundlage für die Fließgeschwindigkeit verwendet. Die Mühlabachquellhöhle ermöglicht es nun erstmals in der Fränkischen Alb, die Luftlinienentfernung mit der wahren Fließstrecke zu vergleichen. Vom ersten Ostsiphon bis zur Mühlabachquelle beträgt die Luftlinienentfernung 960 m während das Wasser 1760 m durch die Höhlengänge zurücklegen muss. Für die Strecke vom Nordostsiphon bis zur Mühlabachquelle betragen die Werte 1370 und 2320 m. Der wahre Fließweg ist also in der Mühlabachquellhöhle 1,6 bis 1,9 mal länger als die Luftlinienentfernung.

Der selbe Faktor findet sich natürlich auch beim Gefälle. Während das Gefälle in Luftlinie vom Ostsiphon zur Mühlabachquelle 17,7‰ und vom Nordostsiphon zur Mühlabachquelle 14,6‰ beträgt, liegt das wahre Gefälle des Baches bei 9,7 bzw. 8,6‰. Das steilste Gefälle weist die Strecke unterhalb der Zusammenmündung von Nordbach und Ostbach auf, entlang der sich auch mehrere kleine Kaskaden gebildet haben. Das Gefälle in Luftlinie beträgt hier 19,6‰, das wahre Gefälle des Baches aber nur 10,3‰.

Bei Extremhochwässern wie jenem von 1909 wandeln sich die Abflussverhältnisse in der Höhle drastisch. Eine unmittelbare Beobachtung eines solchen Ereignisses liegt nicht vor und wird wohl auch kaum jemals möglich sein. Typische Sedimentumlagerungen lassen aber Rückschlüsse auf das Geschehen zu. In den hangnahen Höhlenteilen oberhalb von Mühlabach sind Spuren von Hochwasserabflüssen bis mindestens 12 m oberhalb des regulären Quellniveaus zu finden. Der große Wasserandrang und die durch Verstürze und Hangschutt begrenzte Schüttung der Quellaustritte bewirkten diesen enormen Rückstau im unteren Höhlenteil. Der Rückstau und die von oben anströmenden Wassermassen führten zu einer nahezu vollständigen Überflutung der Horizontalteile der Höhle, nur wenige hochgelegene Höhlenteile und Schlotte blieben verschont. Große umgestürzte Stalagmiten im Bachbett zeugen von der Wucht des Wassers. Besonders stark war offenbar der nördliche und vor allem der nordwestliche Höhlenteil betroffen. Mehrere Meter hohe Sand- und Feinkieslager wurden hier offenbar innerhalb kurzer Zeit abgelagert und nachträglich wieder weitgehend erodiert.

Über die Bedeutung der verschiedenen Hohlraumtypen für den gesamten Grundwasserumsatz im Karst der Frankenalb gab es bislang nur unsichere Modellvorstellungen. Die Beobachtungen in der Mühlabachquellhöhle erlauben zumindest für deren Umfeld eine Präzisierung (Abb. 11 und 12).

Im Normalfall versickert ein Großteil des Niederschlags, soweit er nicht

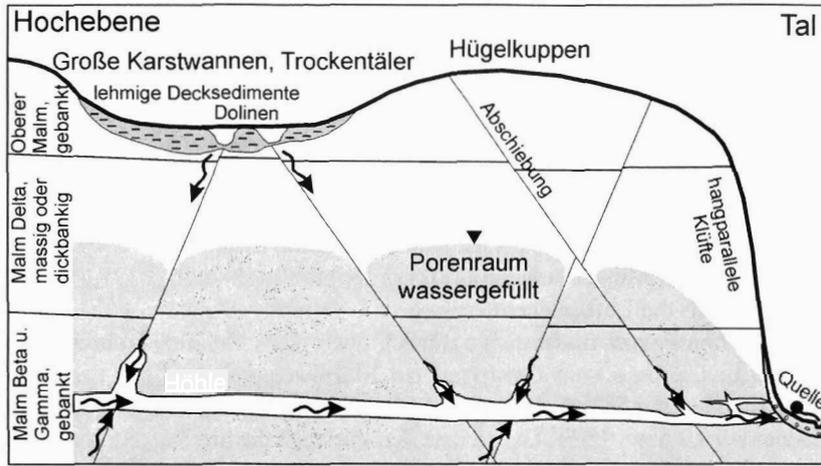


Abb. 11: Schematischer Schnitt durch das Gebiet der Mühlbachquellhöhle mit wichtigen Drainagewegen

wieder verdunstet, im Boden und weiter in poröse Decksedimente oder in die wasserungesättigte Zone der Malmkarbonate. Ein geringer Anteil des Sickerwassers erreicht relativ rasch Klüfte, Störungen oder Karstschächte, die das Wasser ohne wesentliche Zwischenspeicherung zum tiefer liegenden unterirdischen Gewässernetz weiterleiten. Ein großer Teil des Wassers sickert in poröse Gesteine des Malm Delta ein, in denen eine bedeutende Zwischenspeicherung stattfindet. Schließlich bewegt sich das Wasser entweder weiter in tiefere Teile der wassergesättigten Zone, wo eine weitere Zwischenspeicherung stattfindet oder es wird über Störungen und Klüfte in Form von Tropfwasser oder Seitenzuflüssen dem unterirdischen Gewässernetz zugeführt. Auch das Wasser aus der wassergesättigten Zone erreicht schließlich in Form von aufsteigenden Quellen oder Seitenzuflüssen die größeren Höhlengewässer.

Um so stärker die Niederschläge sind, um so höher wird der Anteil des Wassers, das nicht flächenhaft infiltriert, sondern über Dolinen direkt leistungsfähige Karstwasserwege erreicht. Niederschläge bis etwa 5 mm pro Tag versickern noch fast vollständig flächig und bewirken im Mühlbach allenfalls eine sehr geringfügige Erhöhung des Abflusses. Darüber hinaus gehende Niederschlagsmengen lassen die Schüttung schnell deutlich anschwellen, vor allem wenn der Boden bereits stark durchfeuchtet ist. Allerdings sind Dolinen im Einzugsgebiet des Mühlbachs vor allem im Raum Pestenrain, Eutenhofen

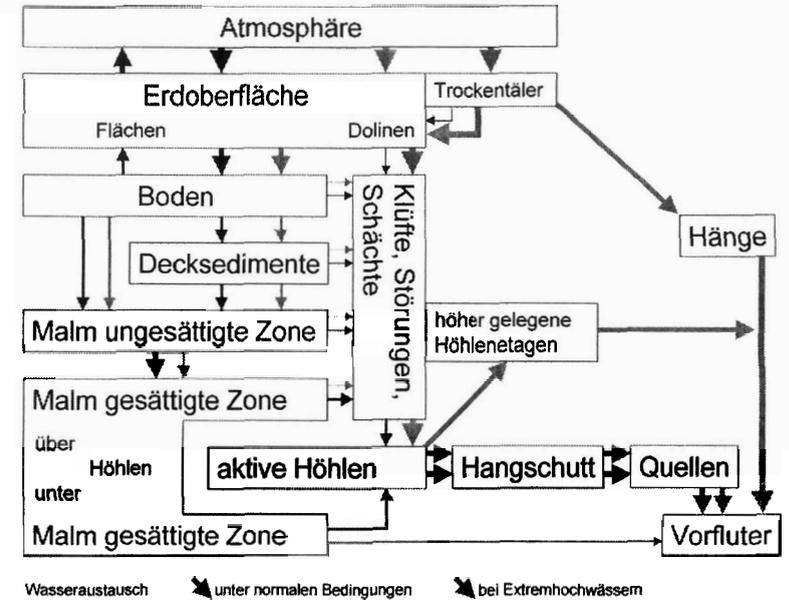


Abb. 12: Modell für die Umsatzräume des Grund- und Sickerwassers im Raum Mühlbach

und Gundelshofen verbreitet. Im nordöstlichen Teil des Einzugsgebietes sind dagegen auch bei Starkregen nur wenige Dolinen als Ponore aktiv.

5 Landschaft und Höhle

Aktive Wasserhöhlen wie die Mühlbachquellhöhle sind sozusagen die "Täler des Karstes". Insofern ist es interessant, die Höhle im Kontext mit der umgebenden Landschaft zu betrachten.

Bemerkenswert erscheinen in diesem Zusammenhang vor allem die ausgedehnten Trockentalsysteme und Karstwannen auf der Hochfläche, aus denen ein Abfluss ausschließlich unterirdisch erfolgen kann. Auf der Hochfläche oberhalb von Mühlbach liegen – in mehrere Teilmulden gegliedert – insgesamt über 100 km² abflusslose Senken (Abb. 10). Markierungsversuche haben gezeigt, dass diese Flächen zu verschiedenen Einzugsgebieten gehören, ein

Teil davon entwässert zur Mühlbachquelle. Nimmt man die durchschnittliche Tiefe der Karstsenken mit 10 m an, so ergibt sich ein Massendefizit von einem Kubikkilometer Gestein, das fast ausschließlich über die unterirdischen Wasserwege abtransportiert wurde (untergeordnet evtl. durch Deflation während der Kaltzeiten).

Die Anlage der Karstwannen erfolgte wohl bereits während des Tertiärs. Im Raum Denkendorf finden sich vergleichbare ausgedehnte Karstwannen die teilweise mit miozänen Sedimenten gefüllt sind. Auch bei Hemau wurden tertiäre und möglicherweise keidezeitliche kaolinitische Tone in Karstwannen gefunden (mündl. Mitt. R.K.F. Meyer). Vor der Sedimentationsphase im Miozän standen auch tiefliegende Vorfluter zur Verfügung, die zumindest theoretisch eine tiefreichende Verkarstung ermöglichten. Tertiäre Täler reichten etwa 15 km südlich von Mühlbach tief in die Alb hinein (Doppler et al. 2002). Weiterhin lag etwa 35 km östlich von Mühlbach das Urnaabtal, das bis unter 220 m ü. NN eingetieft war (Meyer & Bader 1998). Anzeichen für eine noch ältere, z.B. unterkreidezeitliche Verkarstung liegen im Raum Mühlbach bislang nicht vor, obwohl östlich von Kelheim auch tiefreichende kreidezeitliche Karsthohlformen bekannt sind.

Die Karstwanne im Raum Pestenrain, Predlfing und Eutenhofen umfasst insgesamt etwa 7 km² und ist bis 25 m tief. Am Grund der Wanne lagert meist mehrere Meter mächtiger Alblehm – ein Gemenge von Rückständen aus der Karbonatverwitterung vermischt mit eiszeitlichen Solifluktuions- und Lößlehm. Die tiefsten Teile der Wanne liegen unter 475 m ü. NN. In diesem etwa 1 km² großen Bereich hatte sich im Februar 1909 mehr als 100 m über dem Talniveau kurzfristig ein See angestaut, der dann über Dolinen in das Karströhrennetz überwiegend in Richtung Mühlbach abfloss. Innerhalb der Fläche des kurzzeitigen Sees liegen extrem viele und teilweise auch enorm große Dolinen.

Extremereignisse wie jenes von 1909 bewirken in kürzester Zeit enorme Sedimentumlagerungen – durch sie wird die Landschaft stärker umgestaltet als dies sonst während Jahrzehnten geschieht. Hartmann (1914) erwähnt ein weiteres, ähnlich großes Hochwasserereignis aus dem Jahr 1809. Kleinere Rückstauereignisse in einzelnen Dolinen am Grund von Karstwannen mit 10 000 bis 100 000 m³ Wasser kommen verteilt auf die Südliche Frankenalb wohl beinahe jedes Jahr vor. Obwohl diese Ereignisse weniger spektakulär sind, haben sie doch für das jeweils betroffene Karstsystem erhebliche Folgen: normalerweise trocken liegende oder vadose Höhlengänge werden kurzzeitig von riesigen Wassermengen durchflutet, wodurch vorübergehend phreatische

Bedingungen herrschen. Große Mengen Höhlensedimente können in kürzester Zeit erodiert und/oder abgelagert werden.

Sowohl die Morphologie des Geländes als auch die Art der Vorgänge, die zu dessen Entstehung führten, legen einen Vergleich mit den Poljen des dinarischen Karstes nahe. So ist z.B. die Karstwanne südlich von Pestenrain zwar weniger groß und tief als die typischen Poljen im Mittelmeerraum, es handelt sich jedoch um eine sehr große, in sich abgeschlossene Karsthohlform. Durch gelegentliche Überflutungsereignisse entwickelt sich die Hohlform weiter bzw. eine bereits im Tertiär angelegte Hohlform wird exhumiert. Möglicherweise erfolgten die Überflutungen der Karstwannen unter anderen Klimabedingungen – z.B. während der quartären Kaltzeiten – sogar wesentlich häufiger als heute.

In der Südlichen Frankenalb wechselten sich seit dem obersten Malm mehrfach Zeiten der Abtragung und Verkarstung mit Sedimentationsphasen ab (Glaser 2000). So stellt sich letztlich auch für die Gänge der Mühlbachquellhöhle die Frage nach dem Zeitraum ihrer Entstehung.

Die Anlage der aktuell wasserführenden Höhlenteile spricht sowohl von den generellen Gangrichtungen wie auch von der Höhenlage dafür, dass sie sich bereits im Hinblick auf das heute existierende Talsystem gebildet haben. Das heutige Altmühltal wurde während des Pleistozäns von der Ur-Donau geschaffen, die ihr Bett vor ca. 80 000 Jahren an den Südrand der Alb verlagerte (Doppler et al. 2002). Der Talgrund des Ur-Donautales dürfte spätestens im Altpleistozän das Niveau der heutigen Mühlbachquelle erreicht haben (Tillmanns 1977, Schmidt-Kaler 1983).

Seitdem stand mit einigen hunderttausend Jahren eine ausreichend lange Zeit für die Herausbildung des heutigen unterirdischen Entwässerungssystems zur Verfügung. Das verstärkte Gefälle im eingangsnahen Höhlenteil weist möglicherweise darauf hin, dass sich der Karstwasserspiegel nur sehr langsam auf das aktuelle tiefer liegende Vorflutniveau einstellt. Erste Ergebnisse von Sinterdatierungen weisen darauf hin, dass die Höhle am Ende der letzten Eiszeit bereits in etwa ihr heutiges Aussehen hatte. Ein Stalagmit, der auf einem Schotterkonglomerat im Bachbett aufsaß, weist an seiner Basis ein Alter auf, das in den Zeitraum Ende des Spätglazials – Beginn des Holozäns fällt (mündl. Mitt. W. Rosendahl 2004).

Allerdings lassen sich bei weitem nicht alle Höhlenteile dem aktuellen Entwässerungssystem zuordnen. Dies gilt z.B. für einen sehr großen Horizontalgang, der vom vorderen Höhlenteil in Richtung Nordwesten zieht. Hier sind Spuren eines früheren Wasserabflusses erkennbar, der Gang ist aber nahezu

vollständig mit Sedimenten verfüllt. Weiterhin finden sich im Nordteil der Höhle große Hallen auch weit über dem Bachniveau. Im selben Bereich existieren sehr große Sinterlager, die nach ihrer Entstehung umfangreicher Erosion ausgesetzt waren. Es ist somit nicht auszuschließen, dass vor den überwiegend im Pleistozän entstandenen Gängen bereits ältere Hohlraumssysteme existiert haben, die teilweise durch die jüngere Verkarstung überprägt wurden.

6 Schlusswort

Die Entdeckung der Mühlbachquellhöhle führt auf eindrucksvolle Weise vor Augen, dass auch in dicht besiedelten und vermeintlich bestens erforschten und dokumentierten Regionen bedeutende Naturphänomene bis heute unerkannt geblieben sind. Die Vermutung liegt nahe, dass sich hinter vielen weiteren großen Quellen der Fränkischen Alb ausgedehnte und geräumige Höhlensysteme verbergen. Es handelt sich hierbei um quasi unberührte Natur im Urzustand, die mit dem entsprechenden Respekt zu behandeln ist.

Jedenfalls muss im Licht der Entdeckung der Mühlbachquellhöhle die Bedeutung der Höhlen in der Fränkischen Alb in vielerlei Hinsicht neu bewertet werden. Die hier bisher bekannten Höhlen wurden oftmals hauptsächlich als Lagerstätten eiszeitlicher Fossilien und vorgeschichtlicher Artefakte, als Lebensraum bedrohter Tiere oder als Touristenattraktionen betrachtet. Eher unterschätzt wurde dagegen bislang der Wert der Höhlen als enorme Archive geologischen Wissens, als wesentliche Faktoren bei der Landschaftsentwicklung und vor allem als entscheidende Elemente im Grundwasserhaushalt.

Die Gewinnung von Trinkwasser in ausreichender Menge und Qualität ist heute fast allerorten zu einem Problem geworden. Das ergiebige Karstgrundwasserstockwerk des Malm wird wegen Qualitätsproblemen bereits in manchen Kommunen nicht mehr genutzt. Teilweise wurden die Brunnen tiefer bis in den Dogger gebohrt. Hier erneuert sich das Grundwasser aber auf natürliche Weise nur sehr langsam. So ist schon jetzt eine Überbeanspruchung dieses Aquifers absehbar, wodurch die Qualitätsprobleme bald auch das tiefer liegende Grundwasser erreichen werden.

Wichtig und sinnvoll sind daher alle Bemühungen, den Grundwasserhaushalt im Malm genauer als bisher zu untersuchen. Die ersten Erkenntnisse aus der Mühlbachquellhöhle bieten hoffnungsvolle Ansätze für neue Wege der nachhaltigen Nutzung des Karstgrundwassers im Malm.

So zeigen die Tropfwässer unter dem Waldeinzugsgebiet der Höhle nicht

nur die ohnehin zu erwartenden niedrigen Nitratgehalte. Nitratfreie Tropfwässer weisen zusätzlich auf Denitrifizierungsvorgänge hin, die noch näher erforscht werden müssen. Es zeigte sich weiterhin, dass die einzelnen Gewässer je nach Beschaffenheit ihres Einzugsgebiets eine sehr unterschiedliche Belastung mit Schadstoffen aufwiesen. Das größte Risiko geht dabei naturgemäß von den großen Sammelsträngen aus, die eine Vielzahl von unterschiedlichen Teileinzugsgebieten in sich vereinen.

Aus der Summe dieser Beobachtungen ergibt sich, dass die günstigsten Bedingungen zur Erschließung von qualitativ hochwertigem Karstgrundwasser in einem Waldeinzugsgebiet gegeben sind, das weit von jedem großen Karst-Sammelstrang entfernt liegt. Die Entnahmemenge muss abgestimmt werden auf die Menge des innerhalb des Gebietes neu gebildeten Grundwassers. Zusätzlich ist es wohl sicherer, kontinuierlich eine kleinere Menge zu entnehmen als auf hohe nächtliche Förderraten zu setzen und dadurch vielleicht eine Kontamination aus einem weit entfernten Gebiet zu riskieren.

Die Erforschung der Mühlbachquellhöhle steht vier Jahre nach deren Entdeckung in manchen Bereichen noch ganz am Anfang. Sie wird ausschließlich ehrenamtlich durchgeführt und muss sich vielen praktischen Problemen stellen. So erfordert jede Probennahme die Befahrung einer aktiven Wasserhöhle, die neben viel Zeit und optimaler Ausrüstung auch entsprechendes Können und Erfahrung voraussetzt. Die Karstgruppe Mühlbach ist an einer möglichst umfassenden Dokumentation der Höhle interessiert und bietet daher interessierten Spezialisten aus allen Forschungsgebieten an, sie bei diesbezüglichen Arbeiten zu unterstützen.

7 Dank

Die Entdeckung, Erforschung und Dokumentation der Mühlbachquellhöhle ist eine Gemeinschaftsleistung der Mitglieder der Karstgruppe Mühlbach. Ich bedanke mich herzlich für die Aufnahme in diese Gruppe und für die kameradschaftliche Zusammenarbeit, ohne die auch diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Großer Dank gebührt auch der Stadt Dietfurt und den Mühlbacher Bürgern, die die Forschungsarbeiten in vielfältiger Weise förderten.

8 Literatur

Bergerat, F. und Geysant, J. (1983): Fracturation tertiaire et évolution des contraintes en Bavière orientale: le Jura franconien et la Forêt bavaroise (R.F.A.).- Geol. Rundschau, 72 (3): 935-954; Stuttgart.

Doppler, G., Fiebig, M. und Meyer, R.K.F. (2002): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 10 Ingolstadt. Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:100 000.- 172 S.; München.

Freyberg, B.v. (1939): Geologische Aufnahmeergebnisse zwischen Auerbach und Pegnitz.- S. B. phys. mediz. Soz. Erlangen, **71**: 209-218; Erlangen.

Freyberg, B.v. (1969): Tektonische Karte der Fränkischen Alb und ihrer Umgebung.- Erlanger geol. Abh., **77**: 81 S; Erlangen.

Glaser, S. (1997): Der Grundwasserhaushalt in verschiedenen Faziesbereichen des Malms der Südlichen und Mittleren Frankenalb.- Diss. Univ. München: 135 S.; München.

Glaser, S. (2000): Die Verkarstungsgeschichte des Malms der Südlichen Frankenalb.- Laichinger Höhlenfreund, **35**: 39-58; Laichingen.

Glaser, S. (2002): Karstgrundwasser in der Südlichen Frankenalb – Neues zu einem alten Problem.- Tagungsband Jahrestagung Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher: 22-25; Pottenstein.

Glaser, S., Schöffel, C. und Strobl, C. (2003): Die Mühlbachquellhöhle bei Mühlbach im unteren Altmühltal, Fränkische Alb.- Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforsch., **49** (3): 66-69; München.

Hartmann, O. (1914): Der Aufbau und Verlauf der Tauflut vom Februar 1909 im Bayer. Donauebiet.- Abh. d. Kgl. Bayer. Hydrotechnischen Bureaus: 31 S.; München.

Hoffmann, S. und Strobl, C. (2001): Die ICE-Schachtbachhöhle (Kat.-Nr. I 121), Fränkische Alb.- Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforsch., **47** (4): 86-88; München.

Karstgruppe Mühlbach [Hrsg.] (2002): Die Mühlbachquellhöhle – ein neuentdecktes Naturwunder im Altmühltal.- Broschüre: 23 S.; Erlangen.

Karstgruppe Mühlbach (2004): Siphonbeschreibung im Nordgang der Mühlbachquellhöhle H100.- Unveröff. Forschungsbericht zum KGM Jahresprotokoll: 10 S.; Erlangen.

Meyer, R.K.F. (1977): Stratigraphie und Fazies des Frankendolomits und der Massenkalk (Malm), 3. Teil: Südliche Frankenalb.- Erlanger geol. Abh., **104**: 40 S.; Erlangen.

Meyer, R.K.F. und Bader, K. (1998): Die Urnaab-Hauptrinne.- Geol. Bl. NO-Bayern, **48**: 183-202; Erlangen.

Michel, U. (1999): Gesteinsphysikalische Eigenschaften und fazielle Ausbildung der oberjurassischen Massenfazies (Kimmeridge) der Südlichen Frankenalb (Stammham).-

GSF-Bericht, **04/99**: 48-56; Neuherberg.

Müller, E., Mandler, E., Stöckl, M., Seiler, K.-P. und Hartmann, A. (1996): Denitrifizierende Bakterien in verschiedenen Grundwasserproben der Südlichen Frankenalb.- Schriftenreihe Wasserforschung, **1**: 233-239; Berlin.

Schmidt-Kaler, H. (1983): Geologische Karte von Bayern 1:25 000, Erläuterungen zum Blatt Nr. 6934 Beilngries.- 74 S.; München.

Seiler, K.-P., Müller, E. und Hartmann, A. (1996): Diffuse tracer exchanges and denitrification in the Karst of southern Germany.- Proc. 4. Int. Symp. of the Geochemistry of earth's surface: 644-651.

Streim, W. (1960): Geologie der Umgebung von Beilngries (Südliche Frankenalb).- Erlanger geol. Abh., **36**: 49 S.; Erlangen.

Streim, W. (1961): Stratigraphie, Fazies und Lagerungsverhältnisse des Malm bei Dietfurt und Hemau (Südliche Frankenalb).- Erlanger geol. Abh., **38**: 49 S.; Erlangen.

Tillmanns, W. (1977): Zur Geschichte von Urmalm und Urdonau zwischen Bamberg, Neuburg/Donau und Regensburg.- Sonderveröff. Geol. Inst. Univ. Köln, **30**: 198 S.; Köln.

Wellnhofer, P. (1952): Eine Überschwemmung auf der Jurahochfläche.- Die Oberpfalz, **40**: 30-33; Kallmünz.