

# Speläogenese des Fuchslabyrinths bei Schmalfelden (Stadt Schrozberg, Kreis Schwäbisch Hall)

Andreas Hoydem, Markus Pantle, Thomas Rathgeber & Theo Simon

## Inhalt

Zusammenfassung.....	15
Abstract .....	16
Einleitung.....	16
1 Der Höhlenkomplex des Fuchslabyrinths.....	16
1.1 Lage .....	17
1.2 Ausdehnung .....	17
1.3 Benachbarte Höhlen und Karsterscheinungen.....	19
1.4 Forschungsgeschichte .....	19
1.5 Raumformen.....	20
1.6 Höhleninhalt .....	22
2 Schichtenfolge und Hydrogeologie .....	22
2.1 Deckschichten des Muschelkalks: Lettenkeuper.....	22
2.2 Muschelkalk.....	24
3 Die Tektonik des Fuchslabyrinths und seiner näheren Umgebung .....	26
3.1 Klufftektonik.....	26
3.2 Gangverlauf und Tektonik.....	27
3.3 Schichtlagerung und Lineationen im Top des Schrozberger Schilds.....	28
3.4 Talrichtungen .....	29
3.5 Schlussfolgerungen aus der Tektonik.....	30
4 Landschaftsgeschichte von Osthohenlohe .....	30
5 Die Speläogenese des Fuchslabyrinths.....	32
5.1 Ältere Vorstellungen .....	32
5.2 Ereignisabfolge in der Entwicklung des Fuchslabyrinths .....	33
5.3 Zeitliche Abfolge der Verkarstung (Tab. 2) .....	34
6 Epigen oder hypogen? .....	36
Dank.....	36
Schriftenverzeichnis .....	36

## Zusammenfassung

Das Fuchslabyrinth ist mit 13,9 km eines der längsten labyrinthischen Höhlensysteme in Deutschland. Es liegt im obersten Oberen Muschelkalk, wenige Meter unter der Grenze zum Keuper. Der Höhlenverlauf ist dominiert von N-S und WNW-ESE verlaufenden Kluff-Systemen. Die Entstehung des Fuchslabyrinths begann vor etwa 4 Millionen Jahren, als im

---

**Anschriften der Verfasser:** Dr. ANDREAS HOYDEM, Forststr. 15, 75223 Niefern-Öschelbronn, e-mail: muschkalkarst@googlemail.com; MARKUS PANTLE, Bachstr. 38, 71723 Großbottwar, e-mail: pantle.m@web.de; THOMAS RATHGEBER, Frank-Sinatra-Str. 4, 71711 Steinheim, email: rathgeber@gmx.de; Prof. Dr. THEO SIMON, Gehrendshalde 42, 74427 Fichtenberg, email: simon-fichtenberg@gmx.de.

tektonisch höchsten Bereich des Schrozberger Schilds die Erosion die Grenze Gipskeuper-/Lettenkeuper (Grabfeld-/Erfurt-Formation) erreicht hatte. Ab diesem Zeitpunkt konnte Oberflächenwasser in den im Muschelkalk nach N abfließenden Grundwasserstrom eintreten und für Mischungskorrosion an Klüften sorgen. Die Auslaugung flächenhafter Anastomosen („Sandwiches“) begann vermutlich sogar etwas früher. Dieses labyrinthisch angelegte Obere Stockwerk wurde im späten Pliozän und im Quartär teilweise oder ganz mit Lehm und Lettenkeuper-Residuen verfüllt und danach zum Teil wieder freigelegt. Die Bildung des rezent noch aktiven (vadosen), linear ausgebildeten Unteren Stockwerks (Ölloch, Wassergang) erfolgte nach der Eintiefung des Vorfluters Schandtauber erst im jüngeren Quartär, rückschreitend von der Quelle in Bettenfeld aus, und ist noch nicht abgeschlossen. Die beiden Stockwerke sind genetisch voneinander unabhängig und epigen entstanden.

## Abstract

With an explored length of 13.9 km the Fuchslabyrinth cave system is one of the longest maze-caves in Germany. It is situated in the Upper Muschelkalk, less than ten meters below the Keuper. The maze is primarily characterized by N-S and secondarily by WNW-ESE joints, underlain by a vadose lower level. The age of the Fuchslabyrinth cave system is approx. 4 Ma. Its development commenced on the top of the up-doming "Schrozberger Schild" when denudation had reached the boundary between Middle and Lower Keuper (boundary between Grabfeld and Erfurt formations). Subsequently, surface water dissipated into the northward flowing groundwater regime of the underlying Muschelkalk causing mixing corrosion along joints. The corrosion of the wide spread laminar anastomoses ("sandwiches") commenced probably somewhat earlier. The labyrinthic upper level was partly or even completely filled up by clay and Lower Keuper residual material during late Pliocene and Quaternary times. Later, it was partially washed out. The still vadose linear lower level (Ölloch, Wassergang) originated from deep erosive incision of the Schandtauber draining channel commencing not before late Quaternary times. The ongoing process of karstification occurs in a back-stepping way that started at the Schandtauber spring near Bettenfeld. Both levels are genetically independent and of epigenetic origin.

## Einleitung

Beim 9. Laichinger Symposium „Verkarstung in Süddeutschland“ im Jahr 2015 wurde in Vorträgen von M. WASMUND und M. TRAPPE eine hypogene Genese des Fuchslabyrinths in Erwägung gezogen oder für wahrscheinlich gehalten (WASMUND & ROSS 2015; TRAPPE & ENGELHARDT 2015). Dem wurde in der anschließenden Diskussion von A. HOYDEM und T. SIMON widersprochen. Diesen Widerspruch zu lösen, fanden sich die Verfasser mit dem Ziel zusammen, die Entstehung des Fuchslabyrinths gemeinsam zu erforschen.

## 1 Der Höhlenkomplex des Fuchslabyrinths

Unter dem Oberbegriff „Fuchslabyrinth“ werden in diesem Artikel neben der eigentlichen Labyrinth-Höhle mit ihrem Wasser-

gang auch das benachbarte Ölloch und einige Spaltenhöhlen zusammengefasst. Letztere wurden entweder im angrenzenden Steinbruch abgebaut oder waren nicht befahrbar mit dem Fuchslabyrinth verbunden, gehören aber genetisch zusammen. Der ganze Höhlenkomplex (Tab. 1) umfasst zurzeit eine bekannte Ganglänge von gut 14,6 km. Die Höhlen können drei Stockwerken zugeordnet werden:

- Oberes Stockwerk: Labyrinth-Teil des Fuchslabyrinths und Spaltenhöhlen (trocken),
- Unteres Stockwerk: Wassergang des Fuchslabyrinths und Ölloch (wasserführend),
- Tiefes Stockwerk: vollständig wassererfüllter Bereich unter dem Grundwasserspiegel (in dessen Schwankungsbereich befindet sich die Bootshöhle).

Tab. 1: Fuchslabyrinth und benachbarte Höhlen im Bereich des Steinbruchs Schmalfelden (Auszug aus dem „Höhlenkataster Südwestdeutschland“, Stand September 2018).

Kataster- Nummer	Alte Kat.- Nummer	Höhlenname (Bezeichnung)	GK-Koordinaten		Höhe üb. NN	Gesamt- länge
			Rechtswert	Hochwert		
<b>Oberes Stockwerk</b>						
6626/3	6626/3A	∅ Fuchslabyrinth	35 74645	54 66240	467*	13.885
—	6626/3B	∅ (mit Saurierspalte)	35 74640	54 66200	467*	<183>
6626/3a	—	(heutiger Einstiegsschacht)	35 74640	54 66190	475	—
6626/31	6626/3C	∅ Skelettspalte	35 74620	54 66195	467*	42
6626/32	6626/3D	∅ Schmetterlingsspalte	35 74610	54 66195	467*	36
6626/33	6626/3E	∅ Sinterspalte	35 74600	54 66195	467*	75
6626/22	6626/22	† Schmalfeld. Steinbruchhöhle	35 74900	54 66550	475*	35
6626/23	6626/23	† Schmalfeldener Osterhöhle	35 74950	54 66550	475*	50
6626/26	6626/26	Protokollhöhle	35 75030	54 66790	471	25
<b>Unteres Stockwerk</b>						
6626/4	6626/4	Ölloch (Schachteinstieg)	35 74530	54 66230	468	499
—	—	(Höhlenbachniveau)	—	—	462	—
6626/3	—	Fuchslabyr. („Wassergang“)	—	—	460	<2.100>
6626/27	6626/27	Bootshöhle	35 75250	54 66770	458	21

Die Zeichen bedeuten:

∅ Höhleneingang verschüttet                      † Höhle abgebaut                      \* Eingangsniveau in der ehem. Steinbruchwand

Koordinaten in 5 m-, Höhen in 1 m-Schritten gerundet                      <...> Wert in der Gesamtlänge des Fuchslabyrinths enthalten

## 1.1 Lage

Das Fuchslabyrinth liegt im östlichen Teil der Hohenloher Ebene, etwa 12 km west-südwestlich von Rothenburg ob der Tauber. Wesentliche Teile der annähernd horizontal verlaufenden Höhle erstrecken sich unter dem Dorf Schmalfelden. Der Abstand zwischen Höhlenbasis und Geländeoberfläche beträgt 5 bis 20 m. Ob es jemals vor dem im Steinbruch erschlossenen Eingang einen Zugang gab, ist nicht bekannt. Jedoch gelangten zu verschiedenen Zeiten kleine Tiere in die Höhle, vermutlich durch Erdfälle, die zum Teil noch heute existieren.

Die flach gewölbte Oberfläche entbehrt tieferer Täler, die unter das Höhlenniveau hinunterreichen. Erst 5 km nordwestlich und 9 km östlich sind Täler so tief eingeschnitten, dass sie als Vorfluter dienen können.

## 1.2 Ausdehnung

Die bisher vermessene Gesamtlänge des eigentlichen Fuchslabyrinths von 13,9 km (Stand September 2018) ergibt sich vorwiegend aus der sehr großen Zahl korrodierter

Klüfte, ergänzt durch den etwa 2,1 Kilometer langen Wassergang, der – wie auch das benachbarte Ölloch – wenige Meter unterhalb des Labyrinth-Niveaus verläuft.

Ohne den Wassergang erstreckt sich der bisher bekannte, als Labyrinth ausgebildete Gangkomplex auf einer Fläche von nur ca. 300 x 550 m. Im Norden enden alle Gänge in Verbruchzonen.

Die bisher erforschten Teile des Unteren Stockwerks, Ölloch und Wassergang, verlaufen im Oberlauf von N nach S, dann von W nach E. Das in Luftlinie 1,2 km entfernte östliche Ende ist ein Siphon südlich von Großbärenweiler. Von dort erfolgt die Entwässerung weiterhin unterirdisch über unbekannte Passagen sowie durch sechs im „Höhlenkataster Südwestdeutschland“ dokumentierte Höhlen – Schandloch (6626/20), Rohrbrunnenhöhle (6626/24), Gammesfelder Höhle (6626/2), Schandtauberhöhle 3 (6626/34), Schandtauberhöhle 2 (6626/17) und Schandtauberhöhle 1 (6626/1) – zu den Schandtauberquellen in Bettenfeld (HOYDEM 1987, 2015; MÜLLER 1989; PANTLE 1994, 2012a; ZANDER 1973).

Beim Betrachten des Höhlenplans (siehe Abb. 1) gewinnt man den Eindruck, dass es sich um zwei separate Höhlen handelt: um die weitgehend trockene, stark verzweigte

Labyrinth-Höhle, das Obere Stockwerk, und um den von einem Bach durchflossenen, überwiegend linear verlaufenden Wassergang, der zusammen mit dem sich bachauf-

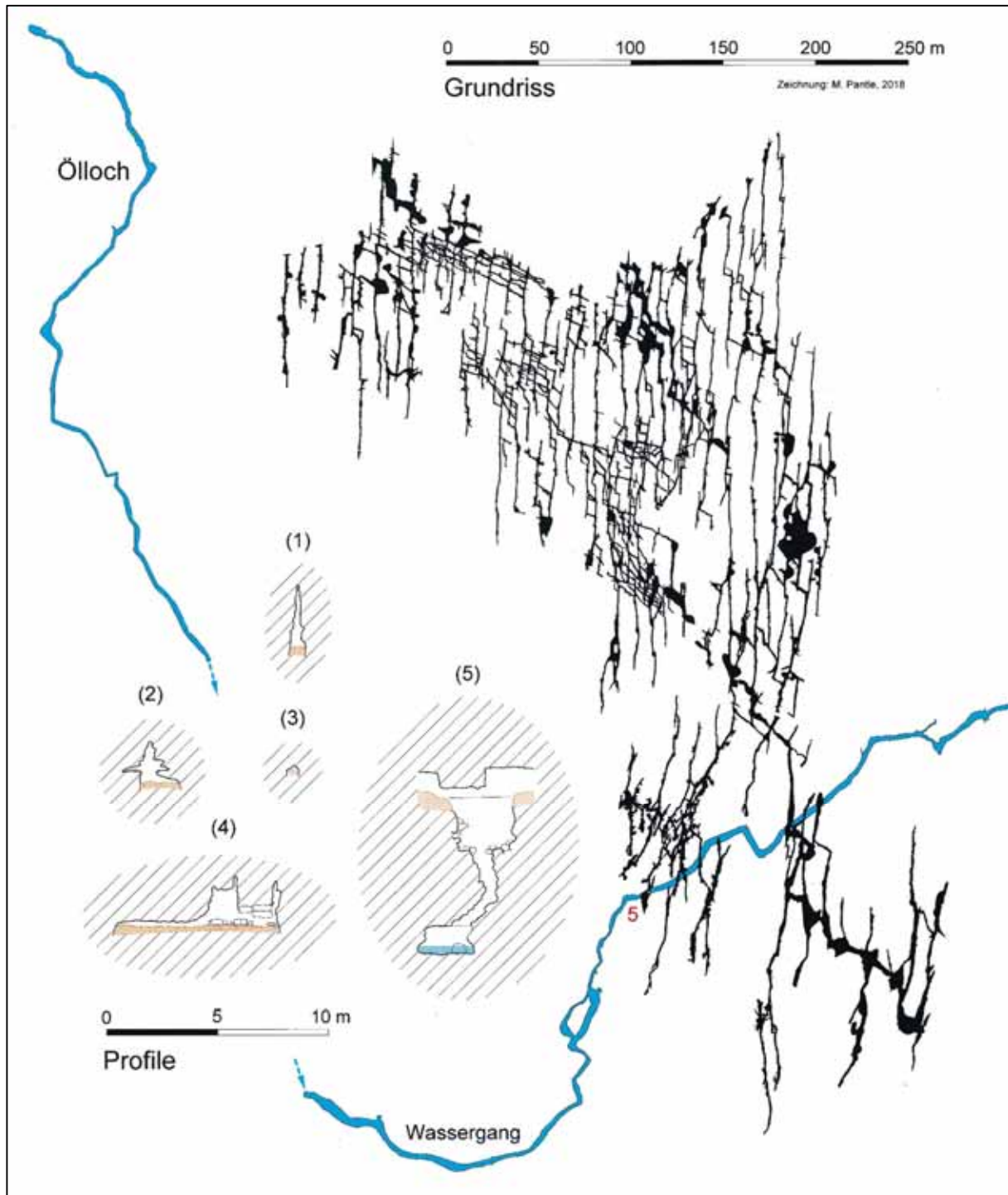


Abb. 1: Der Höhlenkomplex des Fuchslabyrinths im Grundriss. Darstellung des Oberen Stockwerks in Schwarz, bestehend aus dem labyrinthisch angelegten Gangsystem und den drei Spaltenhöhlen. Darstellung des Unteren Stockwerks in Blau, bestehend aus dem westlichen Abschnitt des Wassergangs und der separaten Wasserhöhle Ölloch. Links einige typische Raumprofile: (1) N-S-Kluftgang, (2) Kluftgang mit dreieckigem Profil, (3) WNW-ESE-Verbindungsgang, (4) „Sandwich“-Struktur mit Inkasion, (5) Abstieg in den Wassergang (in Rot: Angabe der Verbindungsstelle im Grundriss).

wärts erstreckenden, noch nicht verbundenen Ölloch das Untere Stockwerk bildet. Bisher ist nur eine befahrbare Verbindung zwischen dem Oberen und dem Unteren Stockwerk bekannt, und zwar im Fuchslabyrinth (Abb. 1, Profil 5). Weitere Verbindungen können aufgrund von Luftströmungen und Fließgeräuschen vermutet werden.

### 1.3 Benachbarte Höhlen und Karsterscheinungen

Vom Höhleneingang am Rand des aufgelassenen und in diesem Bereich weitgehend verfüllten Schmalfeldener Steinbruchs erstreckt sich das Fuchslabyrinth nach Südosten. Eventuell früher vorhandene nördliche Teile wurden abgebaut. In diesem Gebiet lagen auch die 1989 erkundeten Kluftspalten Schmalfeldener Steinbruchhöhle (6626/22) und Schmalfeldener Osterhöhle (6626/23), die genetisch dem Oberen Stockwerk des Fuchslabyrinths zugerechnet werden. Dies gilt ebenso für drei durch die Steinbruchverfüllung unzugänglich gewordene Höhlen westlich des heutigen Fuchslabyrinth-Eingangs: Skelettspalte (6626/31), Schmetterlingsspalte (6626/32) und Sinterspalte (6626/33) (siehe Tab. 1).

In der Nordwand des Steinbruchs, ca. 650 m vom Eingang des Fuchslabyrinths entfernt, liegt die insgesamt 25 m lange Protokollhöhle (6626/26), die sich 20 m nach Norden erstreckt (RENZ 2004). In derselben Steinbruchwand konnte ca. 10 m unterhalb der Schichtgrenze Lettenkeuper/Oberer Muschelkalk (ku/mo) die nahezu schlammgefüllte Bootshöhle (6626/27) 21 m weit erkundet werden (BITZER 2016).

In unmittelbarer Nachbarschaft des Fuchslabyrinths gibt es weitere Karsterscheinungen, die zweifellos mit dem Höhlensystem verbunden sind: Direkt über dem labyrinthischen Teil der Höhle befinden sich noch heute zwei Erdfälle; einer von diesen speist bei Starkregen Wasser in die „Große Regenklamm“ des Fuchslabyrinths ein. Ein dritter Erdfall lässt sich in der Höhle durch Bauschutt nachweisen, der von oben eingebrochen ist. Weitere, inzwischen aufgefüllte Erdfälle sind erkennbar, entweder in der Höhle selbst durch eingebrachte Sedimente

oder sie können aufgrund alter topographischer Karten und der Analyse von Oberflächenbildern lokalisiert werden.

Offensichtlich besteht zwischen einem nur 100 m westlich des Fuchslabyrinths gelegenen Erdfall, der „Pumpenhausdoline“, und dem Wassergang eine Verbindung, wie sich durch eingeschwemmte spätmittelalterliche Gefäßreste (PANTLE 2012b) und neuzeitlichen Zivilisationsmüll gezeigt hat. Dieser Erdfall wurde schon 1788, als für das Dorf wesentlich, in seiner Doppelfunktion als Brunnen und als Schwinde erwähnt (A. A. 1788). Etwa 500 m weiter westlich entwässert eine Bachschwinde ebenfalls in Richtung Wassergang (Abb. 5 und 9).

150 m nördlich der Pumpenhausdoline endet das auf rund 500 m Länge erforschte Ölloch (WASMUND 2016). In ihm fließt ein unterirdisches Bächlein, das eine etwas weiter nordwestlich gelegene Bachschwinde entwässert und über die Pumpenhausdoline mit dem Wassergang des Fuchslabyrinths hydrologisch verbunden ist.

Darüber hinaus brach 2016 nahe der Pumpenhausdoline in der Straße nach Naicha ein Erdfall ein. Nach einem Gutachten für das Bürgermeisteramt Schmalfelden hatte man bereits 1948 in unmittelbarer Nähe bei Bohrarbeiten wassererfüllte unterirdische Hohlräume angetroffen (CARLÉ 1948).

### 1.4 Forschungsgeschichte

Die Erforschung des Fuchslabyrinths erfolgte anfangs durch einen im Steinbruch von Schmalfelden angeschnittenen Zugang. Steinbrucharbeiter berichteten, dass die Höhle in den 1960er Jahren angesprengt wurde. Durch einen Hinweis von H. ILLICH, Marbach am Neckar, wurden Höhlenforscher auf die Höhle aufmerksam, die erste Befahrung unternahm T. RATHGEBER im November 1974 (MÜLLER et al. 1994, WASMUND 2012). Seitdem wurde die Höhle von der Arbeitsgemeinschaft Höhle und Karst Stuttgart, in der Anfangszeit hauptsächlich durch die Familie NETHING, Uhingen, in wechselnder Intensität erforscht (RATHGEBER 1977). Dabei unterstützten andere Höhlenvereine, z. B. die Höhlenforschungsgruppe Ostalb-Kirchheim, und viele Einzelpersonen die Forschung.

Einen unterlagernden Wassergang hatte man schon lange vermutet, entdeckt wurde er erst 1989. Die räumliche Erforschung des Fuchslabyrinths ist noch nicht abgeschlossen, gestaltet sich aber wegen der Entfernungen und der Beschwerlichkeit der Fortbewegung in den kleinräumigen Gängen zunehmend mühsam. Insbesondere die vom Eingang weit entfernten Siphons des Wassergangs bilden Forschungshindernisse. Nach teilweiser Auffüllung und Renaturierung des Steinbruchs wurden für das Fuchslabyrinth künstliche Eingänge geschaffen. Der aktuell benutzte Eingang liegt nahe des alten Eingangs am Rand des ehemaligen, jetzt aufgefüllten Steinbruchgeländes.

## 1.5 Raumformen

Die Raumformen des Fuchslabyrinths sind schon an anderer Stelle (ROSS 2016) ausführlich beschrieben worden. Sie ähneln sehr denen der Klufthöhle bei Moestroff in Luxemburg, die ebenfalls im Muschelkalk liegt (z. B. MASSEN et al. 1994).

Die häufigste Raumform im Fuchslabyrinth sind enge, an Nord-Süd-Klüfte gebundene Gänge, die an den meisten Stellen mit Lehm teilweise verfüllt sind (Abb. 1, Profil 1 und Abb. 2, Foto 1). Der luftgefüllte Teil dieser Klüftgänge hat eine Höhe von 0,3 bis über 2 m. Wenige Stellen ganz ohne Lehmfüllung am Boden lassen erkennen, dass die Gesamthöhe der korrodierten Klüfte 4 m übersteigen kann. Der Querschnitt der Klüftgänge entspricht einer äußerst schmalen, auf der Spitze stehenden Raute mit maximalen Breiten von ca. 0,5 bis 1 m.

Die Klüftgänge werden durch meist in WNW-ESE-Richtung verlaufende Passagen und Röhren vernetzt. Diese sind deutlich kleiner dimensioniert und oft von ellipsoförmigem Querschnitt (Abb. 1, Profil 3, und Abb. 2, Foto 3), ebenfalls aber stets an Klüfte gebunden.

Auffallende Raumformen im Fuchslabyrinth sind oft weitgespannte, an Schichtflächen gebundene Strukturen, die von WASMUND & ROSS (2015: 95-96) als „Sandwiches“ bezeichnet wurden (Abb. 1, Profil 4, und Abb. 13). Es handelt sich um sehr flache Auslaugungshohlräume mit einer Ausdehnung bis

über 10 m und einer Höhe von maximal 0,5 m, zumeist aber deutlich darunter. Sie können in West-Ost-Richtung zwei oder mehrere Nord-Süd-Klüftgänge verbinden. Die Genese dieser „Sandwich“-Strukturen lässt sich nach Untersuchungen im Steinbruch Schmalfelden und im Fuchslabyrinth selbst relativ zwanglos erklären (siehe Kap. 5.2). Aufgrund der großen Spannweite ist der hangende Fels an vielen Stellen eingebrochen, jedoch beträgt die „Fallhöhe“ maximal wenige Dezimeter. Die Inkasion erfolgte geologisch neuzeitlich, wohl im Holozän, denn die heruntergefallenen Partien liegen auf dem Lehm in den Hohlräumen. Ein Durchpausen bis zur Oberfläche wurde nicht beobachtet, da sich die überlagernden Schichten bisher als stabil genug erwiesen. Absackungen in der Höhle selbst deuten darauf hin, dass es mehr als einen „Sandwich“-Horizont gibt.

An manchen Stellen des Fuchslabyrinths sind die Klüfte geräumig erweitert und haben einen dreieckigen Querschnitt mit einer Breite am Boden von ca. 2 m und einer Deckenhöhe von ebenfalls 2 m (Abb. 1, Profil 2). Interessanterweise sind direkt nebenan liegende Klüfte nur als schmale Spaltengänge ausgebildet. Die geräumigen dreieckigen Passagen zeigen allerdings keine klassischen Fließfacetten, sondern kleinteilige Laugformen, die sich von denen der Wände in den anderen Spalten kaum unterscheiden.

Bemerkenswert ist schließlich das Profil des ehemaligen Steinbrucheingangs der Höhle (WASMUND & ROSS 2015: Abb. 7). Es handelt sich um ein WNW-ESE verlaufendes Gangstück ohne markante Klüftbindung, das man vom Aussehen her als typisches „Flusshöhlenprofil“ interpretieren könnte (ROSS 2016: 109f). Wenn man den weiteren Verlauf dieser zunächst in einen Versturz ziehenden Passage extrapoliert, kann man eine ehemalige Verbindung zwischen den geräumigsten Höhlengängen konstruieren, die das Labyrinth – von Klüftgang zu Klüftgang weiterleitend – von WNW nach ESE durchzieht. Wir konnten jedoch keine Hinweise finden, dass es sich um einen ehemals wasserführenden Hauptgang handeln könnte, denn die Gangniveaus liegen im Oberen Stockwerk alle etwa auf gleicher Höhe. Ein Gefälle dieses hypothetischen

„alten Hauptgangs“ ist weder nach N noch nach S zu erkennen. Warum es derartige

Unterschiede in den Gangquerschnitten des Fuchslabyrinths gibt, ist bislang ungeklärt.



Abb. 2: Typische Gangprofile im Fuchslabyrinth. (1) 4 m hoher Kluftgang in N-S-Richtung mit Gesteinsbrücken. (2) Große Regenklamm. Holozän in den Schacht eingespülte Sedimente haben die ehemals plombierte Felsbrücke wieder freigelegt. In nur 30 Jahren sind aus dem überlagernden Erdfall bis zu 6 m lange Wurzelbärte in den wasserführenden Schacht gewachsen. (3) WNW-ESE verlaufender kluftgebundener Verbindungsgang mit Bodencanyon. (4) Wassergang. (5) Wassergang zwischen Schmalfelden und Großbärenweiler: breitgespannte Schichtfugendecke mit beginnender Canyonbildung. (Fotos 1 - 3: A. HOYDEM, 2018; 4 - 5: O. SCHWABE, 2016).

## 1.6 Höhleninhalt

### Lehm

Der augenfälligste Höhleninhalt der Labyrinthgänge ist der Lehm. Dieser füllt die Nord-Süd verlaufenden Kluftgänge meist bis zu zwei Dritteln aus. Das lässt sich an wenigen ausgespülten Stellen feststellen, an denen der Lehm abtransportiert wurde. In den WNW-ESE verlaufenden Verbindungsklüften bzw. -röhren ist die Lehmfüllung deutlich geringer. Das bedeutet (und ist auch hier und da sichtbar), dass die Sohle der WNW-ESE-Passagen deutlich höher liegt als die der Nord-Süd-Klüfte. Am Kreuzungspunkt solcher Passagen sind an manchen Stellen „Auslaufrinnen“ im Fels und im Lehm zu erkennen.

Der Lehm selbst ist oberflächlich – sofern nicht von Höhlenforschern verdichtet – von lockerer, krümeliger Beschaffenheit und stellenweise von Gipskristallnadeln durchsetzt. Der Gips stammt aus der Pyritverwitterung im Lettenkeuper. Die Farbe des Lehms ist braun. Im Anschnitt zeigt sich die Lehmfüllung inhomogen gelagert; offensichtlich gab es verschiedene Perioden der Sedimentierung mit unterschiedlicher Herkunft des Materials.

Die Lehmfüllung ist in den meisten Passagen in der Mitte gewölbt. In einigen Bereichen (Kluft 11 bis 24) ist die Gangsohle auch flach und teilweise mit einer hellgrauen Deckschicht versehen, die aus den Tonen des Lettenkeupers stammt. In den Jahren 2014/15 wurde lokal – ohne sichere speläogenetische Ergebnisse – eine detaillierte physikalische Untersuchung des Lehms durchgeführt (ENGELHARDT & TRAPPE 2015, TRAPPE & ENGELHARDT 2015).

Außer am Höhlenboden ist Lehm von krümeliger, z. T. mit Kristallen durchsetzter Beschaffenheit in Wandausbuchtungen erhalten. Möglicherweise hatte die Lehmfüllung der Gänge früher deutlich höher gereicht und wurde mit Ausnahme der Reste in den Wandnischen bis auf das heutige Niveau wieder ausgeräumt.

An manchen Stellen ist zu beobachten, dass der Lehm nach unten abgesackt ist und trichterförmige Vertiefungen im Gangboden bildet. Wahrscheinlich spielten hier Suffosionserscheinungen mit Sackungen eine Rolle. Zwar sind im labyrinthischen Teil

keine Zeichen neuzeitlicher Überschwemmungen zu sehen, junge Wasserstandsmarken im Abstieg zum Wassergang zeigen aber, dass auch heute noch der Wasserspiegel bis ca. 1 m unter die Gangsohle des Oberen Stockwerks ansteigen kann.

### Sinter

An einigen Stellen des Fuchslabyrinths ist Sinter vorhanden, nämlich dort, wo von oben Tropfwasser eindringt oder eindrang. Solche Stellen häufen sich im südlichen Teil des Labyrinths, wo die Lettenkeuper-Überdeckung weniger mächtig ist. Es gibt aber auch dort Stellen, an denen eindringendes Wasser keinen Sinter hinterlassen hat, sondern nur graues oder gar kein Sediment, besonders dort, wo viel Wasser von oben eindringt. An solchen Stellen hatte das Wasser dann eher korrosive Wirkung (SIMON 1982).

Eine Besonderheit sind die Sinterplatten im Bereich unter einem Erdfall östlich der Kirche von Schmalfelden. Diese mit Kristallrasen belegten Platten sind z. T. im Lehm des Ganges eingebettet. Es gab also an solchen Stellen nach der Sinterablagerung noch Sedimentation.

Altersbestimmungen an Sintern wurden bisher nicht durchgeführt.

## 2 Schichtenfolge und Hydrogeologie

### 2.1 Deckschichten des Muschelkalks: Lettenkeuper

Der Lettenkeuper oder Unterkeuper (Erfurt-Formation) ist an der Ostwand des aufgelassenen Steinbruchs Schmalfelden in einer Mächtigkeit von 20 m aufgeschlossen. Die Schichtenfolge reicht oben bis in den Linguladolomit (Abb. 3 und 4). Bis zur Grenze Lettenkeuper/Gipskeuper sind nach oben noch etwa 3 bis 4 m hinzuzurechnen. Am heute nicht mehr zugänglichen Eingang des Fuchslabyrinths, in der ehemaligen Steinbruchwand, lag die Geländeoberfläche nur wenig über der Grenze Lettenkeuper/Muschelkalk. Im Bereich des Fuchslabyrinths kann die Lettenkeuper-Bedeckung auf etwa 3 bis 5 m ansteigen, d. h., die Erdoberfläche liegt im Niveau der Estherienschichten oder des Hauptsandsteins.



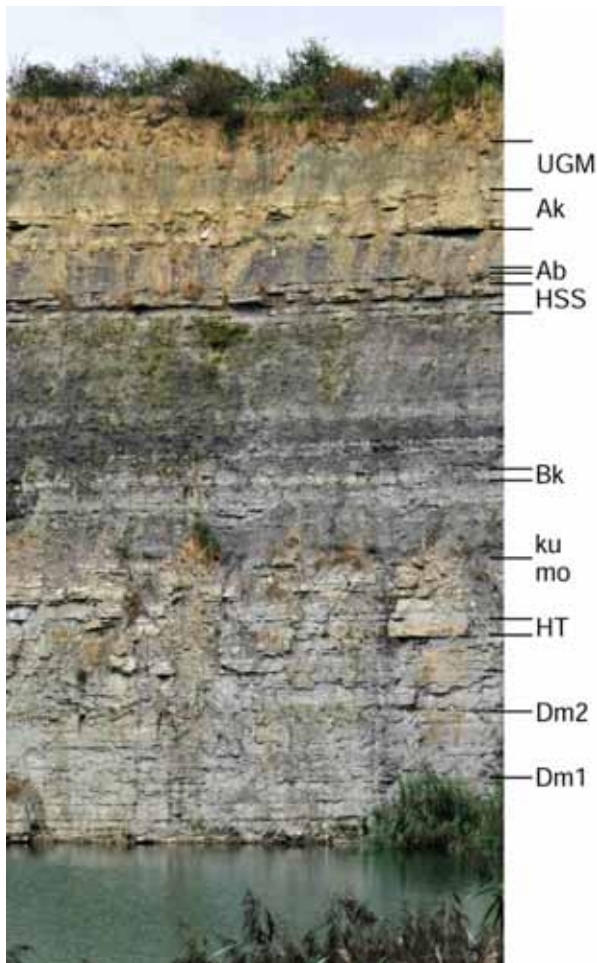


Abb. 3: Lettenkeuper und Muschelkalk im Steinbruch Schmalfelden, Ostwand (Foto: T. SIMON, 03.09.2018). Abkürzungen: UGM Untere Graue Mergel, Ak Anthrakonitbank, Al Albertibank, HSS Hauptsandstein, Bk Blaukalk, ku Lettenkeuper, mo Oberer Muschelkalk, HT Hauptterebatelbank, Dm2 Dolomitische Mergel 2, Dm1 Dolomitische Mergel 1.

Der Lettenkeuper besteht generell aus einer Bankfolge von Kalk- bzw. Dolomitsteinen und Sandsteinen, die in bis zu mehrere Meter mächtige Tonsteine eingebettet sind. Die Kalk-, Dolomit- und Sandstein-Bänke sind klüftig und können daher Wasser führen. Oft weisen sie eine Schichtgrundwasserführung auf (SIMON 1982, 1985b, HAGDORN & SIMON 1988). Es können durchaus Durchlässigkeitsbeiwerte bis  $k_f = 1 \cdot 10^{-4}$  m/s auftreten. Die Tonsteine sind gering wasserdurchlässig, aber nicht undurchlässig. Ihr  $k_f$ -Wert dürfte im Mittel bei  $k_f = 1 \cdot 10^{-6}$  m/s liegen. Das bedeutet, dass auf einer Fläche von 1 km<sup>2</sup> 1 l/s Wasser nach unten abfließen kann, wenn sich unter der Tonsteinschicht ein nicht vollständig wasser-

erfüllter Bereich befindet. Dies wird durch folgende Beobachtung aus der Heilbronner Mulde bestätigt (RAUSCH et al. 1995: 32): auch unter vollständig mit Lettenkeuper bedeckten Gebieten ist der Obere Muschelkalk verkarstet und weist Grundwasserführung auf. Das Grundwasser muss, bevor es den Muschelkalk erreicht, durch die Lettenkeuperschichten hindurch sickern. In Hohenlohe hat man eine Gesamtgrundwasserneubildung von etwa 4 bis 5 l/s km<sup>2</sup> für den Muschelkalk festgestellt (JUNGBAUER 1983, SIMON 1980, ZANDER 1973). Dieses Wasser passiert den Lettenkeuper auf zwei Wegen:

- (1) direkt vom Lettenkeuper unterirdisch in den Muschelkalk und
- (2) über Lettenkeuperquellen und anschließende oberirdische Versickerung in den Muschelkalk. Diese Komponente liegt bei etwa 1 bis 2 l/s km<sup>2</sup>.

Die Wassermenge, die die Tonsteine des Lettenkeupers mit Sicherheit durchfließt, kann durch einfache Subtraktion ermittelt werden:

Die Differenz der beiden Mengen, Grundwasserneubildung minus (2), ergibt eine Grundwasserneubildung – allein für den Muschelkalk – von 2 bis 3 l/s km<sup>2</sup>. Der oben angegebene  $k_f$ -Wert kann mit einer hydraulischen Berechnung somit sogar konkretisiert werden: 2 bis  $3 \cdot 10^{-6}$  m/s. Auch Untersuchungen zur Durchlässigkeit von Tonsteinen (VIETOR 2017) zeigen, dass in nicht oder wenig verwitterten Tonsteinen nahe der Geländeoberfläche die feine engständige Klüftung noch gut erhalten ist, infolgedessen in Tonsteinen Durchlässigkeiten bis nahe  $k_f = 1 \cdot 10^{-4}$  vorkommen. Die Durchlässigkeit der Tonsteine geht mit zunehmendem Verwitterungsgrad durch Tonbeläge stark zurück, ebenso auch zur Tiefe hin, da der Überlagerungsdruck Klüfte verschlossen hält. Bei Schrumpfung des durch Verwitterung entstandenen Tons würde die Durchlässigkeit allerdings wieder steigen.

Als Fazit ergibt sich aus diesen Befunden: die Deckschichten haben bei der Betrachtung der Verkarstung im Muschelkalk eine große Bedeutung, muss doch mehr als die Hälfte des Wassers im Muschelkalk die Lettenkeuperschichten passieren.

## 2.2 Muschelkalk

Die Schichten des Muschelkalks, die für die Entstehung des Fuchslabyrinths eine Rolle spielen, sind alle im Steinbruch Schmalfelden aufgeschlossen (Abb. 4).

Die Schichtenfolge der Meißenner-Formation des Oberen Muschelkalks beginnt oben mit 2 bis 3 m mächtigen gebankten Kalksteinen, die nur sehr dünne Tonsteinschichtfugen aufweisen. Darunter schließt sich eine Folge von gebankten, meist deutlich dünneren Kalksteinen an, die von bis zu 30 cm mächtigen Tonmergelsteinlagen unterbrochen werden (Dolomitische Mergel). In der Mitte dieser Schichtenfolge liegt das System des Fuchslabyrinths. Hier ist auch

die Verkarstung, wie man auch im Steinbruchaufschluss nahe des Einstiegschachts gut erkennen kann, am stärksten. Nach unten schließt sich eine Kalksteinfolge an, die sehr dicke Bänke aufweist (Quaderkalkfazies oder Kornsteinfazies). Diese Bankfolge ist durch zwei Tonmergelsteinfolgen unterteilt, die untere davon ist der Tonhorizont 6. Er liegt bereits unterhalb des Wasserspiegels. Er liegt bereits unterhalb des Wasserspiegels. Etwa ab den Dolomitischen Mergeln sind an den Steinbruchwänden nach unten bis zum Wasserspiegel des Karstwassersees im Steinbruch (Abb. 3) keine spektakulären Verkarstungserscheinungen mehr festzustellen, lediglich geringfügig korrosiv erweiterte Klüfte.

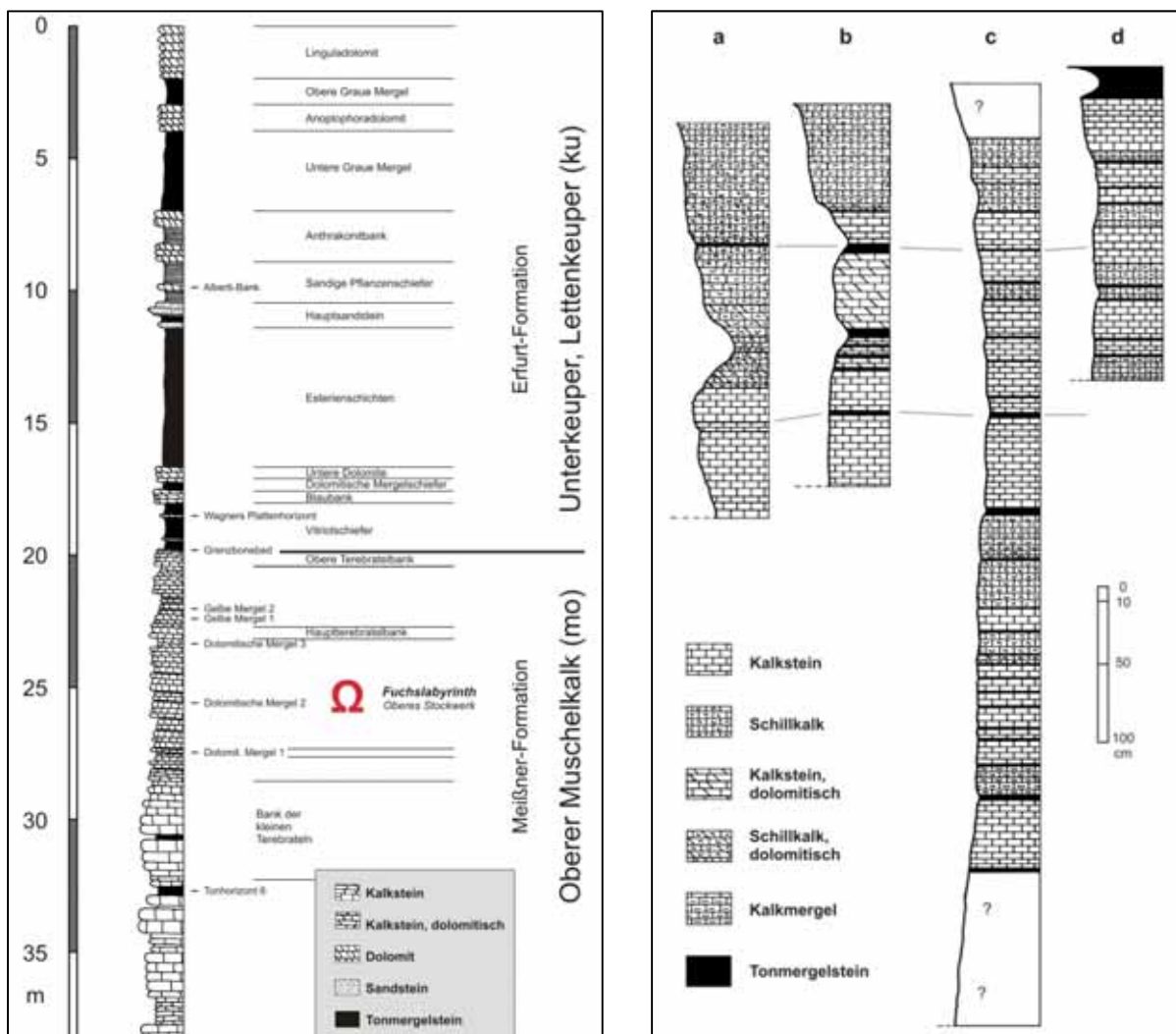


Abb. 4: Geologische Profile. Links Ostwand des Steinbruchs Schmalfelden (Aufnahme am 19. Juli 2016); unterhalb des Wasserspiegels (siehe Abb. 3) ergänzt nach RAUSCH & SIMON (1988). Rechts vier geologische Profile im Niveau der Dolomitischen Mergel aus den Nord-Süd-Kluftgängen des Fuchslabyrinths: (a) Kluft 1, Kluft nach der „Saurierspalte“; (b) Kluft 4 bzw. „Entdeckerkluft“ (Aufnahme am 26.04.2017) – (c) Kluft 31, „Große Regenklamm“ (Gestein oben und unten in der engen Spalte nicht beurteilbar); (d) Kluft 33, Kluft nach der „Kleinen Regenklamm“ (Aufnahme am 14.04.2018).

Karsthydrologisch kann der Obere Muschelkalk im Bereich des Fuchslabyrinths in mehrere Stockwerke gegliedert werden. In Anlehnung an SIMON (1986, 1987a, 2003, 2012) sind dies das Tiefe Stockwerk und die schwebenden Stockwerke darüber.

Das Tiefe Stockwerk ist im Steinbruch durch einen überwiegend von Grundwasser gespeisten See sichtbar, dessen Oberfläche eine Höhe von 458,37 m über NN (09.01.2016) hat. Im aufgenommenen geologischen Profil (Abb. 3 und 4) liegt seine Oberfläche im Bereich der Bank der kleinen Terebrateln. Unterhalb dieses Niveaus sind die Klüfte und Schichtfugen durchgehend von Grundwasser erfüllt. Der Wasserstand des Tiefen Stockwerks reicht von unten unterschiedlich nah an die Niveaus des Fuchslabyrinths heran, erreicht sie aber

nicht. Das heißt, dass auch der Wassergang einem schwebenden Schichtgrundwasserstockwerk angehört, welches wiederum dicht unter dem Oberen Stockwerk des Fuchslabyrinths liegt. Daraus ergibt sich als erste einfache Schlussfolgerung, dass das verzweigte Obere Stockwerk des Fuchslabyrinths heute ein „stillgelegtes“ Höhlensystem ist.

Die Vorflut für das Untere Stockwerk des Höhlensystems konnte ZANDER (1973) in der Schandtauber bei Bettenfeld nachweisen. Ob das Grundwasser auch im Tiefen Stockwerk zur Schandtauberquelle strömt, ist nicht gesichert. Es könnte einen Abfluss nach Norden, zum Rindbach bei Niederrimbach, geben. Um dies zu klären, müssten Grundwassermessstellen eingerichtet werden.

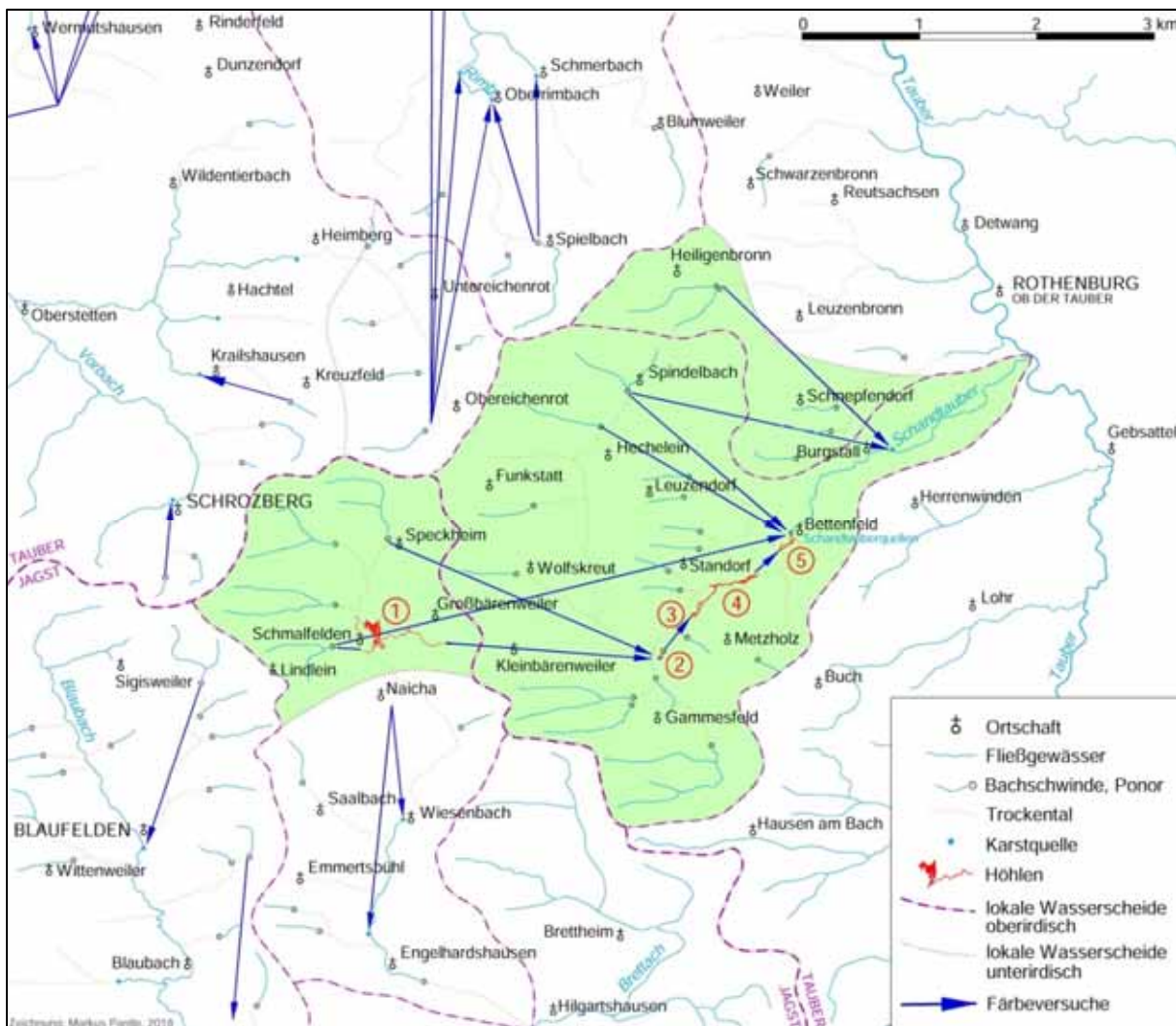


Abb. 5: Karsthydrographische Situation im Umfeld des Fuchslabyrinths für das Einzugsgebiet der Schandtauber. Unterirdische Entwässerung angelehnt an ZANDER (1973). (1) Fuchslabyrinth, (2) Rohrbrunnenhöhle, (3) Schandtauberhöhle 3, (4) Schandtauberhöhle 2, (5) Schandtauberhöhle 1.

Der Abfluss im schwebenden Unteren Stockwerk ist durch Markierungsversuche gut bekannt (ZANDER 1973). Das Karstwasser fließt generell nach Osten, zum einen durch einen aufgelassenen Steinbruch nördlich Gammesfeld und weiter von dort nach Nordosten durch die Schandtauberhöhlen 3 bis 1 nach Bettenfeld (Abb. 5) oder zum anderen direkt zu den dortigen Schandtauberquellen. Die Fließgeschwindigkeiten liegen bei 103 und 132 m/h, also bei Geschwindigkeiten, die einem oberirdischen Gewässer nahekommen. In durchgehend offenen, vadosen Karstgerinnen liegen die Fließgeschwindigkeiten allerdings meist um die 300 m/h. Daher ist anzunehmen, dass der Abfluss mehrfach in Siphonzonen und Verstürzbereichen gebremst wird. Belegt wird dies durch Siphone im Ölloch und an beiden Enden des Wassergangs sowie durch Verstürze im Schandloch, in der Rohrbrunnenhöhle und in den drei Schandtauberhöhlen.

### 3 Die Tektonik des Fuchslabyrinths und seiner näheren Umgebung

Um die Genese der Labyrinth-Höhle besser zu verstehen, wurden im und am Fuchslabyrinth im Top des Schrozberger Schilds, einer weit gespannten Schichtaufwölbung im Osten Hohenlohes, bruchtektonische Untersuchungen durchgeführt. Alle bruchtektonisch relevante Elemente wurden erfasst und zusätzlich weitere Befunde aus der Literatur in die Analyse aufgenommen und bewertet.

#### 3.1 Klufftektonik

Im Jahr 2017 erfolgte im stillgelegten Steinbruch Schmalfelden in Eingangsnähe des Fuchslabyrinths und des Öllochs eine neue Kluffaufnahme (Abb. 6). Zur Untersuchung wurden auch ältere Kluffaufnahmen von ZANDER (1973: 101), BAYER (1985: 36) und SCHOLZE (1996, 1998) herangezogen. Von allen Bearbeitern konnten rheinische und (flach)herzynische Richtungsmaxima nachgewiesen werden. Ihre gefundenen Kluffmaxima ähneln den neu ermittelten.

Das Untersuchungsgebiet wird im Wesentlichen von vier Hauptkluffrichtungen domi-

nirt. Nach absteigender Bedeutung sind es die Richtungen

- N-S (0 bis 15°)
- ESE-WNW (115 bis 125°)
- NE-SW (45 bis 50°)
- SE-NW (130 bis 140°)

Bei weitem vorherrschend sind im Steinbruch Schmalfelden flächen- und längenmäßig die Nord-Süd-Klüfte. Diese durchschlagen häufig die aufgeschlossenen Schichten des Oberen Muschelkalks und des Lettenkeupers. Nahezu alle diese großflächigen Klüfte sind mehr oder weniger stark verkarstet und z. T. durch nachgerutschtes Hangendes bzw. quartäre Lehme verfüllt. 1991 konnte A. HOYDEM sogar offene Kluffspalten im Lettenkeuper auffinden; hier erfolgte ein Nachsacken des Spalteninhalts trennflächenparallel in ausgelaugte unterlagernde Nord-Süd-Klüfte (HOYDEM 1992: 17).

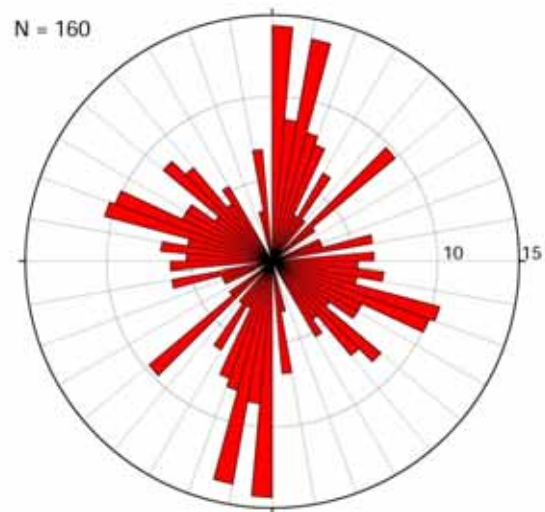


Abb. 6: Kluffrose aus dem Steinbruch Schmalfelden (Einheit: N = 1 m im Anschnitt bzw. 1 m<sup>2</sup> sichtbare Klufffläche).

Richtungsmodifikationen und Zwischenmaxima des rheinisch-herzynischen Orthogonalsystems sprechen für zwei sich überlagernde Kluffsysteme. Ähnliche Ergebnisse konnte BAYER (1985: 39) in Aufschlüssen der Umgebung ermitteln.

Verwerfungen kommen bei Schmalfelden in geringer Zahl vor, die Versatzbeträge sind mit bis zu 2 m gering. Teilweise sind diese Verwerfungen horizontal überprägt oder kleine Blattverschiebungen (HOYDEM 1992:

14). Einen messbaren Einfluss auf den Gangverlauf bzw. die Genese des Fuchslabyrinths haben die Verwerfungen anscheinend nicht. Zur Zeit des Abbaus waren um 1985 im Steinbruch Schmalfelden noch drei Verwerfungen aufgeschlossen. Mit 0,6 m hatte die flachherzynische (110/58 SSW) den größten Versatzbetrag. Die beiden kleineren (140/70 SW und 158/67 SW) mit 0,4 bzw. 0,15 m Versatz wiesen Horizontalharnische auf. Zudem waren die bis zu 10 cm geöffneten Bewegungshohlräume mit Kalzit und sogar mit Zinkblende (ZnS) verfüllt (BAYER 1985: 39). Diese Störungen werden von uns als reine Horizontalverschiebungen gedeutet.

RICKMANN (2003: 59) konnte im Luftbild NW-, NE- und ENE-streichende Störungszonen erkennen, die auch er teilweise als Blattverschiebungen interpretierte. Er weist auf niedrig angeordnete Begleitstörungen hin, die unserer Ansicht nach als Scherbewegungen zu den Horizontalverschiebungen zu deuten sind.

### 3.2 Gangverlauf und Tektonik

Wie schon aus dem Höhlenplan hervorgeht, wird das obere Stockwerk des Fuchslaby-

rinths von kluftgebundenen Nord-Süd-Gängen dominiert (Abb. 7b). Erst wenn man aus diesem Gangdiagramm die vorherrschende Nord-Süd-Richtung (0 bis 20°) nahezu eliminiert (Abb. 7c), fällt auf, dass auch die Querverbindungen in diesem zweidimensional vergitterten Labyrinth sehr deutlich den Kluftmaxima folgen. Dies war aus den vorliegenden Grundrissen bisher nicht eindeutig zu erschließen. Die Verbindungsgänge folgen aber ganz offensichtlich der ESE-Richtung. Der untergeordnete 30°-Peak liegt noch im Schwankungsbereich der rheinischen Richtung.

Ganz anders ist die Situation im unterlagernden Wassergang (Abb. 7d). Sein zumeist trapezförmiges Gangprofil von etwa 1,5 m Höhe und 5 m maximaler Breite weist nur sehr selten eine Bindung an Klüfte auf (ROSS 2016: 105). Selbst die im Oberen Stockwerk vorherrschenden Nord-Süd-Klüfte haben wenig Einfluss auf Gangausrichtung und -verlauf, obwohl sie sich – manchmal ausgelaugt – auch unterhalb des Oberen Stockwerks nachweisen lassen. Nur an wenigen Stellen im Verlauf des Wassergangs sind sie offen verkarstet, jedoch nicht gangrichtungsbestimmend.

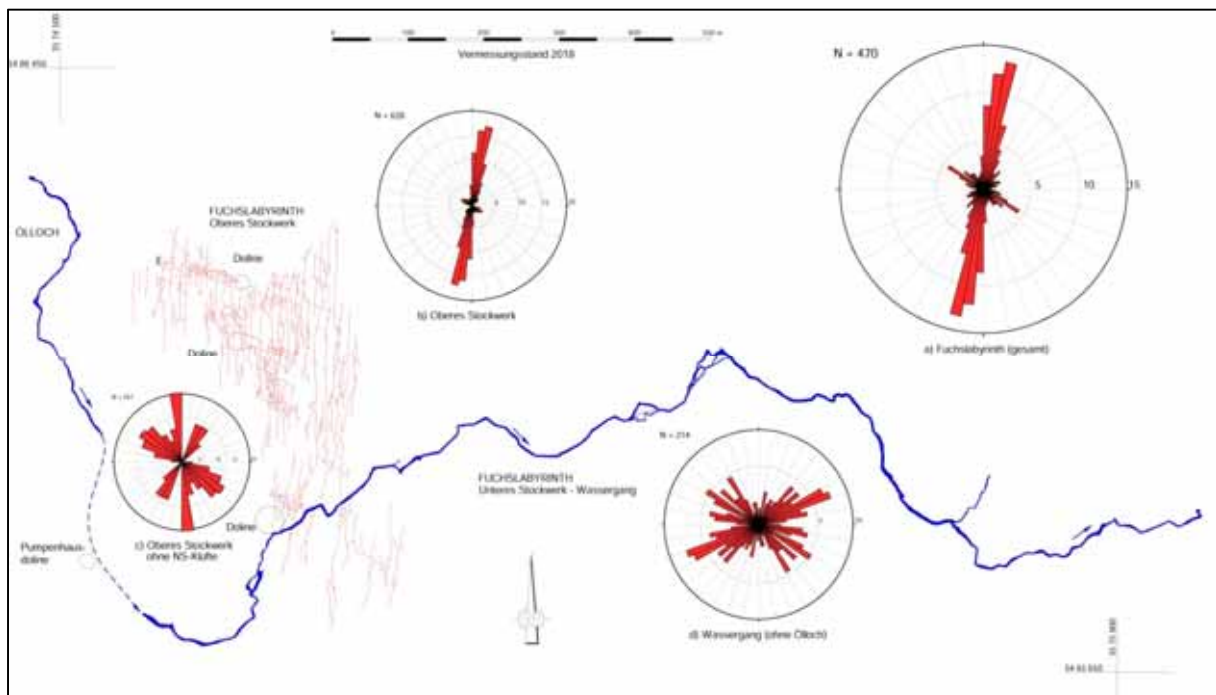


Abb. 7: Gangrichtungsrosen des Fuchslabyrinths (Einheit: N = 10 m Ganglänge). Einteilung der Rosen: a) - c) 5°, d) 10°. Insgesamt wurden ca. 8,4 km Messzuglänge ausgewertet. Nähere Ausführungen im Text.

### 3.3 Schichtlagerung und Lineationen im Top des Schrozberger Schilds

Die triassischen Schichten sind im Schrozberger Schild aufgewölbt (Abb. 8). Von der Kulmination des Schilds unmittelbar nördlich von Schmalfelden – also direkt beim Fuchslabyrinth (Abb. 9) – fallen die Schichten mit etwa 0,2 bis 0,4 % nach N, mit 0,2 bis 0,5 % nach S, mit weniger als 0,4 % nach W und mit etwa 0,5 bis 0,6 % nach E ein. Das flache Einfallen begünstigt lange Fließstrecken im Wassergang nach E bis hin zum Vorfluter, der Schandtauber bei Bettenfeld (HOYDEM 1992: 17). Nach E haben die Muschelkalkschichten auch das

stärkste Gefälle, und dieses verstärkt sich sogar noch mit zunehmender Entfernung vom Top des Schrozberger Schilds. Auch das fördert eine bedeutende schichtparallele Entwässerung in diese Richtung.

Luftbildlineationen im Top des Schrozberger Schilds konnten nach den Rohdaten von MARKUS SCHOLZE (Straßendatenflug von 1968 im Maßstab ca. 1:12.000) ausgewertet werden. Zusätzlich wurden Daten von BAYER (1985: 32) herangezogen (Luftbildmaßstab 1:29.000 und 1:10.500). Von uns wurde ein Teilausschnitt der Topographischen Karte 1:25.000, Blatt 6626 Schrozberg-Ost, ausgewertet (Abb. 10). Trotz desselben Bearbeitungsgebiets stimmen die Ergebnisse nur bedingt überein.

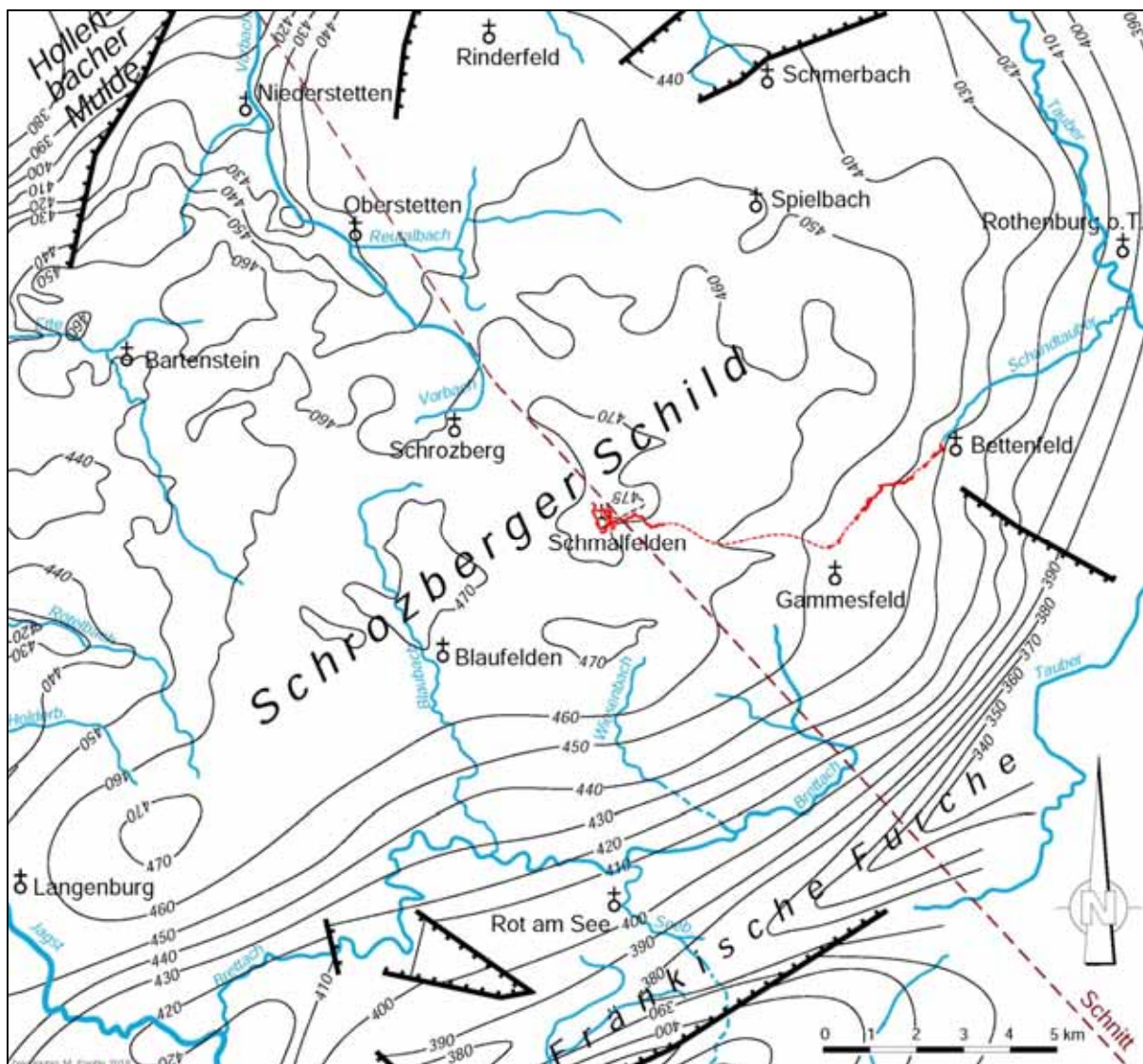


Abb. 8: Schichtlagerung im östlichen Hohenlohe. Die Streichkurven geben die Höhenlage der Oberfläche des Oberen Muschelkalks, Grenze ku/mo, wieder (nach ZANDER 1973, SIMON 2003, 2012 und RICKMANN & SIMON 2009). Höhlen in Rot, vermuteter Verlauf gestrichelt. Geländeschnitt siehe Abb. 12.

Maxima ergeben sich bei

– 40°

– 130°

– sowie untergeordnet um 70°.

Auch mit den Aufnahmen von BAYER (1985: 32) ergibt sich nur eine geringe Übereinstimmung. Ebenso korrelieren die Maxima aus den Rohdaten von SCHOLZE (Abb. 10) nur bedingt mit den ermittelten Klufmaxima. SCHOLZE (1998: 26) bemerkt, dass Aufnahmen verschiedener Bearbeiter des gleichen Gebiets zu verschiedenen Ergebnissen führen. Er sieht bei gleichen Eingangsvoraussetzungen allerdings Schwankungen um 10°. Zehn Grad Schwankung um einen Richtungspeak beinhaltet aber eine Bandbreite von wenigstens 20°, eventuell 30° bei entsprechender Gruppenwahl der Gradeinteilung. Wir können aus diesen Daten daher keine direkte Korrelation zu den tektonischen Elementen des Untersuchungsgebiets erkennen.

Die Lineationen stimmen also nur sehr untergeordnet mit den Gangrichtungen des Fuchslabyrinths und den lokalen Kluftrichtungen überein. Wir haben sie in die Analyse daher nicht einbezogen.

### 3.4 Talrichtungen

Ganz anders sieht es mit den Talrichtungen (Abb. 11) aus. Die Täler verlaufen überwiegend in E-W-Richtung, untergeordnet auch in 70° und 30°. Die 30°-Richtung lässt sich eindeutig mit den Hauptkluftrichtungen des Gebiets korrelieren, die 70°-Richtung deutet auf Begleitstrukturen zur Fränkischen Furche hin (HAGDORN & SIMON 1988: 90, BECKENBACH et al. 2013). Dominierend verlaufen die Täler des Untersuchungsgebiets jedoch in E-W-Richtung. Dies geht konform mit der Schichtlagerung und dem im Untersuchungsgebiet vorherrschenden Abfallen der Schichtaufwölbung des Schrozberger Schields in östlicher Richtung (Abb. 8 und 9).

Wenn man aus der Gangrose des Wassergangs den Richtungsvektor herauszieht, verläuft auch er etwa in E-W-Richtung. Somit folgt der Wassergang im Wesentlichen oberflächlichen Abflussrichtungen, die sich wiederum eng an der Schichtlagerung – und nicht an bruchtektonischen Elementen – orientieren. Schon BAYER (1985: 29) erkannte eine Entwässerung zur Schandtau-

ber nach Bettenfeld parallel zur Schichtabdachung des Schrozberger Schields nach Osten.

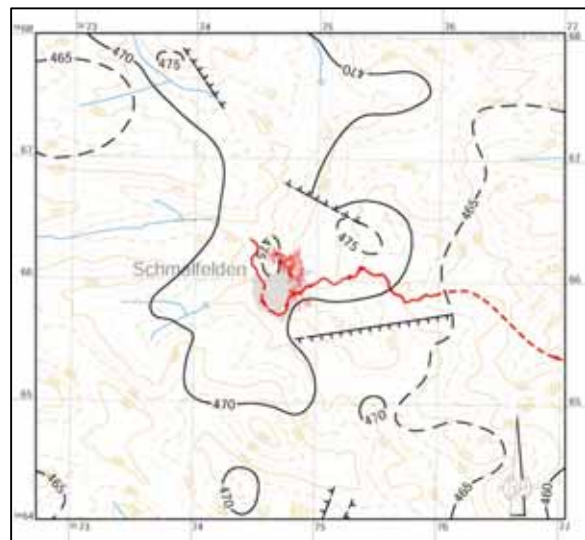


Abb. 9: Schichtlagerung im Bereich des Fuchslabyrinths. Höhlen in Rot, vermuteter Verlauf gestrichelt. Die Streichkurven, konstruiert nach RICKMANN & SIMON 2009, geben die Höhenlage der Oberfläche des Oberen Muschelkalks, Grenze ku/mo, wieder. Abstand der Gitterlinien – mit den Zahlenwerten der Gauß-Krüger-Koordinaten – 1 km.

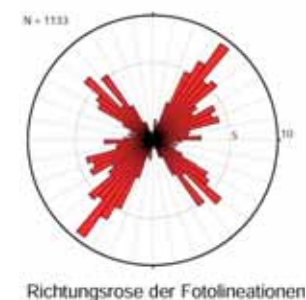
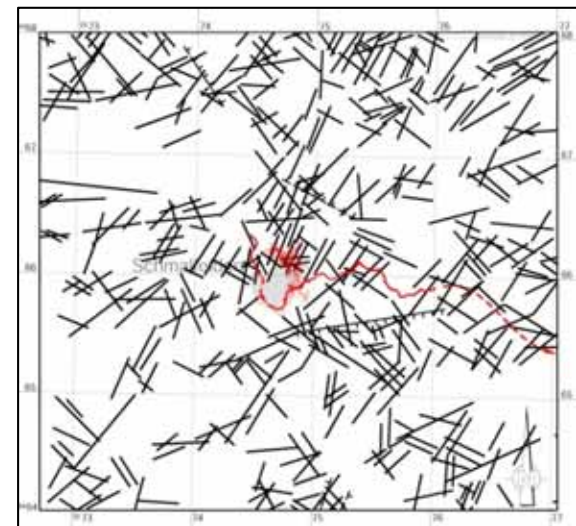


Abb. 10: Luftbildlineationen im Kernbereich des Schrozberger Schields (Einheit: N = 100 m Lineationslänge, Einteilung der Rose: 5°). Bearbeitet von A. HOYDEM nach Originalunterlagen von M. SCHOLZE. Abstand der Gitterlinien 1 km.

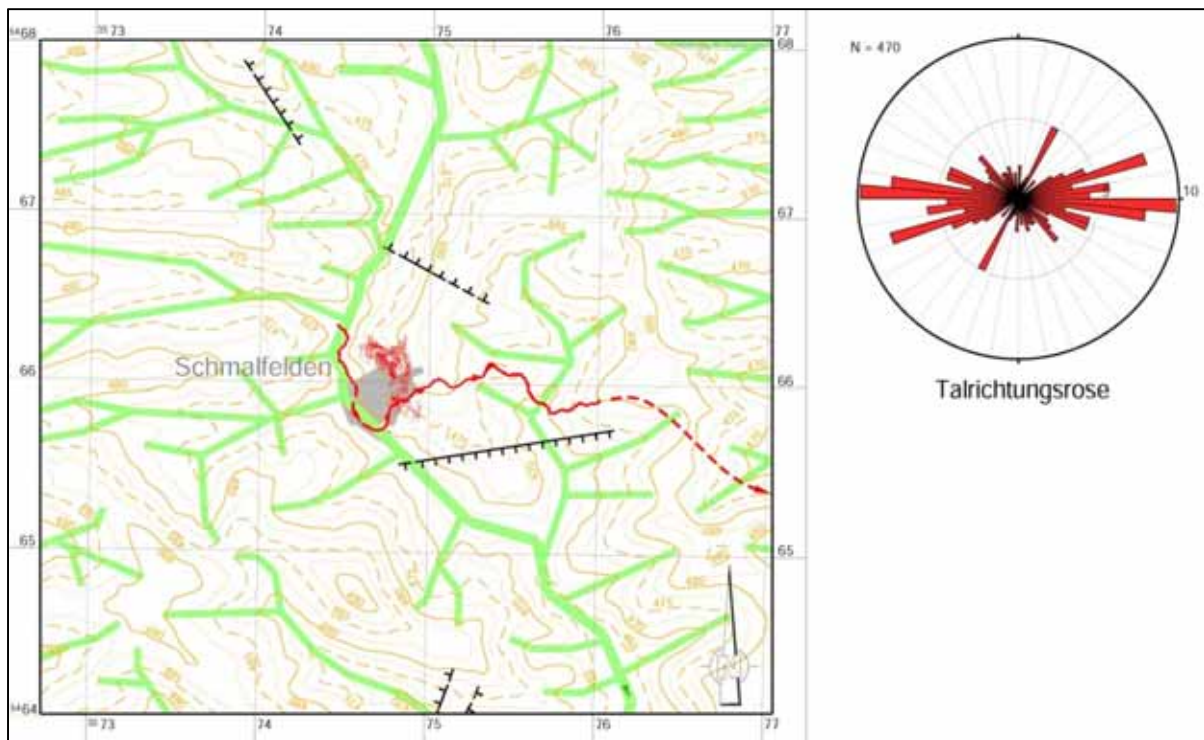


Abb. 11: Talrichtungen im Kernbereich des Schrozberger Schilts (Einheit: N = 100 m Tallänge, Einteilung der Rose: 5°, Außenradius = 10 N). Der Richtungsvektor ist eindeutig E-W. Abstand der Gitterlinien 1 km.

### 3.5 Schlussfolgerungen aus der Tektonik

Aus der Bruchtektonik kann man zur Genese des Fuchslabyrinths folgende Schlüsse ziehen:

- Das prägende Kluftsystem ist bei Schmalfelden N-S, dennoch folgt die Verkarstung dieser Richtung ausschließlich im Oberen Stockwerk des Fuchslabyrinths. Die logische Schlussfolgerung ist, dass der Wassergang im Unteren Stockwerk genetisch unabhängig vom Oberen Stockwerk ist.
- Die Verbindungsgänge zwischen den N-S-Gängen folgen – bis auf die Verbindungen in „Sandwich“-Strukturen – ebenfalls Kluftrichtungen (Abb. 6 und 7c).
- Der Wassergang folgt – außer der 120°-Richtung – nicht den Kluftrichtungen, selbst querende N-S-Großklüfte werden nicht bzw. nur sehr untergeordnet für die Verkarstung genutzt. Das Ölloch und der Wassergang orientieren sich N und E des oberen Stockwerks des Fuchslabyrinths im Wesentlichen an der

Schichtlagerung, bachabwärts zusätzlich an den Talrichtungen. Das Untere Stockwerk ist vorflutorientiert und auf den Quellaustritt der Schandtauber ausgerichtet. Hydrogeologisch ist diese Verbindung schon seit langem nachgewiesen (ZANDER 1973: 126). Eine Vorflutorientierung konnten die Karstgerinne im Bereich des Fuchslabyrinths erst nach dem Einschneiden der Schandtauber in die Muschelkalkschichten entwickeln. Die Schandtauberquelle als Auslauf des Wassergangs liegt nur geringfügig über der Talsohle in Bettenfeld. Der Wassergang ist damit nicht nur deutlich jünger als das Obere Stockwerk, sondern auch genetisch unabhängig von ihm. Das wasserführende Untere Stockwerk entwickelte sich von der Vorflut in das heutige Einzugsgebiet hinein – auch das ist ein bedeutender Unterschied zum Oberen, labyrinthischen Stockwerk.

## 4 Landschaftsgeschichte von Osthohenlohe

Die Landschaftsgeschichte der östlichen Hohenloher Ebene ist bei verschiedenen Gelegenheiten schon mehrfach zur Sprache



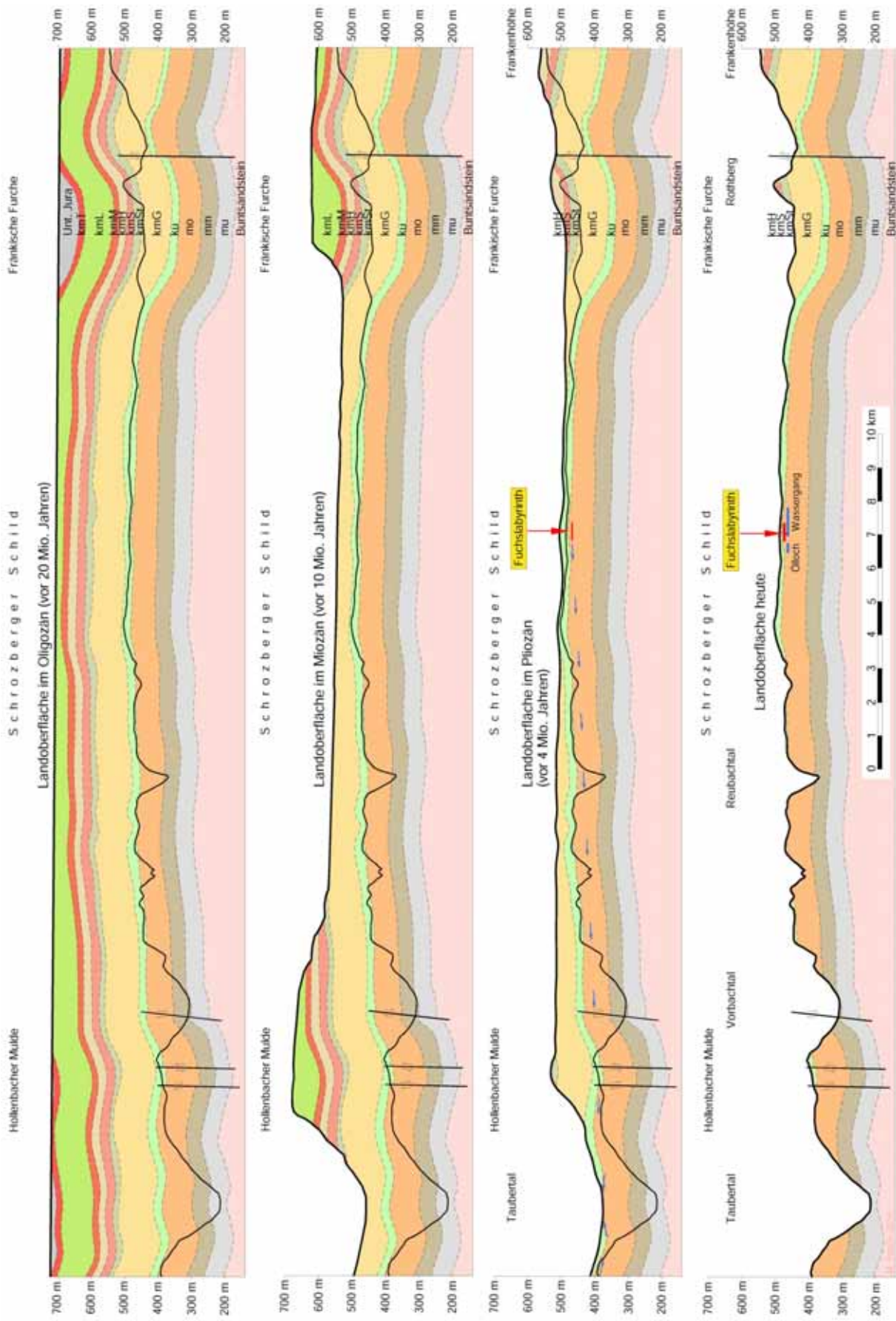


Abb. 12: Landschaftsgeschichtliche Entwicklung im Bereich des Schrozberger Schilds seit dem Oligozän. Schnitt vom Taubertal bei Markelsheim zur Frankenhöhe bei Schillingsfürst (nach SIMON 2003). Verlauf der Schnittlinie siehe Abb. 8.

gekommen (SIMON 1985, 1987, 1996, 2012, 2014), so dass hier die Entwicklung der Landschaft (siehe die Abfolge in Abb. 12) nur kurz dargestellt wird. Auf Beweisführungen wird weitgehend verzichtet, diese wurden ausführlich in der angegebenen Literatur vorgetragen.

Im Oligozän lag die Erdoberfläche in Osthohenlohe im Unteren Jura und im höheren Keuper. Durch tektonische Ereignisse (SIMON 2002) bildeten sich im Nordosten des heutigen Baden-Württembergs langgestreckte tektonische Muldenzonen in Streichrichtungen von 55° bis 80°. Zwei dieser Mulden, die Hollenbacher Mulde und die Fränkische Furche, sind für unsere Betrachtungen von Wichtigkeit, denn hier entstanden im Miozän in Reliefumkehr Schichtstufen. Die Schichtstufe in der Hollenbacher Mulde wurde seither abgetragen, die in der Fränkischen Furche besteht am Rand der Frankenhöhe zum Teil heute noch. Zwischen diesen Schichtstufen, auf dem tektonischen Hoch des Schrozberger Schildes, wurde Gestein abgetragen. Und zwar am meisten im Bereich der höchsten tektonischen Aufwölbung, d. h. im Raum Schmalfelden. Hier wurden vor ca. 4 Millionen Jahren, im Pliozän, durch Erosion die untersten Schichten der Grabfeld-Formation (Gipskeuper) und die obersten Schichten des Lettenkeupers (Erfurt-Formation) erreicht. Erst ab diesem Zeitpunkt konnte ein Verkarstungsprozess im Oberen Muschelkalk beginnen. Zuvor hatte die Landschaft von Osthohenlohe nach Süden über die Ur-Jagst, den Ur-Kocher und die Ur-Brenz zum Molassebecken, später zur Donau entwässert. Die unterirdische Entwässerung folgte ebenfalls dieser Richtung. Mit der Entwicklung des Mains und der Tauber, konnte sich die unterirdische Entwässerung im noch nicht verkarsteten Untergrund nach Norden entwickeln, da dort der Muschelkalk zunächst vom Main und dann vor ca. 4 Millionen Jahren von der Tauber (Abb. 12) angeschnitten wurde (SIMON 2010).

## **5 Die Speläogenese des Fuchslabyrinths**

### **5.1 Ältere Vorstellungen**

Ganz augenscheinlich besteht ein Unterschied zwischen den Hohlräumen des tiefer

liegenden, linear entwickelten Unteren Stockwerks (Ölloch und Wassergang), das eindeutig in Gefälle und Richtung nach Osten, über Gammesfeld nach Bettenfeld, orientiert ist, und dem labyrinthischen Oberen Stockwerk des Fuchslabyrinths, das deutliche Kluftgebundenheit besitzt, aber keine Entwässerungsrichtung erkennen lässt. Nach der Entdeckung des Fuchslabyrinths Anfang der 1970er Jahre setzten die ersten Überlegungen zur Genese dieses Stockwerks ein (RATHGEBER 1977: 72).

Die meisten der Muschelkalkhöhlen in Hohenlohe verlaufen entweder parallel zur Schichtlagerung oder vertikal als Schächte. Die an die Schichtlagerung gebundenen Höhlen wurden auf die Korrosion und Erosion einer schichtparallelen Verkarstung zurückgeführt (SIMON 1986). A. HOYDEM erkannte 1992 die Besonderheit des Fuchslabyrinths und brachte dessen Entstehung mit der Schichtlagerung und der Landschaftsgeschichte in Verbindung (HOYDEM 1992: 17-21). Seine Befunde kamen dem Ergebnis unserer Forschungen sehr nahe.

Im Gegensatz zu linear verlaufenden Höhlen wurde labyrinthisch entwickelten Höhlen (maze caves – Irrgarten- oder Labyrinth-Höhlen) schon seit einiger Zeit eine außergewöhnliche Genese zugestanden (PALMER 1975, 2000). Seit Beginn des 21. Jahrhunderts wird in der englischsprachigen Literatur für Labyrinth-Höhlen zunehmend eine hypogene Höhlenentstehung in Betracht gezogen (KLIMCHOUK 2005, 2007; PALMER 2007, 2011). Diese Theorie wurde auch von deutschen Höhlenforschern aufgegriffen, z. B. von KEMPE (2014), ENGELHARDT & TRAPPE (2015) und KEMPE et al. (2017). Eine hypogene Höhle, die sowohl in der Fläche als auch in der dritten Dimension stark verzweigt sein kann, ist durch aufsteigendes aggressives Grundwasser im oberen Bereich eines verkarstungsfähigen Gesteins, und zwar dicht unter einer gering durchlässigen Deckschicht, entstanden. Dieses Modell schien zunächst auch für die Höhlen im Top des Schrozberger Schildes, im oberen Bereich des Oberen Muschelkalks direkt unter dem Lettenkeuper, zu passen (KLIMCHOUK 2005, 2007; WASMUND & ROSS 2015; ROSS 2016).

Jede Höhle hat ihre Entstehungsgeschichte. In der Abfolge Kluftgrundwasserleiter – Verkarstung – Karstgrundwasserleiter – Höh-

lenbildung spiegeln sich in der Vergangenheit abgelaufene Prozesse, die durch verschiedene geologische Faktoren gesteuert wurden. Besonders zwei Themenkomplexe sind hierbei zu bedenken: zum einen die Geschichte des Grundwasserleiters, die SIMON (1999) für den Oberen Muschelkalk im nördlichen Baden-Württemberg aufgezeigt hat, und zum andern die Landschaftsgeschichte (SIMON 2003, 2012). Bei einem Verdacht auf eine hypogene Höhlenentstehung ist folgendes wichtig (PALMER 2011): "Most accessible caves of this type are inactive relics, and their relation to the surrounding landscape has probably changed since they formed. If so, the local geomorphic evolution must be clarified from field evidence." (Übersetzung: Die meisten zugänglichen Höhlen dieses Typs sind inaktive Relikte und ihre Beziehung zur umgebenden Landschaft hat sich seit ihrer Entstehung wahrscheinlich geändert. Wenn das so ist, dann ist die lokale geomorphologische Entwicklung durch Feldbefunde abzuklären).

## 5.2 Ereignisabfolge in der Entwicklung des Fuchslabyrinths

1) Im Ursprungsstadium bildeten sich sehr flache schichtflächenkonforme und großflächige Auslaugungsformen („Sandwich“; Abb. 13, Foto 1), die ein dichtes und orientierungsloses Anastomosenmuster an ihrer Decke aufweisen (HOYDEM 1992: Abb. 2). Dies ist ein deutlicher Hinweis auf Auslaugung im Stillwassermilieu. Die Deckenkanäle dieser Anastomosen reichen kaum mehr als 10 cm in die Höhe, vergittern sich aber zu einem – nicht richtungsgebundenen – Netzwerk über viele Quadratmeter. Bei zunehmender Auslaugung und Erweiterung dieser schichtparallelen Hohlform wurden die Anastomosenstrukturen im phreatischen Milieu aufgelöst und es entstanden die für das Fuchslabyrinth typischen, sich über mehrere Quadratmeter erstreckenden flachen Schichtfugenprofile, die weit einsehbar, aber überwiegend unbefahrbar sind (Abb. 13, Foto 2). Durch die intensive Schichtfugenverkarstung im Fuchslabyrinth bildeten sich lokal zumindest zwei, wenn nicht mehrere Stockwerke ausgelaugter Schichtfugen. Die Absackung erfolgte in



Abb. 13: Anastomosen- und „Sandwich“-Bildung. (1) Urstadium – Anastomosen an einer Schichtunterseite im Oberen Muschelkalk des Steinbruchs Schmalfelden. Diese Auslaugungsformen sind hier großflächig verbreitet. (2) Hauptstadium – „Sandwich“ im Fuchslabyrinth mit Anastomosen, z. T. schon flächig wegkorrodiert. (3) Finalstadium – „Sandwich“-Struktur, verfüllt mit eingespülten Lettenkeuper-Residuen. Die Anastomosen sind fast vollständig wegkorrodiert, die nahezu ebene Deckenstruktur zeigt das letzte Stadium der Raumbildung eines „Sandwichs“ vor der Inkasion. Eine Bindung an Klüfte ist nicht zu erkennen. Der Schluf wurde komplett ausgegraben. (Fotos 1: M. PANTLE, 2017; 2 - 3: S. MERTSCH, 2015).

Schwächezonen, z. B. beim spitzwinkligen Aufeinandertreffen mehrerer Klüfte, wie in Klüftung 4, oder an stärker zerrütteten,

engständigen Kluftscharen. Immer ist die Absackung aber an tektonische Trennflächen gebunden.

2) Als Wasserzubringer hatten die Nord-Süd-Klüfte eine wesentliche Funktion. Sie durchtrennen den hangenden Lettenkeuper und führten der flächigen Schichtverkarstung im Oberen Muschelkalk von oben Wasser anderer chemischer Zusammensetzung zu (SIMON 1986, 1987a).

3) Mit Absinken des Grundwasserspiegels im Top des Schrozberger Schilds ging im Bereich der Nord-Süd-Spalten die Korrosion durch einsickerndes Oberflächenwasser auch dann noch weiter, als die ausgelaugten „Sandwiches“ und Verbindungsrohre schon inaktiv waren. Die Verkarstung reichte in den Nord-Süd-Klüften weiter in die Tiefe und bewirkte, dass die flachen Raumstrukturen heute teilweise „schwebend in der Wand“ liegen. Allerdings führten Sedimenteintrag von oben (Lösslehm, Lettenkeuper-Residuen) sowie die Auslaugungsrückstände des Muschelkalks dazu, dass die „Sandwiches“ (Abb. 13, Foto 3) und auch die tieferreichenden Spalten bis auf wenige Stellen im Fuchslabyrinth nahezu bis in gleiche Höhe zusedimentiert sind. An diesen Lokalitäten, z. B. in der „Großen Regenklamm“, lässt sich die in die Tiefe fortschreitende Korrosion der Nord-Süd-Klüfte noch heute beobachten.

4) Spätestens mit Eintiefen des Vorfluters, der Schandtauber bei Bettenfeld, fiel das Obere Stockwerk des Fuchslabyrinths trocken. Das ehemals nahezu stagnierende Grundwasser im Top des Schrozberger Schilds konnte nach seiner „schwebenden Phase“ (Phase 1 bis 3) jetzt sehr rasch eine eindeutige und bevorzugte unterirdische Fließrichtung ausbilden, nämlich nach Osten. Im Gegensatz zu der langdauernden Bildung des Oberen Stockwerks entwickelte sich der Wassergang von seinen Versickerungsstellen bei Schmalfelden bis zu seinem Quellaustritt in Bettenfeld – obwohl deutlich größer dimensioniert – in einer sehr viel kürzeren Zeitspanne als das Obere Stockwerk des Fuchslabyrinths. Bedingt war dies u. a. durch einen stetigem Zufluss von ungesättigtem Oberflächenwasser durch die Ponore und durch die Mischungskorrosion ungleich gesättigter Wässer beim Zusammentreffen der unterschiedlichen Zuflüsse.

5) Der jüngste Entwicklungsschritt der Speläogenese des Fuchslabyrinths ist post-glazial und setzt sich an wenigen Stellen noch rezent fort: die Bildung von aktiven Korrosionsschächten, wie deutlich zu erkennen in der Kleinen und Großen Regenklamm (Abb. 2, Foto 2) sowie die Bildung von Erdfällen über solchen Wasserzutrittsstellen, zudem die Bildung von weiteren Erdfällen oberhalb des Oberen Stockwerks, die zur Plombierung von Gängen führen kann. Auch der Nachbruch der „Sandwich“-Strukturen ist wohl als holozän anzusehen, da (z. B. in Kluft 4) ein Lehmbesatz auf den abgesackten Deckenplatten fehlt.

Man kann also für den rezenten Zustand des Fuchslabyrinth zusammenfassend sagen: Das labyrinthische Obere Stockwerk befindet sich im Stadium der Speläostase (Höhlenbestand), lokal auch schon in der Speläolyse (Höhlenverfall, Inkursionsstadium), das Untere Stockwerk dagegen noch immer im Stadium der Speläogenese.

### 5.3 Zeitliche Abfolge der Verkarstung (Tab. 2)

Im Oberen Muschelkalk hat es sicher schon in einer frühen Zeit Grundwasser gegeben. Allerdings war das Gestein noch nicht verkarstet, sondern ist als geringdurchlässiger Kluftgrundwasserleiter zu betrachten. Die Durchlässigkeit des nicht verkarsteten Oberen Muschelkalks lag nach RAUSCH & SIMON (1998) bei etwa  $k_f = 1 \cdot 10^{-7}$  m/s. Die Fließgeschwindigkeit dürfte nicht schneller als knapp 1 m pro Jahr gewesen sein, war also extrem gering. Das Wasser, das von den überlagernden Schichten in den Oberen Muschelkalk gelangte, musste fast die gesamten Keuperschichten durchfließen (TÓTH 1980). Diese Verhältnisse änderten sich deutlich, als die Erosion im höchsten Bereich des Schrozberger Schildes den Grenzbereich Gipskeuper/Lettenkeuper erreichte und etwa gleichzeitig, vielleicht auch schon etwas früher, als die Tauber im Bereich zwischen Bad Mergentheim und Weikersheim den Oberen Muschelkalk anzuschneiden begann. Nun gelangte das Oberflächenwasser nicht mehr gesättigt und von einheitlichem Ursprung in den Oberen Muschelkalk, sondern auf unterschiedlichen Wegen. Eine Korrosion in den höheren Mu-

schelkalkschichten war nun möglich geworden. Und ein schnellerer Abfluss war ebenfalls durch die Nähe der Vorflut (ca. 20 km) gegeben, wenn es sicherlich auch noch keine Abflussgerinne gab, sondern der Grundwasserleiter damals zwischen dem heutigen Fuchslabyrinth-Bereich und der Tauber immer noch ein wenig durchlässiger Kluftgrundwasserleiter gewesen ist. Die anderen Bereiche des Schrozberger Schildes, die noch nicht so weit in der Erosion fortgeschritten waren, verkarsteten erst später.

Da die Tauber mit ihren Nebenbächen sich ab dem Ende des Pliozäns schneller einzuschneiden begann, wurde mit der Ausdehnung der Verkarstung auf den gesamten Schrozberger Schild das Verkarstungsniveau, also auch der Karstgrundwasserspiegel, tiefer gelegt. Somit konnte sich unter dem Fuchslabyrinth eine lineare Höhle formen, während sich zuvor eine netzartige Höhlenbildung auf engem Raum entwickelt hatte. Letztere wurde nun inaktiv, verlehmt zum großen Teil, möglicherweise auch voll-

ständig, und leitete das Wasser nach unten in den heutigen Wassergang ab. Diese Drainage ist heute hydrologisch die bedeutendste. Sie ist auch verantwortlich für die teilweise Wiederfreilegung des Oberen Stockwerks von Lehm. Ob in tieferen Schichten des Oberen Muschelkalks immer noch eine Fließrichtung nach Norden besteht, kann mangels Grundwassermessstellen nicht sicher gesagt werden.

Bei der Speläogenese des Oberen Stockwerks des Fuchslabyrinths, die sich etwa im Zeitraum zwischen 4 und 2 Millionen Jahren abspielte, waren das enge Kluftnetz und die Schichtlagerung von entscheidender Bedeutung. Deshalb zeigt sich heute eine netzartige Höhle und eine starke Schichtgebundenheit. Das Obere Stockwerk des Fuchslabyrinths zeigt keine Richtungstendenz zu einer bestimmten Vorflut, weil sich das Grundwasser sehr langsam bewegte und das vor allem nach unten gemäß den hydraulischen Bedingungen in einem Aquifer mit weit entfernter Vorflut (TÓTH 1963, 1980).

Tab. 2: Übersicht zur Verkarstungsgeschichte des Fuchslabyrinths (GW – Grundwasser, kmG – Grabfeld-Formation/Gipskeuper, kmL – Löwenstein-Formation/Stubensandstein, ku – Erfurt-Formation/Letten- bzw. Unterkeuper).

	Alter (Epochen)	Millionen Jahre	Landschaftsgeschichte	Verkarstung	
				Oberes Stockwerk	Unteres Stockwerk
1	Oligozän	34 bis 24	Landoberfläche im kmL	—	—
2	Obermiozän	24 bis 5,3	Landoberfläche im kmG GW: Entwässerung nach N	—	—
3	Unteres Pliozän	5,3 bis 4	Landoberfläche im ku in der Hochlage des Schrozberger Schildes	Schichtfugenkorrosion an Anastomosenflächen, Kluftflächenkorrosion	—
4	Oberes Pliozän	4 bis 2,6	Freilegung des ku	Speläogenese unter Keuper-Deckschichten: NS-Spalten und Schichtflächen	— Ende Pliozän: Beginn der Entstehung der phreatischen Gänge
5	Pleistozän	2,6 bis 0,0117	Bildung der Tauber und ihrer Zuflüsse	Trockenfallen, Lehmverfüllung und spätere Lehmausräumung	Ausformung der aktiven Gänge vom Quellaustritt stromaufwärts
6	Holozän	0,0117 bis heute	Talausbildung heutiger Stand GW: Entwässerung nach E	Sickerwasserkorrosion in Schächten, ansonsten Speläostase	Erosive und korrosive Weiterentwicklung, Speläolyse

Die daran anschließende Verkarstung der linienhaften Karsthohlräume, das Untere Stockwerk, entwickelte sich nicht vom Einzugsgebiet aus zur Vorflut hin, sondern von der Vorflut weg zum Einzugsgebiet hin. Deshalb bewirkte die Entwicklung des Wassergangs auch die Speläostase des Oberen Stockwerks des Fuchslabyrinths.

## 6 Epigen oder hypogen?

DUBLANSKY (2014) definiert eine hypogene Entstehung durch den Aufstieg aggressiver Wässer aus dem Tiefen Karst in höhere Schichten ohne Einflüsse der lokalen Oberfläche. Das Obere Stockwerk des Fuchslabyrinths ist aber durch Korrosion von vertikal einsickerndem und von seitlich zuströmendem Wasser entstanden. Zur Zeit seiner Entstehung floss das Wasser im Pliozän im noch gering durchlässigen Muschelkalk sehr langsam nach Norden zur Tauber. Die weiter im Norden nachgewiesene unterirdische Entwässerung des Gebiets zur Tauber geht wahrscheinlich auf diese alte Entwässerungsrichtung zurück. Dies legt auch die Landschaftsgeschichte nahe. Für das Fuchslabyrinth ergibt sich daher, dass es eindeutig epigen entstanden ist.

Entscheidend ist bei einer hypogenen Entstehung der Nachweis des Wasserzuflusses von unten nach oben, was in den meisten Fällen sehr umfangreiche und aufwendige landschaftsgeschichtliche Untersuchungen zur Voraussetzung hat. Da dies in den letzten Jahren nur unzureichend berücksichtigt wurde, kam es in der Literatur

zu Fehleinschätzungen (ENGELHARDT & TRAPPE 2015: 112, KEMPE 2014: 51, KLIMCHOUK 2007: 61). Dagegen können wir eindeutig belegen, dass das Fuchslabyrinth niemals von unten nach oben durchflossen wurde, folglich zu keiner Zeit eine Vorflut für das im Muschelkalk abströmende Grundwasser bildete.

In den süddeutschen Muschelkalk-Karstgebieten sind fast alle Höhlen epigen entstanden. Eine sehr bedeutende Ausnahme ist nach dem heutigen Kenntnisstand der Aufstiegsbereich des Cannstatter Mineralwassers: für die durch zahlreiche Bohrungen im Oberen Muschelkalk unter Stuttgart nachgewiesenen Karsthohlräume (UFRECHT et al. 2016) ist eine hypogene Genese anzunehmen. Auch die über 300 m lange Schallsinger Höhle (8212/1), die in einer Randscholle des südlichen Oberrheingrabens liegt, könnte zu diesem Typ gehören.

## Dank

Wir danken Herrn MICHAEL ROSS, Tübingen, für wertvolle Hinweise und die kritische Begleitung sowie den Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaft Höhle und Karst Stuttgart für die Bereitstellung von Unterlagen und Fotos. Die Herren ERNST und JOHANNES RIEGER der Firma RIEGER-HOFMANN in Raboldshausen erlaubten uns freundlicherweise das Betreten des Steinbruchs Schmalfelden, und die Stadtverwaltung Schrozberg, vertreten durch Amtsleiter THOMAS PÖSCHIK, ermöglichte den Zugang zum Höhlensystem.

## Schriftenverzeichnis

- A. A. [Anonymer Autor] (1788): Von Erdfällen. – J. von u. f. Deutschl., **5**(2, 10. Stück): 288-290; Ellrich.
- BAYER, H.-J. (1985): Bruchtektonische Bestandsaufnahme im Bereich des Kartenblattes 6626 Schrozberg-Ost (1:25 000) / Hohenlohe. – Oberrhein. geol. Abh., **34**: 29-42, 4 Abb.; Karlsruhe.
- BECKENBACH, E.; MÜLLER, T. & SIMON, T. (2013): Die Fränkische Furche im 3D-Geländemodell. – In: SIMON, T. (Hrsg.): Gedenkbund Walter Carlé. – Sonderbd. d. Ges. f. Naturkde. in Württ., **3**: 243-254, 8 Abb.; Stuttgart.
- BITZER, K. (2016): Erforschung der Bootshöhle (Katasternummer 6626/27) bei Schmalfelden (Muschelkalkgebiet 2). – Beitr. z. Höhlen- u. Karstkde. in SW-Deutschl., **52**: 13-17, 10 Abb.; Stuttgart.

- CARLÉ, W. (1948): Geologisches Gutachten über die Beurteilung neuergrabenen Trinkwassers in Schmalfelden, Kreis Crailsheim. – 2 S.; Stuttgart [unveröffentlicht].
- DUBLANSKY, Y. V. (2014): Hypogene Speleogenesis – Discussions of Definitions. – Karst Waters Instit. Special Publ., **18** (Hypogene Cave Morphologies): 1-3; Leesburg/Virginia.
- ENGELHARDT, R. & TRAPPE, M. (2015): Clastic sediments observed in the Fuchslabyrinth Cave (Baden-Wuerttemberg / Germany) and their importance for cave genesis. – In: HAJNA, N. Z.; MIHEVC, A. & GOSTINČAR, P. [Hrsg.]: Caves – exploration and studies combined with the 50th anniversary of the International Union of Speleology – UIS: 111-112; Postojna.
- HAGDORN, H. & SIMON, T. (1988): Geologie und Landschaft des Hohenloher Landes. – 2. Aufl. 192 S., 125 Abb., 1 Tab., 3 Faltteil.; Sigmaringen (Jan Thorbecke Verlag).
- HOYDEM, A. (1987): Karst und Höhlen im Einzugsgebiet des Schandtauber-Höhlensystems. – Beitr. z. Höhlen- u. Karstkde. in SW-Deutschl., **31**: 13-23, 1 Abb., 1 Tab., 5 Pläne; Stuttgart.
- (1992): Höhlenbildung im Oberen Muschelkalk im östlichen Hohenlohe. – Laichinger Höhlenfreund, **27**(1): 11-22, 7 Abb., 1 Tab.; Laichingen.
- (2015): Das Schandloch (6626/20 bei Gammesfeld). – Mitt. d. Arbeitsgem. Muschelkalkkarst, **31** (Jbd. 2014): 5-6; Niefern-Öschelbronn.
- JUNGBAUER, H. (1983): Karsthydrogeologische Untersuchungen im Muschelkalk zwischen der Hohenloher Ebene und dem Taubergrund südlich von Bad Mergentheim. – Dissertation Universität Stuttgart: 183 S., 51 Abb., 24 Tab.; Stuttgart.
- KEMPE, S. (2014): Hypogene limestone caves in Germany: geochemical background and regionality. – Karst Waters Instit. Special Public., **18** (Hypogene Cave Morphologies): 48-55, 10 Abb.; Leesburg/Virginia.
- KEMPE, S.; BAUER, I. & GLASER, S. (2017): Hypogene Caves in Germany, Geological and Geochemical background. – In: KLIMCHOUK, A.; PALMER, A. N.; DE WAELE, J.; AULER, A. S. & AUDRA, P. [Hrsg.]: Hypogene Karst Regions and Caves of the World: 329-347, 14 Abb., 2 Tab.; Cham.
- KLIMCHOUK, A. (2005): Conceptualisation of speleogenesis in multi-storey artesian systems: a model of transverse speleogenesis. – Intern. Journal of Speleology, Official Journal of Union Internationale de Spéléologie, **34**(1-2): 45-64, 13 Abb.; Bologna.
- (2007): Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspectives. – National Cave and Karst Research Institute, Special Paper, **1**: 106 S., 62 Abb., 2 Tab., 19 Taf.; Carlsbad/New Mexico.
- MASSEN, F.; BOES, C.; EK, C.; FABER, S.; KAYSER, P.; KIES, T.; SCHINTGEN, G.; SINNER, E. & WARINGO, G. (1994): The Moestroff Cave: A Short Description of the Moestroff Cave and Research Project Phymoes. – Publications du Service Géologique du Luxembourg, **27** (Comptes rendus du Colloque international de Karstologie à Luxembourg, 25-26 août 1992): 17-27, 5 Abb.; Luxembourg.
- MÜLLER, R.; NETHING, M.; RATHGEBER, TH. & SCHÜZ, H. (1994): Über das Fuchslabyrinth und die benachbarten Spaltenhöhlen bei Schmalfelden (Gemeinde Schrozberg, Landkreis Schwäbisch Hall). – Beitr. z. Höhlen- u. Karstkde. in SW-Deutschl., **37**: 3-19, 6 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.
- MÜLLER, T. (1989): Hohenlohelager 13.-15.05.1989. – Mitt. d. Arbeitsgem. Muschelkalkkarst, **7**: 3-4; Niefern-Öschelbronn.
- PALMER, A. N. (1975): The origin of maze caves. – NSS Bulletin, **37**(3): 57-76, 16 Abb., 1 Tab.; Huntsville/Alabama.

- PALMER, A. N. (2000): Maze Origin By Diffuse Recharge Through Overlying Formations. – In: KLIMCHOUK, A. B.; FORD, D. C.; PALMER, A. N. & DREYBRODT, W. (Hrsg.): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*: 387-390, 4 Abb.; Huntsville/Alabama.
- (2007): *Cave Geology*. – 454 S., 760 Abb. (davon 510 Fotos, 250 Kt. u. Diagr.); Dayton/Ohio (Cave Books).
- (2011): Distinction between epigenetic and hypogenetic caves. – *Geomorphology*, **134**(1-2): 9-22, 14 Abb.; Oneanta.
- PANTLE, M. (1994): Erforschung des Schandtauber-Höhlensystems. – *Beitr. z. Höhlen- u. Karstkde. in SW-Deutschl.*, **37**: 23-29, 5 Abb.; Stuttgart.
- (2012a): Die Schandtauberhöhle 2 (Kat.-Nr. 6626/17) bei Bettenfeld (Stadt Rothenburg ob der Tauber, Kreis Ansbach; Muschelkalkgebiet 2) und ihr Einzugsgebiet. – *Beitr. z. Höhlen- u. Karstkde. in SW-Deutschl.*, **50**: 28-55; 6 Abb., 9 Taf., 1 Tab., 1 Plan auf 7 S.; Stuttgart.
- (2012b): Entdeckung und Bergung von Keramikfunden im Fuchslabyrinth (Kat.-Nr. 6626/3) in den Jahren 1989 und 1994. – *Beitr. z. Höhlen- u. Karstkde. in SW-Deutschl.*, **50**: 9-16, 7 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- RATHGEBER, T. (1977): Neue Ergebnisse der Höhlenforschung im Hohenloher Muschelkalk. – *Abh. z. Karst- u. Höhlenkde., Reihe A (Speläologie)*, **16**: 63-73, 6 Abb.; München.
- RAUSCH, R. & SIMON, T. (1988): Lithostratigraphische Untersuchungen im Oberen Muschelkalk der östlichen Hohenloher Ebene. – In: Hagdorn, H. (Hrsg.): *Neue Forschungen zur Erdgeschichte von Crailsheim*. – Sonderbd. d. *Ges. f. Naturkde. in Württ.*, **1**: 22-42, 8 Abb.; Stuttgart.
- (1998): Hydrogeologie des Oberen Muschelkalks im Bereich hoher Keuperüberdeckung – Modell Schwäbisch-Fränkische Waldberge. – *Grundwasser*, **98**(1): 22-28, 9 Abb.; Hannover.
- RAUSCH, R.; SIMON, T.; SWOBODA, F. D. & KOLOKOTRONIS, V. (1995): Hydrogeologische Karte von Baden-Württemberg – Heilbronner Mulde. – 85 S., 54 Abb., 21 Tab., 12 Kt.; Freiburg im Breisgau u. Karlsruhe (Geol. Landesamt u. Landesanstalt f. Umweltschutz).
- RENZ, F. (2004): Die Protokollhöhle (6626/26). – *Grabenstetter höhlenkundl. H.*, **7** (Jh. 2002/03): 23-26, 3 Abb.; Grabenstetten.
- RICKMANN, T. (2003): Erläuterungen zum Blatt 6626 Schrozberg-Ost (Geologische Karte von Baden-Württemberg, 1:25000). – 182 S., 9 Abb., 6 Taf.; Stuttgart (Institut für Geologie und Paläontologie). [Dissertation]
- RICKMANN, T. & SIMON, T. (2009): Blatt 6626 Schrozberg-Ost. – Vorläufige Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25000. – 1 Kt.; Freiburg im Breisgau.
- ROSS, M. (2016): Das Fuchslabyrinth – eine kuriose Höhle im Oberen Muschelkalk Südwestdeutschlands. – *Die Höhle, Z. f. Karst- u. Höhlenkde.*, **67**: 97-111, 20 Abb.; Wien.
- SCHOLZE, M. (1996): Fotolineationen in Hohenlohe: Ihre Aussagekraft zur Karsthydrogeologie. – *Laichinger Höhlenfreund*, **31**(1): 19-24, 2 Abb.; Laichingen.
- (1998): Fotolineationen und Karsthydrogeologie im Muschelkalkkarst von Nordostwürttemberg. – *Profil*, **14**: 7-74, 43 Abb., 10 Tab., Anhang; Stuttgart.
- SIMON, T. (1980): Hydrogeologische Untersuchungen im Muschelkalk-Karst von Hohenlohe. – *Arb. aus d. Inst. f. Geol. u. Paläont. an d. Univ. Stuttgart, N.F.*, **75**: 63-215, 86 Abb., 52 Tab.; Stuttgart.
- (1982): Ursachen für die Erdfallbildung im Muschelkalk-Karst. – *Laichinger Höhlenfreund*, **17** (2): 47-60, 7 Abb., 1 Tab.; Laichingen.



- SIMON, T. (1985a): Schichtstufen und Flußgeschichte im mittleren und oberen Kocher-/Jagstgebiet. – In: HAGDORN, H. (Hrsg.): Geologie und Paläontologie im Hohenloher Land: 12; Künzelsau.
- (1985b): Stratigraphie, Hydrogeologie und Verkarstung im Muschelkalk; Tiefbohrung Ingelfingen; Buntsandstein. – In: HAGDORN, H. (Hrsg.): Geologie und Paläontologie im Hohenloher Land: 17-32, 13 Abb.; Künzelsau.
- (1986): Schwebende Schichtgrundwasser-Stockwerke im Oberen Muschelkalk und ihre Bedeutung für die Verkarstung. – Jh. d. Geol. Landesamtes Baden-Württemberg, **28**: 245-265, 8 Abb.; Freiburg im Breisgau.
- (1987a): Schwebende Schichtgrundwasser-Stockwerke und schichtgebundene Verkarstung im Oberen Muschelkalk von Nordost-Württemberg. – Laichinger Höhlenfreund, **22**(2): 105-114, 4 Abb.; Laichingen.
- (1987b): Zur Entstehung der Schichtstufenlandschaft im nördlichen Baden-Württemberg. – Jh. d. geol. Landesamt Baden-Württemberg, **29**: 145-167, 10 Abb.; Freiburg im Breisgau.
- (1996): Die Schotter von Reubach im östlichen Hohenlohe. – Jber. u. Mitt. d. Oberrhein. Geol. Ver., N. F., **78**: 375-397, 8 Abb., 1 Tab.; Stuttgart.
- (1999): Die Geschichte des Muschelkalkkarst-Aquifersystems im nördlichen Baden-Württemberg. – Geol. Jb., C, **66**: 47-75, 11 Abb., 2 Tab.; Hannover.
- (2000): Zum Alter des Muschelkalkkarsts im nördlichen Baden-Württemberg. – Laichinger Höhlenfreund, **35**(1): 17-26, 6 Abb.; Laichingen.
- (2002): Beziehungen zwischen Tektonik und Talbildung im mittleren Kocher-Jagstgebiet. – Jber. u. Mitt. d. Oberrhein. Geol. Ver., N. F., **84**: 439-458, 9 Abb.; Stuttgart.
- (2003): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1: 25 000, Erläuterungen zum Blatt 6625 Schrozberg-West. – VII+175 S., 25 Abb., 4 Tab., 4 Beil.; Freiburg im Breisgau.
- (2010): Karten zur Landschaftsgeschichte in Baden-Württemberg. – LGRB-Informationen, **25**: 47-66 13 Abb.; Freiburg im Breisgau.
- (2012): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1: 25 000, Erläuterungen zum Blatt 6725 Gerabronn. – IV+90 S., 6 Abb., 3 Tab., 1 Beil., 1 Karte (2011); Freiburg im Breisgau.
- (2014): Erosion, Transport und Sedimentation der Feuersteine. – In: SCHÜSSLER, H.; SIMON, T. & WARTH, M. (1999): Entstehung, Schönheit und Rätsel der Hohenloher Feuersteine: 41-54, 6 Abb., 1 Tab.; Bergatreute (3. Auflage).
- TÓTH, J. (1963): A Theoretical Analysis of Groundwater Flow in Small Drainage Basins. – J. geophys. Res., **68**(16): 4796-4812, 5 Abb; Washington (D. C.).
- (1980): Cross-Formational Gravity-Flow of Groundwater: A Mechanism of the Transport and Accumulation of Petroleum (The Generalized Hydraulic Theory of Petroleum Migration). – Am. Ass. Petrol. Geologists, Studies in Geol., **10**: 121-167, 34 Abb.; Oklahoma.
- TRAPPE, M. & ENGELHARDT, R. (2015): Klastische Sedimente aus dem Fuchslabyrinth bei Schmalfelden – Beiträge zur Genese eines komplexen Höhlensystems. – Laichinger Höhlenfreund, **50**: 99-118, 16 Abb.; Laichingen.
- UFRECHT, W.; KOCH, R. & SPITZBERG, S. (2016): Zur Verkarstung des Trigonodusdolomits (Oberer Muschelkalk, Rottweil-Formation) im Stadtgebiet Stuttgart. – Laichinger Höhlenfreund, **51**: 43-60, 15 Abb.; Laichingen.
- VIETOR, T. (2017): Tiefenlager für radioaktive Abfälle in der Schweiz im Opalinuston. – Geowiss. Mitt., GMit, **70**: 8-18, 9 Abb.; Bonn.

- WASMUND, M. (2012): Der Anfang einer „unendlichen“ Geschichte – die Entdeckung des Fuchslabyrinths (Kat.-Nr. 6626/3) im November 1974. – Beitr. z. Höhlen- u. Karstkde. in SW-Deutschl. **50**: 5-8, 6 Abb.; Stuttgart.
- (2015): Wiederaufnahme der Forschungen im Fuchslabyrinth (Kat.-Nr. 6626/3) in Schmalfelden (Stadt Schrozberg, Landkreis Schwäbisch Hall). – Beitr. z. Höhlen- u. Karstkde. in SW-Deutschl., **51**: 37-48, 12 Abb.; Stuttgart.
- (2016): Das Ölloch bei Schmalfelden (Katasternummer 6626/4, Muschelkalkgebiet 2). – Beitr. z. Höhlen- u. Karstkde. in SW-Deutschl., **52**: 3-12, 18 Abb.; Stuttgart.
- WASMUND, M. & ROSS, M. (2015): Das Fuchslabyrinth bei Schmalfelden – ein speläogenetisches Rätsel? – Laichinger Höhlenfreund, **50**: 87-98, 19 Abb.; Laichingen.
- ZANDER, J. (1973): Hydrogeologische Untersuchungen im Muschelkalkkarst von Nord-Württemberg (östliche Hohenloher Ebene). – Arb. aus d. Inst. f. Geol. u. Paläont. an d. Univ. Stuttgart, N. F., **70**: 87-182; Stuttgart.