

Die Mühlbachquellhöhle – erste Einblicke in das unterirdische Gewässer- netz der Frankenalb (Bayern)

Stefan Glaser

1 Einleitung

In Mühlbach (Ortsteil der oberpfälzischen Stadt Dietfurt a.d. Altmühl, Südliche Frankenalb) entspringt die Mühlbachquelle mit durchschnittlich knapp 300 l/s. Etwas oberhalb findet sich ein normalerweise trocken liegender Graben, der an einer steilen Quellnische („Hungerbrunnen“) endet. Hier haben in historischer Zeit mindestens zwei mal enorme Hochwasserausbrüche stattgefunden, zuletzt im Februar 1909.

Angeregt durch die Berichte über dieses Hochwasser 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 im Januar 2001 ein künstlicher Zugang in das erwartete Quellhöhlensystem geschaffen werden (KARSTGRUPPE MÜHLBACH 2002, GLASER et al. 2003). Diese Entdeckung und die darauf folgende speleologische Erforschung und Dokumentation der Mühlbachquellhöhle ermöglichen im Bereich der Frankenalb erstmals eine direkte Untersuchung eines unterirdischen Karstentwässerungssystems.

2 Kurzbeschreibung der Höhle

Mit über 7000 m Gesamtganglänge ist die Mühlbachquellhöhle derzeit mit Abstand die längste der etwa 3000 bekannten Höhlen der Frankenalb. Besondere Bedeutung

kommt der Mühlbachquellhöhle dadurch zu, dass sie in weiten Teilen von einem aktiven unterirdischen Flusssystem durchzogen wird.

Im hangnahen Eingangsbereich fächert sich die Mühlbachquellhöhle gießkannenartig in verschiedene Gänge 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 folgen kann. Nach insgesamt etwa einem Kilometer Wegstrecke (Luftliniendistanz: 500 m) spaltet sich die Höhle bergwärts in zwei Äste auf.

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 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 entströmt einem geräumigen Gang aus

nordöstlicher Richtung. Nach etwa 400 m Gangstrecke wird auch hier eine Siphonzone erreicht. Sechs Siphone mit bis 122 m Länge und 10 m Tiefe wurden hier durchtaucht, im siebten Siphon verengt sich die Unterwasserfortsetzung ungangbar („Nordostsiphone“, STRAUB & WALTER 2006). Noch vor der Siphonzone mündet von Norden ein verzweigtes, teilweise engräumiges Gangsystem mit mehreren großen Hallen ein, das normalerweise 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. 1).



Abb. 1: Digitales Raummodell der Höhle und des überlagernden Geländes (alle Graphiken und Fotos Karstgruppe Mühlbach).

3 Geologie im Bereich der Höhle

Die Mühlbachquellhöhle mit ihren meist gut zugänglichen und nur selten von jüngeren Sedimenten verdeckten Raumbegrenzungen bildet einen riesigen geologischen Aufschluss, der zahllose geologische Beobachtungen ermöglicht wie z. B. eine Bank-für-

Bank Kartierung nach der durch v. FREYBERG (1939) in der Frankenalb eingeführten Methode. Als optimales Referenzprofil erwies sich jenes aus dem Steinbruch am nahen Arzberg (STREIM 1960, SCHMIDTKALER 1983).

Die Kartierung ergab, dass beinahe alle bisher bekannten Höhlenteile in gebankten Kalk- und Mergelgesteinen des oberen

Malm Beta und des unteren Malm Gamma verlaufen (GLASER 2005). Nur Schlote reichen häufig bis in den obersten Malm Gamma (bis über die Crussoliensis-Mergel), in kaum zugänglichen Deckenbereichen wohl auch bis in den Malm Delta. Vereinzelt finden sich im Bachbett Dolomitblöcke, die wohl aus diesem Bereich stammen.

Die Raumentwicklung der Höhle weist auffällige Beziehungen zum Umgebungsgestein 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 aufge-

schlossen (Abb. 2). Die Decke der überwiegend kastenförmigen Raumprofile wird sehr häufig von den ersten Kalkbänken oberhalb der Platynota-Mergel (Bank 252 und darüber) 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.

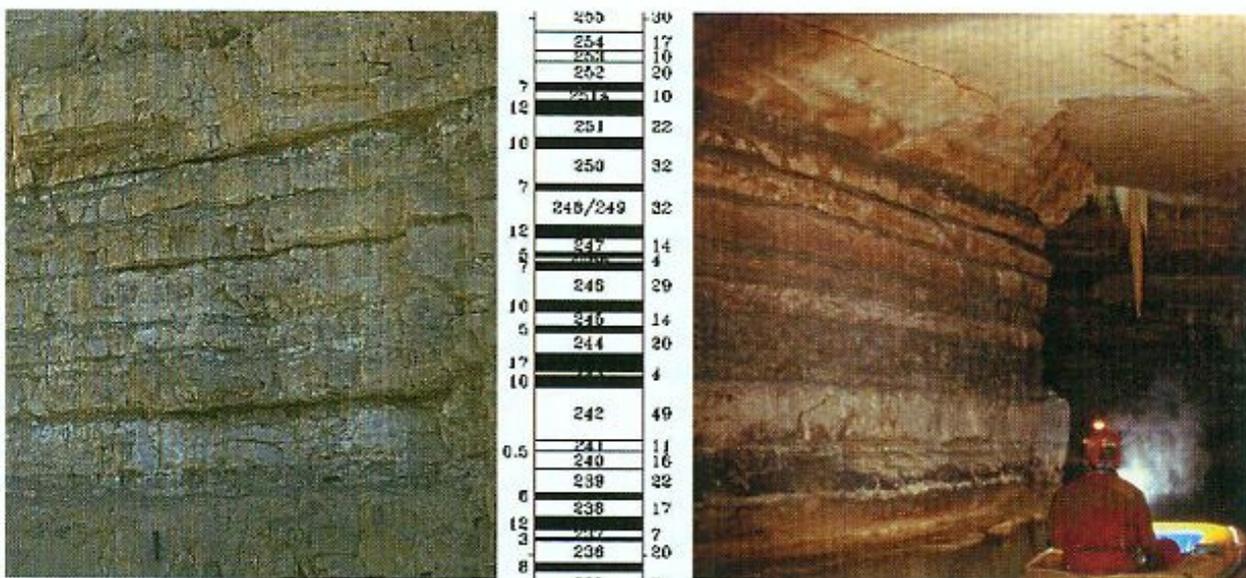


Abb. 2: Schichtprofil der Platynotazone (Mitte) und Aussehen derselben in der Mühlbachquellhöhle (rechts, Foto: Karstgruppe Mühlbach) und im Steinbruch am Arzberg (links)



Abb. 3, links: lockenförmige Gipsausblühung im Deckenbereich unter eine Mergelbank, die durch Verbrauch freigelegt wurde; rechts: feine Gipsablagerungen an einer Höhlenwand rund um Mergelfugen und Pyritknollen

Die Raumformen legen nahe, dass die Platynota-Mergel bei der Hohlräumgenese der Mühlbachquellhöhle 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 Kalkstein in gut wasserlöslichen Gips, wie er in Form von Ausblühungen an Mergellagen in der Mühlbachquellhöhle tatsächlich beobachtet wurde (Abb. 3). 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 Frankenalb in massigen Dolomit- und Kalkgesteinen liegen. Tatsächlich sind Felsbildungen – und damit auch natürliche Höhleneingänge – in gebankten Kalk-Mergelgesteins-Abfolgen der Frankenalb 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 offenbar eine Plombierung nahezu aller Höhlen-Eingangsbereiche. Im Gegensatz zur Malm-Schichtfazies bleiben Höhlen und Höhleneingänge in den sehr standfesten Gesteinen der Malm-Massenfazies auch an steilen Hängen stabil.

Als tektonische Elemente dominieren in der Mühlbachquellhöhle Kleinabschiebungen,

die um 125° streichen, andere Richtungen treten nur sehr untergeordnet auf. Bislang wurden 55 Kleinabschiebungen mit vertikalen Versatzbeträgen zwischen 0,1 und 6 m dokumentiert (Abb. 4). Insgesamt streichen 49 Kleinabschiebungen in Richtungen zwischen 115° und 140° und fallen durchschnittlich 60° ein (Werte zwischen 35° - 85°). 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. In vielen Fällen wurde beobachtet, dass sich die Höhe des Versatzes entlang des Streichens der Störung ändert oder diese ganz verschwindet.

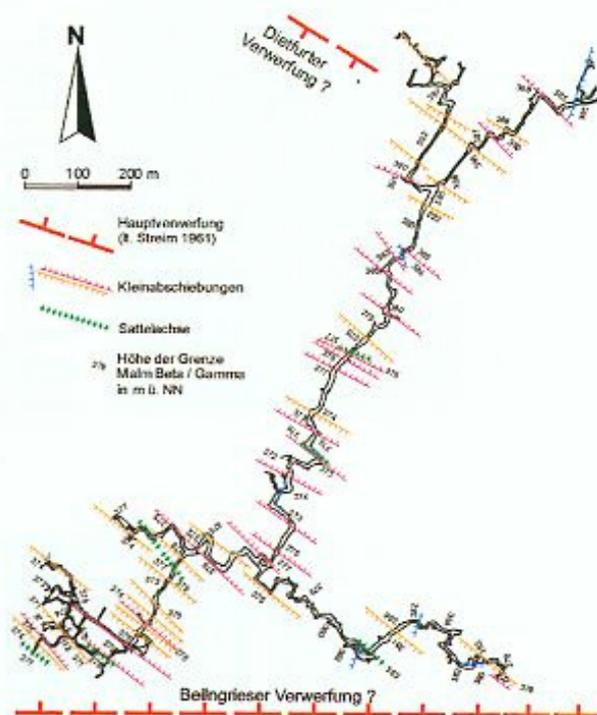


Abb. 4: Tektonische Karte der Mühlbachquellhöhle

Neben den Kleinabschiebungen fallen an 7 Orten in der Höhle faltenartige Schichtverbiegungen auf (Abb. 5). 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 ein räumlich und/oder zeitlich begrenztes Kompressionsregime in einem überwiegend durch Extension (Abschiebungen!) geprägten Bereich.

Legt man einen 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%.



Abb. 5: Die größte der in der Höhle angeschnittenen Faltenstrukturen

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. 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. 6).

In der Höhle schwer zu erkennen ist der Einfluss der großen, zur Schwarzwald-Bayerwald-Linie gehörenden Hauptstörungen der Beilngrieser und Dietfurter Verwerfungen. Knapp südlich der Höhle verläuft 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 wird hier von einer möglicherweise tektonischen Brekzie gebildet,

deren kantige Kalksteinkomponenten durch rötlich gefärbte Kalzitadern zusammengehalten werden. Dies ist bislang der einzige Ort in der Höhle, der auf einen direkten Einfluss der Beilngrieser Verwerfung hinweist. Möglich erscheint allerdings ein indirekter Zusammenhang der Höhlenentstehung mit der Beilngrieser Störung: 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.

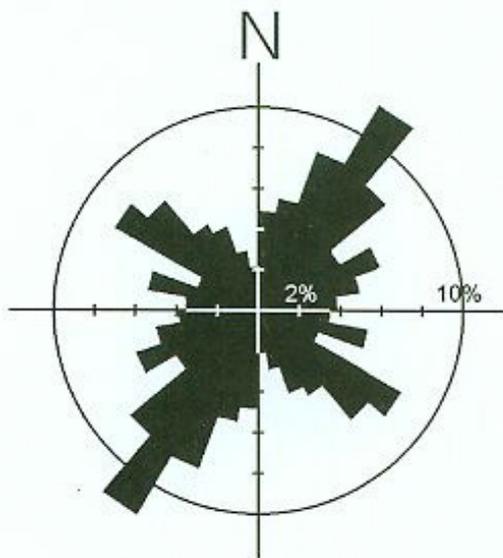


Abb. 6: Die Länge der Gangstrecken der Mühlbachquellhöhle in unterschiedlichen Richtungen spiegelt die tektonischen Strukturen des Gebietes wieder.

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 Frankenalb 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 von einer halben Stunde fest-

stellbar sind. Insgesamt entspringen in Mühlbach im langjährigen Durchschnitt knapp 300 l/s (GLASER 1997). Auf starke Niederschläge reagiert die Quelle mit Eintrittung und stark erhöhter Schüttung, die Schüttungsschwankungen sind für eine Karstquelle allerdings vergleichsweise sehr gering. Ein Jahrgang 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.

Als großer Sammelstrang bildet der Hauptbach der Mühlbachquellhöhle den unterirdischen Vorfluter für das Karstgrundwasser in seinem Einzugsgebiet. 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 Verschüttung von Quellaustritten in Hangnähe eine starke Verästelung der Höhle und auch des Höhlenbaches im eingangsnahen Bereich (Abb. 7). Schon bei normalen Abflussbedingungen tritt das Höhlengewässer an zwei Quellen zu Tage. Hochwasserspuren in der Höhle belegen, dass bei Extremabflüssen (wie z. B. im Jahr 1909) mehrere weitere verborgene Quellaustritte an den Hängen aktiviert werden. Der Hungerbrunnen, in dem heute der Eingang zur Höhle liegt, ist der bedeutendste 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 ab, 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 auf. Den größten Anteil an der stark schwankenden Schüttung des Nord-

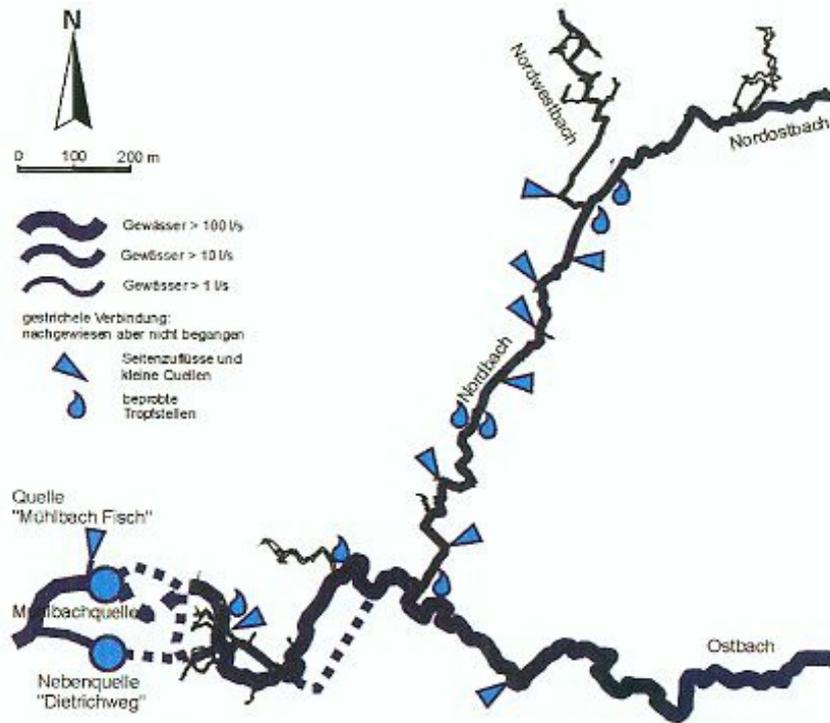


Abb. 7: Skizze zum Verlauf der Haupt- und Nebengewässer der Mühlbachquellhöhle

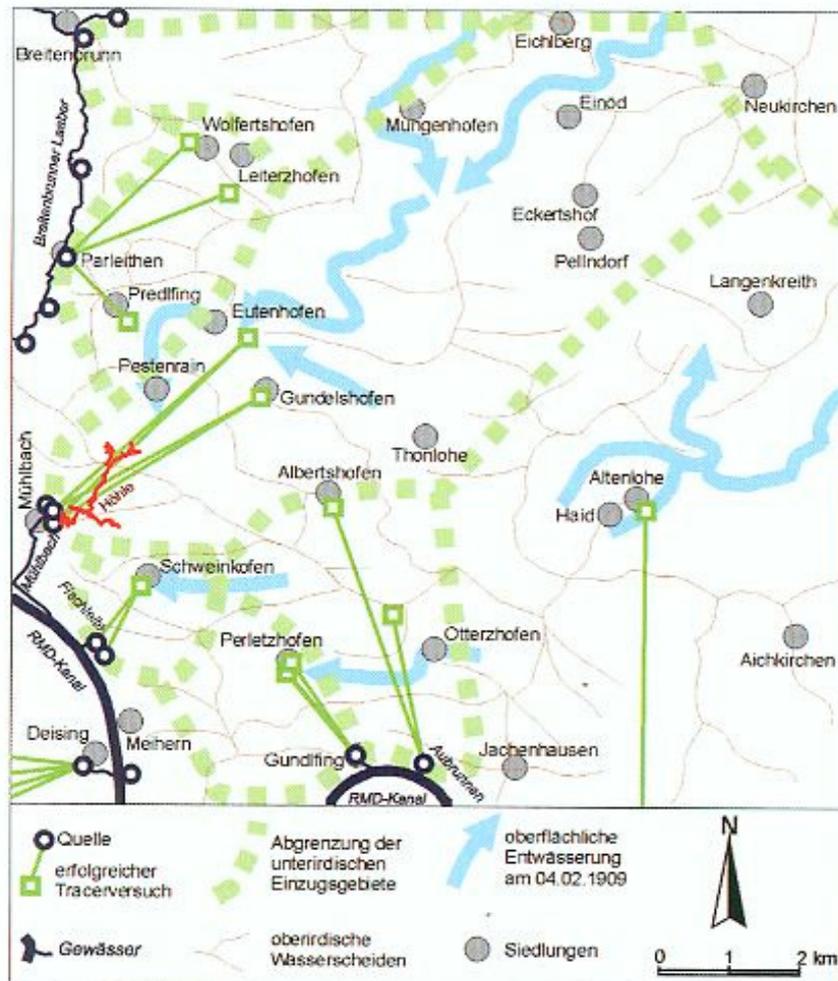


Abb. 8: Markierungsversuche, vermutete Grenzen der unterirdischen Einzugsgebiete, oberirdische Wasserscheiden und Verlauf der Hochwasserströme von 1909 auf der Hochfläche zwischen Altmühl und Schwarzer Laaber

bachs 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 neun 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, 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 was-

serungesättigten Bereich erwartet. Allerdings gab es bereits früher Hinweise 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 Mühlbachquelle mit einer durchschnittlichen Grundwasserneubildung von 265 mm pro Jahr (entsprechend $8,4 \text{ l/(s*km}^2\text{)}$) zu rechnen (GLASER 1997). 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. 8). 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).

Üblicherweise kann für Grundwassermarkierungsversuche nicht die wahre Fließstrecke ermittelt werden, weshalb man die „Luftlinienentfernung“ als Berechnungsgrundlage für die Fließgeschwindigkeit verwendet. Die Mühlbachquellhöhle ermöglicht es nun erstmals in der Frankenalb, die Luftlinienentfernung mit der wahren Fließstrecke zu vergleichen. Vom ersten Ostsiphon bis zur Mühlbachquelle beträgt die Luftlinienentfernung 960 m während das

Wasser 1760 m durch die Höhlengänge zurücklegen muss. Für die Strecke vom Nordostsiphon bis zur Mühlbachquelle betragen die Werte 1370 und 2320 m. Der wahre Fließweg ist also in der Mühlbachquellhöhle 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 Mühlbachquelle $17,7\text{‰}$ und vom Nordostsiphon zur Mühlbachquelle $14,6\text{‰}$ beträgt, liegt das wahre Gefälle des Baches bei 9,7 bzw. $8,6\text{‰}$. Das steilste Gefälle weist die Strecke unterhalb der Zusammenmündung von Nordbach und Ostbach auf. Das Gefälle in Luftlinie beträgt hier $19,6\text{‰}$, das wahre Gefälle des Baches aber nur $10,3\text{‰}$.

Bei Extremhochwässern, wie jenem vom Februar 1909, wandeln sich die Abflussverhältnisse in der Höhle drastisch. Die Dolinen auf der verschneiten Hochfläche oberhalb von Mühlbach waren damals teilweise zugefroren. Eine etwa 40 cm mächtige Schneedecke wurde durch einen Starkregen von etwa 100 mm innerhalb weniger Tage aufgetaut. In den Trockentälern bildeten sich reiße Wildbäche (Abb. 8). In den abflusslosen Karstsenken stauten sich großflächige, bis mehrere Meter tiefe Seen an. Als die Dolinen am Grund der Seen auftauten, fanden mehrere Millionen Kubikmeter Wasser ihren unterirdischen Weg nach Mühlbach und brachen als reiße Wildbach am Hungerbrunnen zu Tage (HARTMANN 1914, WELLNHOFER 1952).

Typische Sedimentablagerungen in der Höhle lassen Rückschlüsse auf das damalige Geschehen zu. In den hangnahen Höhlenteilen oberhalb von Mühlbach sind Spuren von Hochwasserabflüssen bis mindestens 12 m oberhalb des normalen 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 vollständigen Überflutung der Horizontalteile der Höhle. Große umgestürzte Stalagmiten und abgerissene Stalaktiten 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 offen-

bar innerhalb kurzer Zeit abgelagert und nachträglich wieder weitgehend erodiert.

In ihrer Summe ermöglichen die hydrogeologischen Beobachtungen in der Mühlbachquellhöhle eine wesentlich klarere Einschätzung der Bedeutung der verschiedenen Hohlraumtypen für den gesamten Grundwasserumsatz im Karst der Frankenalb (GLASER 2005). Derzeit laufende Datenloggeraufzeichnungen an allen Hauptgewässern der Höhle werden weitere Rückschlüsse auf die bisher noch unbekanntesten Höhlenteile ermöglichen.

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 oberhalb von Mühlbach, aus denen ein Abfluss ausschließlich unterirdisch erfolgen kann. Hier liegen – in mehrere Teilmulden gegliedert – insgesamt über 100 km² abflusslose Senken (Abb. 9). 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!

Die Anlage der Karstwannen und Trockentäler erfolgte wohl bereits während des Tertiärs. Vor der Sedimentationsphase im Miozän standen 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 Ablehm – ein Gemenge von Rückständen aus der Karbonatverwitterung vermischt mit eiszeitlichen Soliflukti- und Lößlehmen. 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 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 kurzzeitig phreatische Bedingungen herrschen. Große Mengen Höhlensedimente können in kürzester Zeit erodiert und/oder abgelagert werden. Dieses bisher vergleichsweise wenig beachtete Phänomen hat nicht nur Auswirkungen auf die akademische Diskussion von Höhlensedimenten, es stellt auch eine potentielle Bedrohung auf den Hochflächen, in den Höhlen und im Umfeld von Karstquellen (und Hungerbrunnen) dar. Überschlägige Berechnungen der Wassermengen, die bei Extremhochwässern im Bereich von Karstwannen anfallen können, sind durchaus erschreckend (GLASER 2007).

In der Südlichen Frankenalb wechselten sich seit dem obersten Malm mehrfach Zeiten der Abtragung und Verkarstung mit Se-

dimentationsphasen 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 (TILLMANN 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 (NORDHOFF 2005).

Allerdings lassen sich bei weitem nicht alle Höhlenteile dem aktuellen Entwässerungssystem zuordnen. Dies gilt z. B. für einen 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.

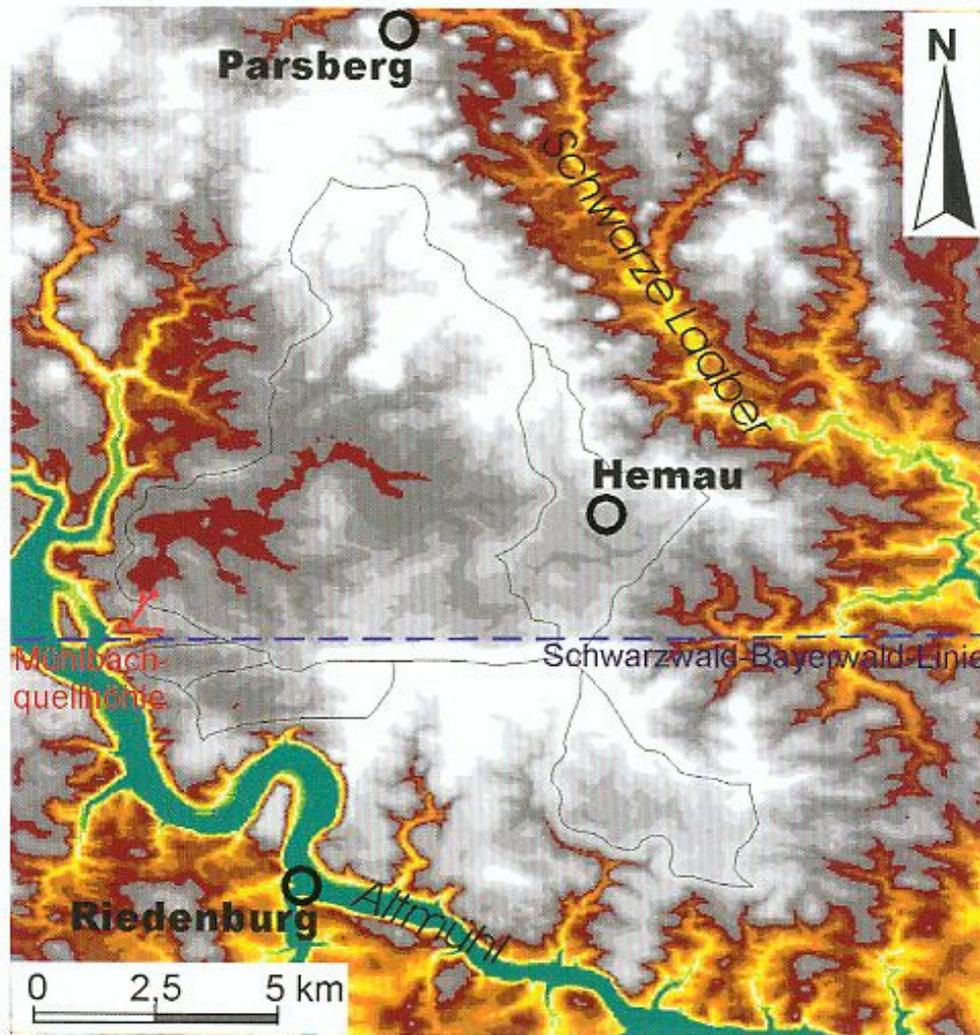


Abb. 9: Das digitale Geländemodell (erstellt von der Karstgruppe Mühlbach), verdeutlicht die enorme Größe der Trockentalsysteme, die keinen Anschluss an das heutige Gewässernetz haben.

6 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 Zusammen-

arbeit, ohne die auch diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Großer Dank gebührt auch der Stadt Dietfurt und den Mühlbacher Bürgern, insbesondere den Eigentümern des Höhleneingangs, Familie BETZ, die die Forschungsarbeiten in vielfältiger Weise förderten.

7 Schriftenverzeichnis

- DOPPLER, G., FIEBIG, M. & MEYER, R.K.F. (2002): Geowissenschaftliche Landesaufnahme in der Planungsregion 10 Ingolstadt. Erläuterungen zur Geologischen Karte 1:100 000. – 172 S.; München.
- FREYBERG, B. VON. (1939): Geologische Aufnahmeergebnisse zwischen Auerbach und Pegnitz. – S. B. phys. mediz. Soz. Erlangen, 71: 209-218; Erlangen.
- GLASER, S. (1997): Der Grundwasserhaushalt in verschiedenen Faziesbereichen des Malmes 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.
- (2002): Karstgrundwasser in der Südlichen Frankenalb – Neues zu einem alten Problem. – Tagungsband Jahrestagung Verb. dt. Höhlen- u. Karstforscher: 22-25; Pottenstein.
- (2005): Geologische und hydrogeologische Erkenntnisse aus der Mühlbachquellhöhle (Südliche Frankenalb, Bayern). – Geol. Bl. NO-Bayern, **55**: 1-29; Erlangen.
- (2007): Die ICE-Trasse Ingolstadt – Nürnberg und der Karst. – Natur und Mensch, Jahresmitt., **2006**: 47-60; Nürnberg.
- GLASER, S., SCHÖFFEL, C. & STROBL, C. (2003): Die Mühlbachquellhöhle bei Mühlbach im unteren Altmühltal, Fränkische Alb. – Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforsch., **49**: 66-69; München.
- HARTMANN, O. (1914): Der Aufbau und Verlauf der Taufut vom Februar 1909 im Bayer. Donauebiet. – Abh. d. Kgl. Bayer. Hydrotechnischen Bureaus: 31 S.; München.
- KARSTGRUPPE MÜHLBACH [Hrsg.] (2002): Die Mühlbachquellhöhle – ein neuentdecktes Naturwunder im Altmühltal. – Broschüre: 23 S.; Erlangen.
- MEYER, R.K.F. & 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., MENDLER, E., STÖCKL, M., SEILER, K.-P. & HARTMANN, A. (1996): Denitrifizierende Bakterien in verschiedenen Grundwasserproben der Südlichen Frankenalb. – Schriftenreihe Wasserforschung, **1**: 233-239; Berlin.
- NORDHOFF, P. (2005): Stable isotope investigations on speleothems from different cave systems in Germany. – Diss. Univ. Erlangen: 135 S.; Erlangen.
- 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. & 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.
- STRAUB, R. & WALTER, M. (2006): Tauchforschungen in den Nordost-Siphons der Mühlbachquellhöhle bei Mühlbach im Altmühltal. – Mitt. Verb. dt. Höhlen- u. Karstforsch., **52**: 114-117; München.
- STREIM, W. (1960): Geologie der Umgebung von Beilngries (Südliche Frankenalb). – Erlanger geol. Abh., **36**: 49 S.; Erlangen.
- (1961): Stratigraphie, Fazies und Lagerungsverhältnisse des Malm bei Dietfurt und Hemau (Südliche Frankenalb). – Erlanger geol. Abh. **38**: 49 S.; Erlangen.
- TILLMANN, 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.