

Stratigraphie und Fazies des Oberjuras im Umfeld der Blaubeurer Talschlinge – Ergebnisse einer Bohrung und Untertage- kartierung im Blauhöhle-System

Martin Bartenbach und Wolfgang Ufrecht

Zusammenfassung

Zur stratigraphischen und lithofaziellen Gliederung der Oberjurakalke im Umfeld der Blaubeurer Talschlinge erfolgten umfangreiche Kartierungen über und unter Tage. Ergänzend zur Kartierung wurde bei der Blaubeurer Schimmelmühle eine 69 m tiefe Bohrung niedergebracht und geophysikalisch untersucht.

Die fazielle Vielfalt der Kalksteine wurde vereinfacht auf drei Faziestypen beschränkt (Massenkalk-, Bankkalk- und Übergangsfazies), damit diese auch aus Bild- und Filmmaterial von der nicht zugänglichen Blautopf-Unterwasserhöhle interpretiert werden können.

Die Vetterhöhle und Blautopfhöhle liegen unterhalb der Glaukonitbank in den Unteren Felsenkalken 1 bis 3, überwiegend aber in den Unteren Felsenkalken 2. Diese haben im Raum Blaubeuren nicht nur eine außerordentlich große Mächtigkeit, sondern sind sowohl massig als auch in Übergangsfazies (Riffschuttfazies) ausgebildet. Sie lassen die Verkarstung dieses Schichtabschnitts zu, der sonst in der gebankten Fazies aus einer mergelreichen Kalksteinfolge besteht.

Die tiefsten Gangteile der Blautopfhöhle liegen etwa 20 bis 25 m über der Lacunosamergel-Formation. Die Zunahme des Tongehalts weist der Lacunosamergel-Formation die Funktion der Karstbasis zu. Die Erstreckung der Blautopfhöhle ist aber nicht an die Sohlschicht des Karstaquifers gebunden.

Die zur Verfügung stehenden und neu erarbeiteten geologischen Datensätze wurden in ein numerisches 3D-Modell eingefügt.

1 Einleitung

Aufbauend auf die geologische Gesamt-schau für das Einzugsgebiet des Blautopfs (BARTENBACH et al. 2009) werden nachstehend für das Umfeld des Blauhöhle-Systems Schichtaufbau, -mächtigkeit und Fazies der Kalksteine des Weißen Juras (Oberjura) – soweit sie für die geologische Beurteilung der Höhlen relevant sind – beschrieben. Die Charakterisierung der Schichten basiert auf der geologischen Kartierung durch RÖDEL (1958) und GWINNER, die zur Herausgabe der amtlichen Geologischen Karte 1:25.000, Blatt 7524 Blaubeu-

ren führte (GWINNER 1980), sowie den Kartierungen in der Blaubeurer Talschlinge durch BARTENBACH (2008). Weiterhin wurden die geologischen Kartierungen im Seligengrundschacht und in der Vetterhöhle berücksichtigt sowie Bild- und Filmmaterial aus der Blautopfhöhle (Bereich Düse bis Möriekdom) interpretiert. Schließlich lieferte die 69 m tiefe Bohrung Schimmelmühle in Blaubeuren, die im Rahmen der geowissenschaftlichen Erkundung des Blauhöhle-Systems im März 2008 abgeteuft wurde, wichtige Daten.

Anschriften der Verfasser: Dipl. Geol. MARTIN BARTENBACH, Universität Tübingen, Institut für Geowissenschaften, Sedimentgeologie, Sigwartstraße 10, D-72076 Tübingen;
Prof. Dr. WOLFGANG UFRECHT, Kaiserstr. 45, 70599 Stuttgart.

Die Geologische Karte zeigt treffend die großräumige geologisch-stratigraphische Situation. Dagegen ist die räumliche Verteilung der Lithofazies (Fazies: von der zeitlichen Gliederung unabhängige Ausbildung der Kalkgesteine), die wesentlichen Einfluss auf Verkarstung und Höhlenentstehung nimmt, weitgehend unberücksichtigt. Zur räumlichen Verteilung von Faziestypen auf der mittleren Alb hat SCHAUER (1998) erste Karten vorgelegt. BARTENBACH (2008) sowie BARTENBACH et al. (2009) haben basierend auf Aufschluss-, Bohrungs- und geophysikalischen Daten Faziesabfolgen kartiert und die beobachteten Geometrien in hoch-auflösenden 3D-Computermodellen dargestellt.

Für die Beurteilung der vertikalen Erstreckung der Verkarstung sind folgende Fragen zur Fazies grundsätzlich bedeutsam:

- Fazielle Differenzierung der Unteren und Oberen Felsenkalk-Formation (Bankkalk-, Massenkalk, Dolomit),

- Stratigraphische Verbreitung der Massenkalk-Fazies (Beginn d. Riffwachstums),
- Tiefenlage der hydrogeologisch als Karstbasis anzusehenden Lacunosa-mergel-Formation und fazielle Ausbildung der Lacunosamergel-Formation,.
- Mächtigkeitsverteilung der verkarsungsfähigen Schichten.

2 Bohrung Schimmelmühle

Im Rahmen des Programms zur geowissenschaftlichen Untersuchung des Blauhöhle-Systems wurde eine 69 m tiefe Bohrung niedergebracht. Der Bohransatzpunkt liegt bei der Schimmelmühle (R: 3558290, H: 5364570, Ansatz 512,0 mNN), ca. 200 m östlich des Blautopfs, auf einer Parkplatfläche (Abb. 1).

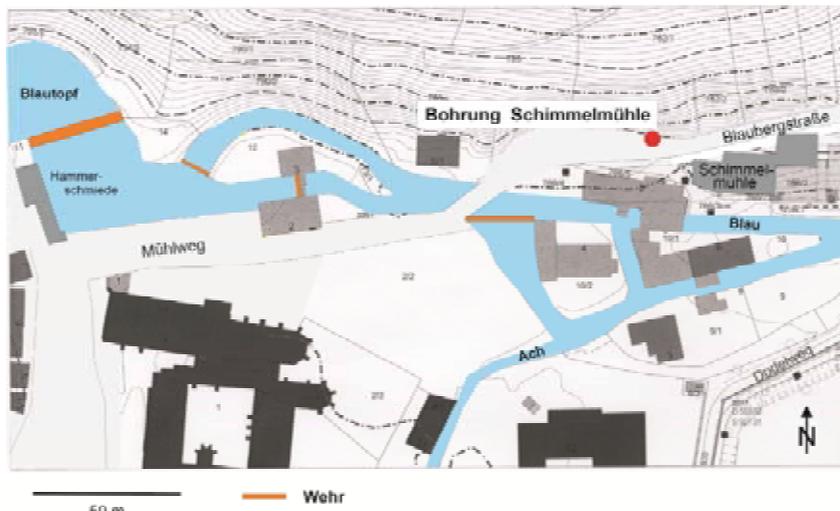


Abb. 1: Lage der Bohrung Schimmelmühle, ca. 200 m östlich des Blautopfs.

Die Bohrarbeiten erfolgten durch die Firma GeoBohr (Bermaringen) im Zeitraum vom 03. bis 06. März 2008. Sie wurden von Martin BARTENBACH und Wolfgang UFRECHT geologisch betreut. Die Bohrung wurde im Imlochhammer-Verfahren abgeteuft (Durchmesser 140 bis 120 mm), der mittels Pressluft in die Tiefe getrieben wird. Das vom Bohrmeißel erzeugte Bohrklein (Cuttings) wurde meterweise geborgen und detailliert geologisch nach Kalkgehalt, Farbe, Fossilgehalt, Anteil Karstlehm beschrieben (zusammenfassende Dokumentation siehe Abbildung 4).

Nach Erreichen der Endtiefe wurde von Martin BARTENBACH ein Gamma-Ray-Log gefahren, das die natürlich auftretende radioaktive Strahlung des Gebirges misst. Dabei ist die Strahlung in mergelig-tonigem Gestein größer als in massivem Kalkstein. Es können mit dieser Methode also Rückschlüsse auf die lithologische Ausbildung der erbohrten Schichtenfolge gezogen werden. Da die Wechselfolge von Ton-Mergelsteinen und Kalksteinen in der Unteren Felsenkalk-Formation nach ALDINGER (1942) und ZIEGLER (1955) auch Grundlage der Lithostratigraphie ist, kann ersatzweise



Abb 2: Die Bohrung Schimmelmühle.

A: Bohrerät (Imlochhammer-Verfahren). Das mittels Pressluft geförderte Bohrgut (Cuttings) wird in den roten Container geleitet. Mit einem Sieb werden dort abhängig vom Bohrfortschritt Proben für die geologische Aufnahme entnommen. B: Bohrturm bei laufenden Bohrarbeiten. C: Bohrlochgeophysikalische Aufnahme des Bohrlochs nach Abschluss der Bohrarbeiten. D: Verschließung des Bohrlochs nach Abschluss der geologischen Untersuchungen.



Abb. 3: Gefördertes Bohrklein (Cuttings) aus unterschiedlichen Tiefen. Die unterschiedliche Graufärbung ist ein Maß für den Tongehalt. Aufn.: MARTIN BARTENBACH.

über das Gamma-Ray-Log eine lithostratigraphische Einstufung der Bohrung erfolgen (Abb. 4, 5). Wie die Untersuchungen von PAWELLEK (2001) zeigen, ist dieser Ansatz auch in der Massenkalk-Fazies grundsätzlich möglich, obwohl hier die Signale im Log oftmals deutlich gedämpft sind. Als wichtige Leitniveaus innerhalb der Unteren Felsenkalk-Formation dient der kalkig-mergelig ausgebildete Abschnitt im ki 2.2 (Unterer Felsenkalk 2), der sich gegenüber ki 2.1 (Unterer Felsenkalk 1). und ki 2.3 (Unterer Felsenkalk 3) durch eine intensivere Strahlung auszeichnet, und die so genannte Glaukonitbank an der Grenze ki 2.3/2.4. Auch im Log der Bohrung Schimmelmühle ist dieses Schema erkennbar und verhilft für eine gute Abgrenzung von ki2.2 zu ki2.1. Die Glaukonitbank ist in der Bohrung nicht mehr aufgeschlossen jedoch ist ihre Lage aus der darüber liegenden Steige nach Sonderbuch bekannt.

Eine Überprüfung markanter peaks in den Logs ist erforderlich, da der in Karsthohlräumen lagernde Karstlehm vergleichbare Signale wie Tonstein- bzw. Mergellagen erzeugt. Das Antreffen von gelbbraunem Karstlehm in der Bohrung Schimmelmühle – vor allem in den Tiefenbereichen 26 bis 34 m und 48 m – ist nicht nur durch Beimengung in den Cuttings, sondern auch durch Braunfärbung des mittels Pressluft aus dem Bohrloch ausgetriebenen Karstwassers erkennbar.

Das Gamma-Ray-Log der Bohrung Schimmelmühle ist mit dem von Bohrungen korrelierbar, deren stratigraphische Einstufung auf gut angesprochene Bohrkerne zurückgeht (Abb.5). Insbesondere nach einem Log-Vergleich mit der Kernbohrung MH 1 Gerhausen (BARTENBACH 2008, MÖBIUS 2008) ist nachfolgende lithostratigraphische Gliederung möglich. Die verwendete stratigraphische Nomenklatur beruht auf einer Neugliederung und Anpassung des süddeutschen Oberjuras an internationale Gepflogenheiten (SCHWEIGERT 1995, LGRB 2009). Die in Klammer gesetzten stratigraphischen Begriffe entsprechen der in der Vergangenheit verwendeten Nomenklatur.

| | |
|----------|---|
| 0 – 66 m | Untere Felsenkalk-Formation (Kimmeridge-Kalke 2, ki 2; Weißer Jura delta) |
| -- 23 m | Untere Felsenkalke 2 (Kimmeridge-Kalke 2.2, ki 2.2; Weißer Jura delta 2) |
| -- 66 m | Untere Felsenkalke 1 (Kimmeridge-Kalke 2.1, ki 2.1; Weißer Jura delta 1) |
| – 69 m | Lacunosamergel-Formation (Kimmeridge-Mergel, ki 1; Weißer Jura gamma). |

Die Grenze zur Lacunosamergel-Formation wird mit dem Auftreten von Tonsteinen und Mergelsteinen mit zwischengeschalteten Kalksteinmergelbänken gezogen, welche die geschlossenen Kalkbänke im ki 2.1 ablösen. Entsprechend signifikant sind die Ausschläge im Log.

Über das Auftreten von Schwämmen in der Lacunosamergel-Formation bzw. über den Grad der Verschwammung können mittels Log keine Aussagen getroffen werden. In den Cuttings sind bis zur Endteufe zwar Fragmente von Schwämmen vorhanden, die darauf hindeuten könnten, dass die oberste Lacunosamergel-Formation bereits beginnender Verschwammung unterworfen ist. Man muss aber damit rechnen, dass ein Teil der Cuttings mit Schwammfragmenten in den untersten Bereichen der Bohrung nachgefallen ist und eigentlich aus geringeren Teufen stammt.

Die Schwamm-Fragmente in den Cuttings als Hinweis auf das Auftreten von Schwämmen setzen sich im Profil der Bohrung Schimmelmühle durchgängig nach oben im ki2.1 der Unteren Felsenkalk-Formation fort. Lediglich ab 19 m aufwärts (ki2.2) sind keine Schwamm-Fragmente nachweisbar. Auch hier kann dennoch eine nahezu durchgängige Verschwammung angenommen werden, da der Felsaufschluss neben dem Bohransatzpunkt Verschwammung zeigt. Die hier auftretende Verschwammung spiegelt jedoch nicht die typische Ausbildung eines Riffkörpers wieder, sondern zeigt vielmehr bereits randlich zum Riff gelegene Schuttfahnen. Dies ist dadurch charakterisiert, dass sich ein Großteil der angetroffenen Teller- und Becherschwämme nicht mehr in der originären

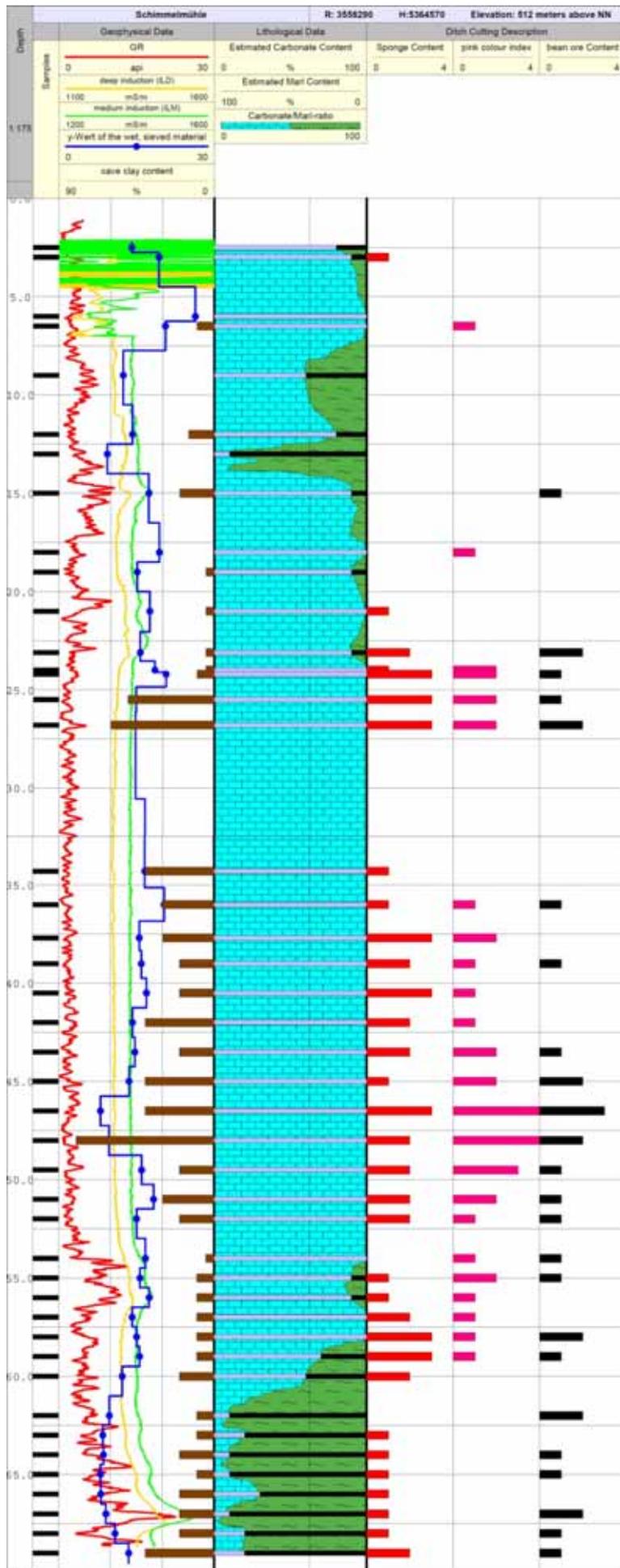


Abb. 4: Geologische Auswertung der Bohrung Schimmelmühle, GR: Gamma-Ray-Log, Cave clay content: Anteil Karst-, Höhlenlehm, Estimated Carbonate Content: abgeschätzter Kalksteinanteil, estimated marl content: abgeschätzter Ton-Mergelgehalt, Carbonate/marl-ratio: Verhältnis Kalkstein/Ton-Mergel, Sponge Content: Anteil Schwämme (Hinweis Schwammkalk), Bean ore content: Bohnergehalt.

NW

SE

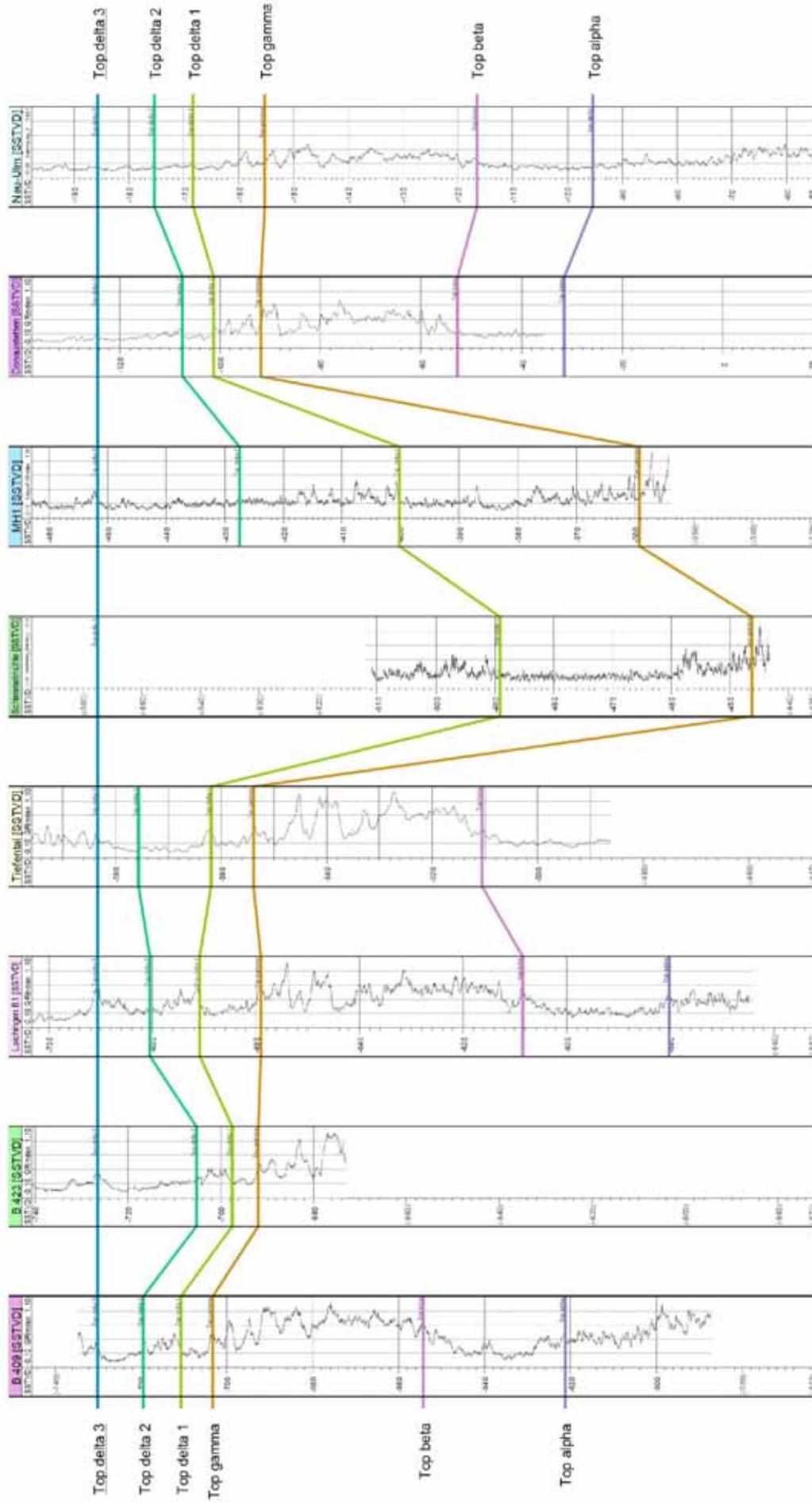


Abb. 5: NW-SE-Schnitt durch die Mittlere Alb zwischen dem Filsgebiet (B 409), Laichingen (Altablagerung Eichberg), dem Tiefental (südlich Sontheim), der Bohrung Schimmelmühle, Gerhausen (MH1), Donaustetten und Neu-Ulm und Korrelation von Gamma-Ray-Logs. Die Log-Korrelationen zeigen die beachtlichen Mächtigkeitsschwankungen der Unteren Feisenkalke 1 bis 3.

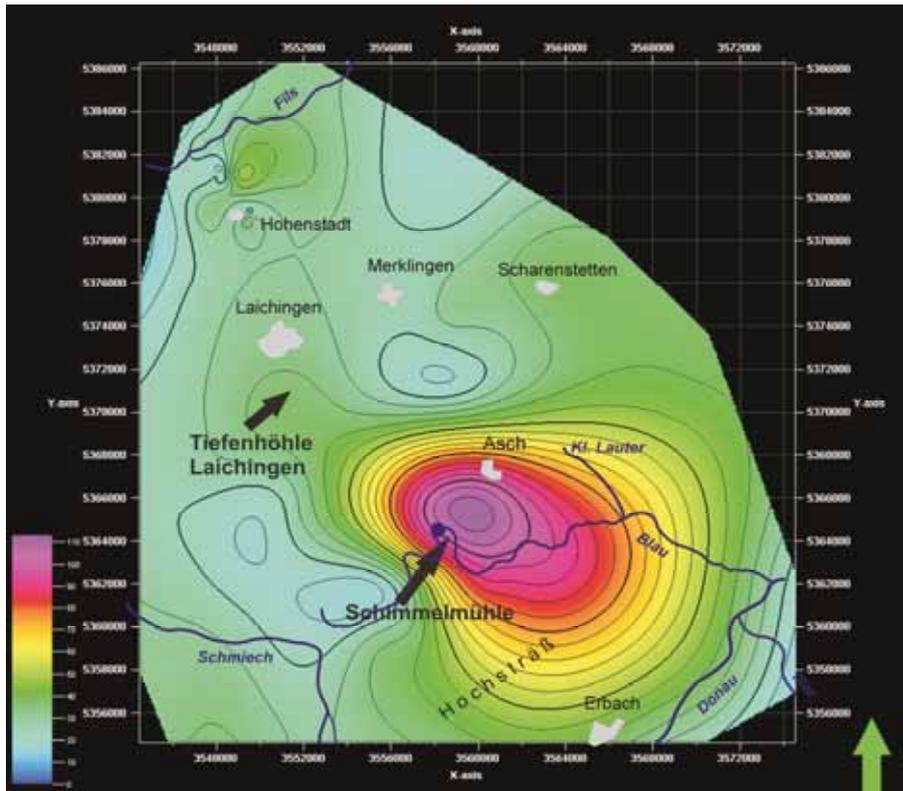


Abb. 6: Mächtigkeitsverteilung der Unteren Felsenkalke 1 bis 3 (ki 2.1 bis 2.3) im Gebiet der Mittleren Schwäbischen Alb zwischen Hohenstadt und Ulm.

Lebendstellung, sondern vielmehr verkippt im Gestein befindet. Insbesondere in stark verschwammten Bohrabschnitten kann in den Spülproben eine zum Teil deutliche Verfärbung zu pink-violetten Farben des Kalksteins beobachtet werden. Diese Verfärbung wurde bereits früher im Steinbruch Rösch in Merklingen beobachtet, aber bislang noch nicht genauer untersucht.

Direkt oberhalb der Bohrung Schimmelmühle hat RÖDEL (1958) in der Sonderbucher Steige die Glaukonitbank in 553 mNN erkannt. In Kombination dieser lithostratigraphischen Grenze mit der Gamma-Ray-Log-Gliederung der Bohrung Schimmelmühle und Bohrung MH1 Gerhausen (Hangendgrenze ki 2.2) sind für die Schichtglieder der Unteren Felsenkalk-Formation im Raum Blaubeuren folgende Mächtigkeiten anzugeben:

| | |
|-------------------------------|------|
| Untere Felsenkalke 3 (ki 2.3) | 29 m |
| Untere Felsenkalke 2 (ki 2.2) | 36 m |
| Untere Felsenkalke 1 (ki 2.1) | 43 m |

Geht man für ki 2.4 von einer mittleren Mächtigkeit von ca. 40 m aus, dann erreicht

die Untere Felsenkalk-Formation eine Gesamtmächtigkeit von ca. 150 m. Das ist um vieles mehr, als in der Literatur bislang zu lesen ist. GIESE & WERNER (1997) beschreiben mit ihrer Isopachenkarte für die Unteren Felsenkalke unterhalb der Glaukonitbank nur sehr geringe Mächtigkeiten von 20 bis ca. 40 m zwischen Laichingen und Blaubeuren, während sie westlich und östlich davon starke Mächtigkeitszunahmen ansetzen mit Beträgen von bis zu 130 m (z.B. Raum Münsingen).

3 Vetterhöhle und Blautopfhöhle

3.1 Stratigraphische Zuordnung

Die stratigraphische Einstufung der Schichten, in denen die Vetterhöhle und Blautopfhöhle verlaufen, beruht in erster Linie auf den Ergebnissen der Bohrung Schimmelmühle. Diese können mit Befunden aus der Kartierung über Tage und in den Höhlen ergänzt werden. Ein wichtiger stratigraphischer Leithorizont für die Bank- und Massenkalkfazies ist die Glaukonitbank, mit der die Grenze ki 2.3/2.4 definiert ist. RÖDEL

(1958) hat sie in der Sonderbucher Steige sowie im Galgental in etwa gleicher Höhe von 553 bzw. 558 mNN gefunden. ZIEGLER (1955) beschreibt sie vom Aufschluss gegenüber des Blaubeurer Bahnhofs (Aufschluss ehem. Blaubeurer Zementwerk) in 540 mNN. In der Vetterhöhle konnte sie an der Decke des Palasts der Winde in 561 mNN nachgewiesen werden. Die Glaukonitbank ist hier etwa 0,5 m mächtig. Sie ist grusig-mergelig und aufgrund der zahlreichen Schwammumien in lagiger Anordnung flaserig ausgebildet. Die Schwämme liegen in hoher Zahl konzentriert übereinander, nur wenige sind verkippt und daher nicht in Lebensstellung. Entlang der nahezu sählig verlaufenden Mergelzone haben sich im Palast der Winde zahlreiche mächtige Blöcke abgelöst, wodurch die Glaukonitbank die Decke der Halle bildet.



Abb. 7: Vetterhöhle, Palast der Winde: Massenhaftes Auftreten von Schwämmen in Lebensstellung (MP 1/30 unterhalb der Glaukonitbank). Aufn.: M. BARTENBACH

Tab. 1: Lage der Glaukonitbank im Umfeld der Blaubeurer Talschlinge.

| Lokalität | Rechtswert | Hochwert | Höhe mNN |
|--|------------|----------|----------|
| Galgental (RÖDEL 1958) | 3557570 | 5364680 | 558 |
| Sonderbucher Steige (RÖDEL 1958) | 3558050 | 5364670 | 553 |
| Vetterhöhle, Palast d. Winde | 3557670 | 5364590 | 560 |
| Ortsumgehungsstraße, Nord-Ausgang Tunnel | 3558205 | 5363550 | 545 |
| Barmen, Blaubeurer Zementwerk (RÖDEL 1958, ZIEGLER 1955) | 3558250 | 5363200 | 540 |



Abb. 8: Glaukonitbank (roter Pfeil) in flaserig-mergeliger Ausbildung, Straßenböschung am Nordausgang des Blaubeurer Tunnels. Aufn.: W. UFRICHT.

Eine weitere stratigraphische Einordnung der Vetterhöhle ermöglicht der Fund des Ammoniten *Aulacostephanus eudoxus prominens* ZIEGLER, der gut erhalten im Vorderen Landweg in Versturzböcken von PETRA BOLDT gefunden wurde (Raumdecke ca. 530 mNN). Die Unterart *eudoxus prominens* wurde in ZIEGLERS Monographie der Aulacostephanen aufgestellt (ZIEGLER 1962), über die stratigraphische Reichweite wurden dort jedoch keine detaillierten Angaben gemacht. Nach GÜNTER SCHWEIGERT (Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart, Museum am Löwentor), der das Fundstück bestimmte, dürfte *Aulacostephanus eudoxus prominens* nach den ihm bekannt-

ten stratigraphisch horizontalen Fundorten aus dem untersten ki 2.3 stammen (Abb. 9). Ein weiterer Ammonitenfund von PETRA BOLDT im Nordgang der Vetterhöhle konnte aufgrund seiner schlechten Erhaltung nur als *Perisphinctes* sp. bestimmt werden (det. Dr. GÜNTER SCHWEIGERT) und ist somit stratigraphisch nicht verwertbar.

Die Höhenlage der Glaukonitbank im Palast der Winde, der Ammonitenfund sowie die im Gamma-Ray-log der Bohrung Schimmelmühle abgeleiteten Grenzen stimmen gut miteinander überein. Danach kann das Blauhöhle-System wie folgt stratigraphisch zugeordnet werden:

| | | |
|---------------|------------------------------------|-------------------------|
| Vetterhöhle: | Eingang, Herbert-Griesinger-Halle, | ki 2.3 |
| | Palast der Winde | Grenzbereich ki 2.2/2.3 |
| | Walhalla, Biwak | basaler ki 2.3/2.2 |
| | Vorderer Landweg, | ki 2.2 |
| | Falkensteiner Gang | basaler ki 2.3/2.2 |
| | Nordgang-Wolkenschloss | ki 2.3 |
| | Umgehung-Kartenhaus | |
| Blautopfhöhle | Blautopf-Düse | ki 2.2 |
| | Düse-Talklamm | ki 2.1/2.2 |
| | Talklamm-Wolkenschloss | ki 2.2 |
| | Pass-Elefantenfuß | ki 2.2 |
| | Mörikedom | ki 2.2/2.3 |

Ein beträchtlicher Teil der Höhlen verläuft in den Unteren Felsenkalken 2 (ki 2.2). Diese haben im Raum Blaubeuren nicht nur eine große Mächtigkeit, sondern sind sowohl massig als auch in Übergangsfazies (Riffschuttfazies) ausgebildet. Sie lassen die Verkarstung dieses Schichtabschnitts zu, der sonst in der gebankten Fazies aus einer mergelreichen Kalksteinfolge besteht und nicht verkarstungsfähig ist. Aufgrund der faziellen Ausbildung verlagert sich die Verkarstungsbasis im Umfeld Blaubeurens somit in die Lacunosamergel-Formation. Selbst die tiefsten Gangteile der Blautopfhöhle – der Bunker in ca. 465 bis 470 mNN – liegen aber noch etwa 20 bis 25 m darüber (Grenze ki 1/2 in Bohrung Schimmelmühle bei ca. 446 mNN). Die Talsohle in der Blaubeurer Schlinge ist in der Bohrung Kindergarten auf ca. 478 mNN eingetieft, d.h. zwischen Karstbasis (ki 1/2.1) und Talsohle verbleiben knapp über 30 m ki 2.1.

Entsprechend dieser geologischen Rahmenbedingungen ist also sowohl eine Verkarstung des tieferen ki2 als auch eine Unterströmung der Blaubeurer Talschlinge möglich. Die Entstehung der Höhle ist nicht an die Sohlschicht des Karstaquifers gebunden.



Abb. 9: *Aulacostephanus eudoxus prominens*, Fundort Vetterhöhle. Aufn.: W. UFRICHT.

4 Fazieskartierung

Unabhängig von der stratigraphischen Zuordnung der Höhlen wurden zusätzlich Fazieskartierungen durchgeführt. In der Vetterhöhle erfolgte diese in Verbindung mit tektonischen Aufnahmen. Für die Blautopfhöhle hat die Arge Blautopf Videoaufnahmen zur Verfügung gestellt, die Raum- und Wandaufnahmen bis zum Mörikedom zeigen. Damit konnten näherungsweise die Schichten angesprochen und faziell klassifiziert werden. Für die Fazieskartierung wurde die Vielfalt der Erscheinungsformen der Oberjura-Kalke (PAWELLEK & AIGNER 2003, BARTENBACH 2008) vereinfachend in drei Faziesgruppen gegliedert (BARTENBACH et al. 2009):

Massenkalkfazies (Rifffazies, Typ 1): massige Kalksteine (überwiegend Biohermkalke), Krusten-Schwamm-Riffe sowie überwiegend in höher gelegenen stratigraphischen Einheiten vorkommende Partikelkalke.

Bankfazies (Normalfazies, Typ 2): gebankte Kalksteine mit einem hohen Mergelgehalt, die Kalksteine sind durch Mergel- bzw. Kalkmergelsteinlagen getrennt (Kalkstein-Mergel-Wechselfolge). Im Aufschluss sind klare Schichtfugen zwischen den einzelnen (meist dm-mächtigen) Bänken erkennbar.

Übergangsfazies (Typ 3): zwischen Typ 1 und 2 vermittelnder Faziestyp, in dieser Arbeit verwendet für massige bis flaserige Kalksteine mit erkennbaren Absonderungs-fugen bzw. Bankung, in den meisten Fällen als mit Biohermen vergesellschafteter Riff-schutt charakterisierbar.

Für die Vetterhöhle sind die kartierten Faziesseinheiten in den Grundriss (Abb. 10) und Aufriss eingetragen (Abb. 11). Daraus zeichnet sich ab, dass die höheren Schichtbereiche zwischen Griesinger-Halle und Abstieg zur Walhalla und die Fortsetzung zum Biwak und Landgang voll entwickelten Massenkalken entsprechen. Nur oberhalb des Tors zum Einstieg in die Herbert-Griesinger-Halle ist kleinräumig Bankung (mit Bankdicken von 10 bis 20 cm) mit einzelnen Mergellagen erkennbar, genauso wie im obersten Teil der Walhalla (Zustieg zur Walhalla). Infolge der Bankung lösten sich in der Walhalla an der Decke Felsblöcke ab und verleihen der Halle dadurch ein Kastenprofil. Nach unten bis zur Hallensohle werden die Kalke zunehmend massiger. Im Verbindungsweg zwischen Walhalla und Biwakplatz ist im mittleren und höheren Teil intensive Verschwammung ausgebildet. An den Felswänden sind zahlreiche Fossilien (Terebrateln, Seeigelgehäuse, Seeigelstacheln, Teller- Becherschwämme, Belemnitenrostren) freigelegt.

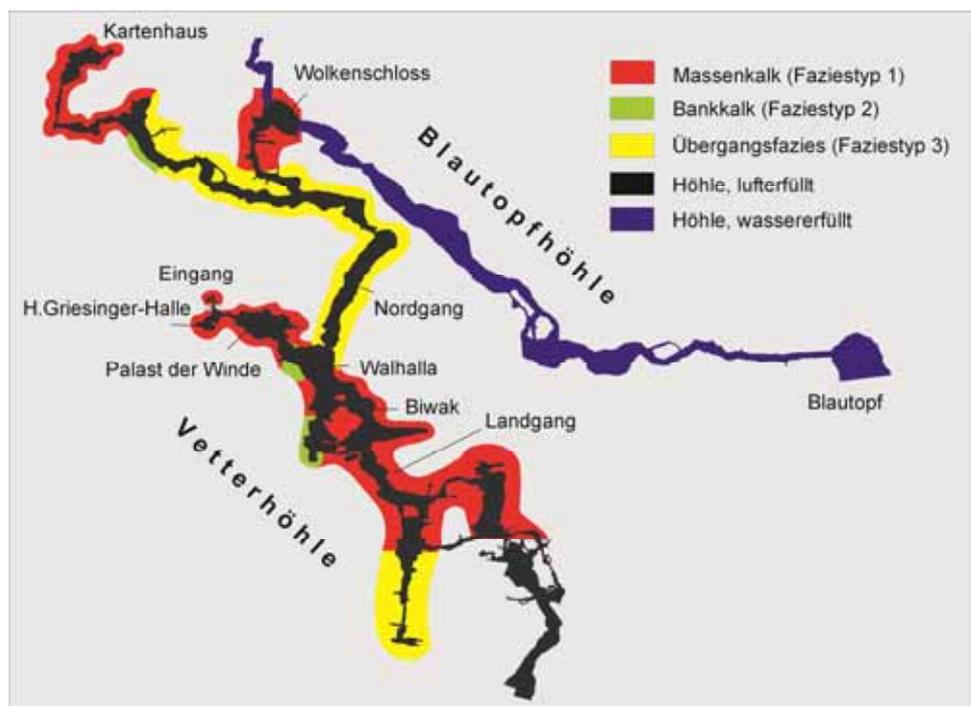


Abb. 10: Faziesverteilung in der Vetterhöhle.

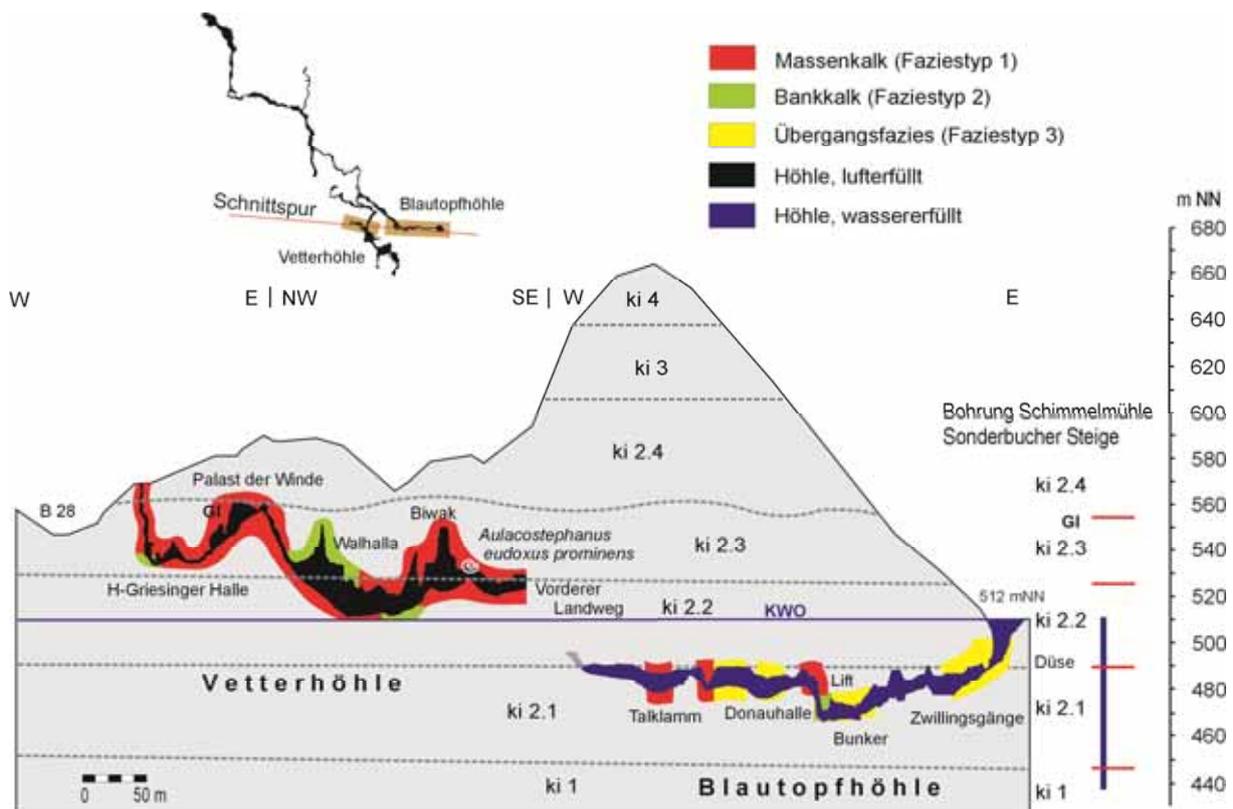


Abb. 11: Faziesverteilung in der Vetterhöhle (Eingangsbereich bis Vorderer Landweg) und in der Blautopfhöhle.

In Richtung Landgang ist bei MP 63-64 gebankte Fazies mit etwa 8 m Mächtigkeit aufgeschlossen. Die Mächtigkeiten der Kalksteinbänke betragen im Mittel 20 bis 45 cm, die der Mergellagen 3 bis 8 cm. Die Mergel einschaltungen sprechen für eine stratigraphische Einordnung in ki 2.2., was durch den Fund von *Aulacostephanus eudoxus prominens* in der Nachbarschaft bestätigt wird.

Im Landweg nimmt die Verschwammung wieder deutlich zu. Das Gestein ist nahezu schichtungslos. Am Einstieg in den Drachengang kann das Anlagerungsgefüge zwischen Bank- und Massenkalk studiert werden.

Im Falkensteiner Gang ist Bankung wieder deutlicher. Die Bänke enthalten aber noch massig Tellerschwämme in Lebensstellung. Einzelne geringmächtige Mergellagen sind eingeschaltet.

Im gesamten Nordgang ist im Kalkstein Schichtung erkennbar, z.T. mit deutlichen Mergel einschaltungen. Die Gesteinsstruktur, der Fossilinhalt und das deutliche Relief in der Schichtung sprechen dennoch für

den Einfluss der Verschwammung. Daher wird der gesamte Nordgang der Schutt-dominierten Faziesgruppe zugeordnet. Zum Wolken Schloss und im nordwestlichen Höhlenteil (Kartenhaus) nimmt die Verschwammung zu.

Für die Blautopfhöhle ist die im Film erkennbare Fazies abschnittsweise in Tab. 2 beschrieben. Die Zuordnung einzelner Filmsequenzen zu Messpunkten, über die ein Eintrag der Fazies einheit in den Höhlenplan ermöglicht wird, erfolgte durch ANDREAS KÜCHA und JOCHEN MALMANN. Für die Ansprache der Faziestypen werden folgende Grundannahmen getroffen: schichtungslose, bizarre, teils kavernöse Felsformen werden als reiner Massenkalk (Typ 1) angesprochen. Dagegen werden flaserig wirkende Kalke mit deutlich erkennbaren horizontalen Absonderungsfugen, entlang derer die Höhlenwand oftmals stark ausgebaut ist, als vermittelnder Faziestyp (3) zwischen geschichteten und verschwammten Gesteinsfolgen gesehen. Faziestyp 2 entspricht klar gebankten Kalkstein-Mergelsequenzen.

| Lokalität | Messpunkt | Charakterisierung | Faziestyp |
|-----------------------------|------------------|--|------------------|
| Düse | MP2 - MP4 | Eingang Düse: Bankung deutlich erkennbar, Bankmächtigkeiten z.T. groß, Bänke erscheinen „wülig“, keine Mergellagen, nach unten wird Bankung Schwächer, einzelne Riffkörper | 3 |
| Beginn Bunker | MP9 | Schichtung nur schwer erkennbar, eher massig-kompakt | 3 |
| Bunker | MP11 | massig-kompakt, schwach geschichtet, an Schichtfugen leicht zurückgewittert | 3 |
| Beginn Lift | MP 11 | sehr regelmäßige dm-mächtige Bankung | 2 |
| Ende Lift | MP 2 | undeutlich gebankt, wulstige Schichtflächen, vermutlich Olistolith | 3 |
| Beginn Donauhalle | MP 13 | auf rechter Seite dedolomitiert und kavernös, sonst massig | 1 |
| Donauhalle | MP 15 | Kalkstein rot gefärbt, überwiegend massig, ansatzweise Schichtung | 3 |
| Beginn Scooterklamm | MP 18.2 | Kalkstein, rot gefärbt, ansatzweise Schichtung | 3 |
| Scooterklamm | MP 18.4 | Riffkalk, schichtungslos, bizarre Felsformen, stark korrodiert, kavernös weiterhin Riffkalk, auf rechter Seite immer wieder massig, teils kavernös und korrodiert | 1 |
| Talklamm | MP 24 | Riffkalk, schichtungslos, bizarre Felsform, stark korrodiert, rostrot | 1 |
| Hochland | MP 29 | Grob gebankter Kalkstein, deutlich erkennbare Schichtflächen | 3 |
| Hochland | MP 30 | Zerklüfteter Kalkstein, rot gefärbt, im Ansatz einzelne Schichtbänke | 3 |
| Kirchentreppe bis Kirchturm | MP 32 – MP35b | Kalkstein rot gefärbt, kompakt, geringe Ansätze von Schichtung, einzelne wenige Bänke deutlich erkennbar, Bankmächtigkeiten stark variierend (dm – fast m) | 3 |
| Beginn Kartoffendüse | MP 36 | Kalkstein rot gefärbt, kompakt, Ansätze einzelner, z.T. runzeliger Schichtflächen | 3 |
| Kartoffeldüse – Fallgrube | MP 39b | deutlich gebankter Kalkstein, sehr ebene Schichtflächen, gleichmäßige Bankmächtigkeiten (mehrere dm) | 2 |
| Fallgrube | MP 40 | deutlich korrodiert Kalkstein, undeutliche Bankung, wellige Schichtflächen | 3 |
| Dachluke bis Fallgrube | MP 40 – MP 41 | deutliche Bankung, oben dünnbankig, nach unten kompakter, Schichtgrenzen uneben, wellig, fast flaserig, keine Mergellagen | 2-3 überw. 2 |
| Fallgrube | MP 42 | gebankt | 2 |

| Lokalität | Messpunkt | Charakterisierung | Faziestyp |
|---------------------------|------------------|---|------------------|
| Fallgrube bis Pass | MP 43 – MP 44 | Kalkstein rot gefärbt, massig, ansatzweise Schichtung | 3 |
| Pass – Rückwärtsgang | MP 45 | Übergang in massigen Riffkalk, örtlich Schwämme | 1 |
| Rückwärtsgang | MP 47 | wellige, massige Bankung | 3 |
| Riss | MP 48 – MP 53 | Riffkalk, massig, raue und stark korrodierte Oberfläche, scharfkantig | 1 |
| Schnecke | MP 55 – MP 56 | kompakt, v.a. oben keine Schichtung, nach unten Schichtung schwach angedeutet | 3 |
| Krokodil | MP 57 | kompakt, keine Bankung | 3 evtl. 1 |
| Krokodil – Hohle Gasse | MP 57 – MP 58 | massiger Kalkstein, keine Bankung, vermutlich Riffkalk | 1 |
| Hohle Gasse | MP 58 | kompakter Kalkstein, massige Bänke, wellige Schichtflächen | 3 |
| Hohle Gasse | MP 58 – MP 61 | Riffkalk, massig-kompakt, scharfkantige Korrosion | 1 |
| Hohle Gasse – U-Bahn | MP 62 – MP 65 | kompakter Riffkalk | 1 |
| U-Bahn – Spanische Wand | MP 70 – MP 73 | Kalkstein, kompakt, undeutliche Bankung | 3 |
| Vorbei an Spanischer Wand | MP 73 – MP 75 | Kalkstein, kompakt, undeutliche Bankung | 3 |
| Elefantenfuß – Ziege | MP 77 | Kalkstein, kompakt, wellige Schichtflächen angedeutet | 3 |
| | MP 79 – MP 81 | massiger Kalkstein, undeutlich wellig gebankt, scharfkantige Korrosion | 3 |
| | MP 84 – MP 85 | Kalkstein, kompakt, schwach gebankt | 3 |
| | MP 86 | Kalkstein, kompakt, schwach gebankt | 3 |
| | MP 88 | Kalkstein, massig, schwach gebankt, scharfkantige Korrosion | 3 |

| Lokalität | Messpunkt | Charakterisierung | Faziestyp |
|------------------|------------------|---|------------------|
| | MP 90 | Kalkstein, massig, scharfkantige Korrosion | 1 |
| | MP 91 | Kalkstein, kompakt, ansatzweise Schichtung | 3 |
| Deckenzapfen | MP 93 | Kalkstein, scharfkantig verwittert, ansatzweise gebankt | 3 |
| Mörikedom Umgang | MP 94 | deutlich werdende Bankung, jedoch noch überwiegend massig wirkender Kalkstein | 3 |
| | MP 95 | Kalkstein, gebankt, leicht gewellte Bankfugen | 2 |
| Mörikedom | MP 96 | Kalkstein, gebankt, Schichtflächen flaserig | 2/3 |

Tabelle 2: Zusammenstellung der Faziestypen in der Blautopfhöhle zwischen Düse und Mörikedom. Interpretiert nach Filmaufnahmen der Arge Blautopf (Wandabwicklung) und Literaturswertung (ARGE BLAUTOPF 2009, BARTH et al. o.J., HASENMAYER 1986a, 1986b, 1986c, SCHOPPER & KÜCHA 2007).

Fazies-Typ: 1: Riffkalk, Faziestyp 2: Bankkalk-Mergelkalk, Faziestyp 3: Übergangsfazies.

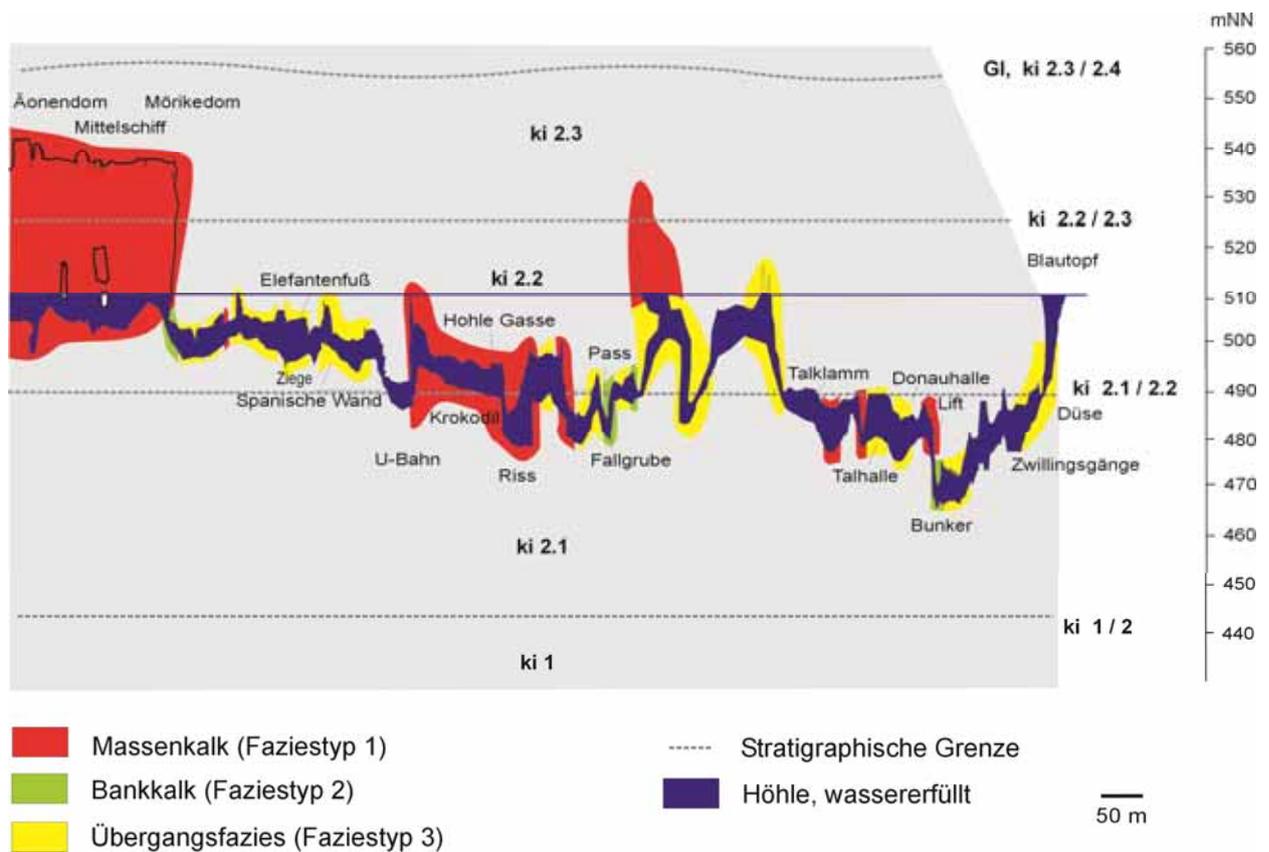


Abb. 12: Faziesverteilung in der Blautopfhöhle (Düse bis Mörikedom), basierend auf der Interpretation von Filmaufnahmen der Arge Blautopf (Wandabwicklung), siehe Tabelle 2.

Nach der in Tabelle 2 zusammengefassten Charakterisierung verläuft die Blautopfhöhle bis zum Mörikedom überwiegend in der Übergangsfazies (Abb. 12). Auch die deutlich sichtbare, z.T. wülstige Bankung im Eingangsbereich (Düse) spricht aufgrund der hohen Bankmächtigkeiten von zum Teil mehr als 0,5 m für den Einfluss von Verschwammung. Die hohen Bankmächtigkeiten am Grund des Blautopfs haben KELLER (1963) veranlasst, die Gesteine dem ki 2.3 zuzuweisen, wo in Normalfazies derart mächtige Bänke durchaus vorkommen. Die Düse liegt jedoch bereits im Übergangsbereich zwischen ki 2.1 und ki 2.2.

5 Modellierung

Die zur Verfügung stehenden und neu erarbeiteten geologischen Datensätze führten zur Erarbeitung eines ersten 3D-Modells, das alle gesammelten Ergebnisse in sich vereint. Das Modell wurde mit der geologischen Modellierungssoftware Petrel erstellt. Alle verfügbaren Teufeninformationen stratigraphischer Grenzen wurden gesammelt

und um zahlreiche weitere Punkte ergänzt. Hierzu diente maßgeblich die Auswertung und Gegenüberstellung (Korrelation) der verfügbaren oder neu generierten Gamma-Ray Logs. Diese Logs stellen die an einer Stelle im Gestein gemessenen Werte an radioaktiven Zerfällen über die Tiefe eines Bohrlochs, oder – wenn im Gelände gemessen – über die Tiefe einer Aufschlusswand dar. Dabei zeigen gleiche stratigraphische Einheiten oft die gleichen charakteristischen Log-Muster, so dass es möglich ist, Zeitlinien durch den Untergrund zu ziehen. Eine stratigraphische Grenze stellt demnach also einen Horizont von Gestein gleichen Alters dar.

Für die weiteren Schritte der Modellierung war es notwendig, die Vielzahl der im Gelände erkennbaren Ausbildungen der Kalksteine zu wenigen, auch in digitalen Log-Signaturen erkennbaren Typen zusammenzufassen (BARTENBACH et al. 2009). Die resultierenden modellierten Faziesgruppen ließen sich so über die gesamten verfügba-

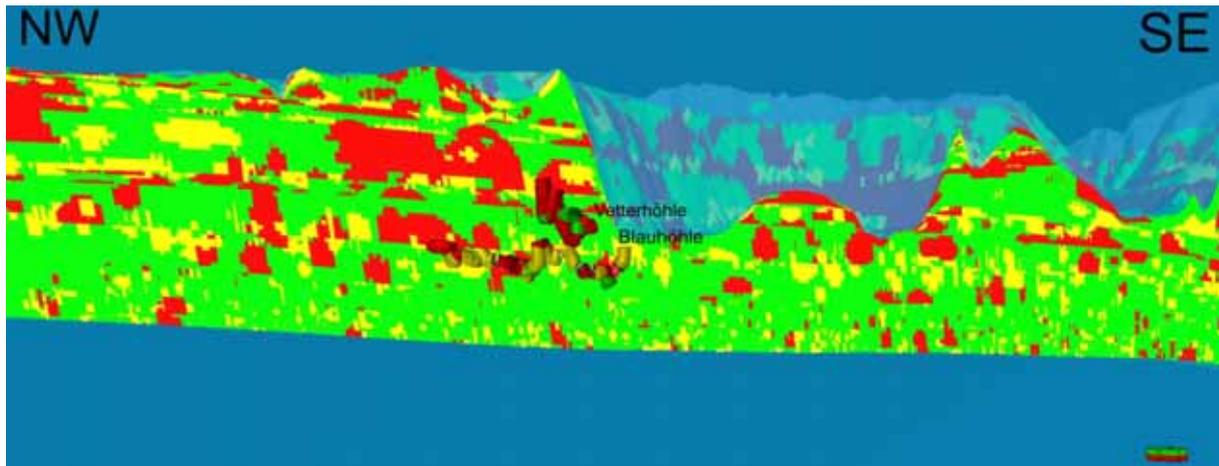


Abb. 13: Modellierung der Faziesverteilung im Bereich der Blaubeurer Talschlinge und des Blauhöhle-Systems. Die Modellierung erfolgte mit Petrel.
Faziestypen: rot = Massenkalk (Faziestyp 1), grün = Bankkalk (Faziestyp 2), gelb = Übergangsfazies (Faziestyp 3).

ren Bohrlochdaten sowie auch in den wesentlich besser auflösbaren Aufschlüssen anwenden. Insbesondere Aufschlüsse an Steinbruchwänden konnten hierbei dazu verwendet werden, Bohrlochdaten zu kalibrieren, indem sie mit log-Mustern von Sprenglöchern direkt hinter der anstehenden Aufschlusswand verglichen wurden. Die faziellen Aufnahmen der Vetter- sowie der Blautopfhöhle wurden zu weiteren wichtigen Stützpunkten im 3D-Modell in direkter Nähe zur Schimmelmühle (Abb. 13). Ein Schnitt durch das erarbeitete Petrel-Modell zeigt die modellierte fazielle Verteilung der unterschiedenen Faziesgruppen, wobei massige Kalksteine rot, massige Kalksteine mit erkennbarer Schichtung gelb und gebankte Kalksteine grün dargestellt werden.

6 Dank

Wir bedanken uns

- bei ANDREAS KÜCHA und JOCHEN MALMANN für die Unterstützung bei der Auswertung der Filmsequenzen aus der Blautopfhöhle,
- bei der Arge Blautopf und Arge Grabenstetten für die Zurverfügungstellung von Plänen der Vetterhöhle und Blautopfhöhle

für die geologischen Kartierarbeiten unter Tage,

- bei Dr. GÜNTER SCHWEIGERT (Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart) für die Bestimmung der Ammonitenfunde in der Vetterhöhle,
- beim Landratsamt Alb-Donau-Kreis für die wasserrechtliche Erlaubnis zur Niederbringung der Bohrung Schimmelmühle,
- bei den Höhlenfreunden, die uns vor allem bei zahlreichen Höhlentouren in die Vetterhöhle begleiteten und uns unterstützten, insbesondere bei MARKUS BOLDT und PETRA BOLDT, die die Kartierung der Vetterhöhle initiierten.
- bei der Firma Eduard Merkle (Herr KOCH-CZECH), der Arge Höhle- und Karst Grabenstetten, der HFGOK/Arge Blautopf, der Universität Tübingen (Institut für Geowissenschaften, Sedimentgeologie), dem Höhlen- und Heimatverein Laichingen, dem Landesverband für Höhlen- und Karstforschung Baden-Württemberg, der Firma Geo Bohr (Herr BENJAMIN KLOCK) für die finanzielle und logistische Unterstützung zur Ausführung der Bohrung Schimmelmühle,
- bei Herrn ALFRED SCHILLING (Schimmelmühle) für die Duldung der Bohrarbeiten auf seinem Grundstück.

Schriftenverzeichnis

- ALDINGER, H. (1942): Zur Stratigraphie des Weißen Jura Delta in Württemberg. – Jber. u. Mitt. oberrhein. geol. Ver., **31**: 111-152; Stuttgart.
- ARGE BLAUTOPF (2009): Vorstoß in unbekannte Höhlenwelten. – 136 S.; Ostfildern (Jan Thorbecke).
- BARTENBACH, M. (2008): Facies analysis and 3D-modeling of Upper Jurassic Carbonates: Implications for resource- and reservoir geology (Blaubeuren area, SW-Germany). – Dipl. Arb. Univ. Tübingen, 132 S.; Tübingen.
- BARTENBACH, M., MÖBIUS, R. & AIGNER, T. (2009): Neue Daten zur Geologie (Schichtenfolge, Fazies) des Oberjuras im Einzugsgebiet des Blautopfs. – Laichinger Höhlenfreund, **44**: 73 – 88; Laichingen (in diesem Band).
- BARTH, G., HASENMAYER, B., HERRIG, R., SCHNEIDER, J. & HASENMAYER, J. (o.J.): Die Entdeckung der Blauhöhle und der Süddeutschen Höhlentherme. Tauchforschungen seit 1961 und erste U-Bootfahrten. – 14 S.
- GIESE, S. & WERNER, W. (1997): Zum strukturellen und lithologischen Bau des Oberjuras der Mittleren Schwäbischen Alb. – Jh. geol. Landesamt, **37**: 49-76; Stuttgart. Mit einem Beitrag von M. SCHAUER.
- GWINNER, M. P. (1980): Erläuterungen zu Blatt 7524 Blaubeuren. -Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25.000, mit Beiträgen von H. J. MAUS, W. OHMERT, A. SCHREINER, E. VILLINGER & HHV LAICHINGEN. – 64 S.; Stuttgart.
- HASENMAYER, J. (1986a): Die heiße Spur im kalten Blautopf. – Baden-Württemberg **1986**, Heft 4: 9-19; Stuttgart.
- (1986b): Das Geheimnis des Blautopfs. – Geo, **1986**, Heft 5: 10-38; Hamburg.
- (1986c): Blautopf – Blauhöhle. Schlüssel für ein neues Verkarstungsbild des Schwäbischen Juras. – In DECKER-HAUFF, H. & EBERL, I. (Hrsg.): Blaubeuren. Die Entwicklung einer Siedlung in Südwestdeutschland, 19-50; Sigmaringen (Thorbecke).
- HERZOG, M. (1997): Rohstoff-Kalkstein-petrographische Untersuchungen zur Dolomit/De-dolomit-Frage im Oberjura der Laichinger Tiefenhöhle (Schwäbische Alb). – Laichinger Höhlenfreund, **32**(2): 57-113; Laichingen.
- KRAUTTER, M. (1995): Erläuterungen zum Blatt 7423 Wiesensteig. – Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25.000, mit einem Beitrag von M. FRANZ, 146 S. und geol. Karte; Stuttgart.
- LGRB (2009): Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg. Verzeichnis Geologischer Einheiten. – Aktual. Internet Publ.: [http://www.lgrb.uni.freiburg.de/Fachbereiche/Geologie/Beratung und Dienstleistungen/Geologische Regelwerke](http://www.lgrb.uni.freiburg.de/Fachbereiche/Geologie/Beratung%20und%20Dienstleistungen/Geologische%20Regelwerke); Freiburg i. Br. (Landesamt Geol. Rohst. Bergb. Baden-Württ.).
- MÖBIUS, R. (2008): (High-resolution) Facies analysis and 3D-modeling of Upper Jurassic Carbonates: Implication for resource and reservoir geology, Blaubeuren-Gerhausen (SW-Germany). – Dipl. Arb. Geol. Inst. Univ. Tübingen, 132 S.; Tübingen
- PAWELLEK, T. (2001): Fazies-, Sequenz- und Gamma-ray-Analyse im Höheren Malm der Schwäbischen Alb (SW-Deutschland) mit Bemerkungen zur Rohstoffgeologie (Hoch-reine Kalke). – Tübinger Geowiss. Arb., 61: 246 S.; Tübingen.
- PAWELLEK, T. & AIGNER, T. (2003): Stratigraphic architecture and gamma ray logs of deeper ramp carbonates (Upper Jurassic, SW Germany). – Sedimentary Geology, **159** (3-4): 203-240; Amsterdam.

- RÖDEL, C (1958): Die Geologie des Blattes Blaubeuren (7524) und der Nordhälfte des Blattes Böhlingen (7523), Schwäbische Alb. – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, **15**: 1-79; Stuttgart.
- SCHAUER, M. (1998): Dynamische Stratigraphie, Diagenese und Rohstoffpotential des Oberjura (Kimmeridge 1-5) der mittleren Schwäbischen Alb. – Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, **A 36**: 153 S.; Tübingen.
- SCHICK, H. (2004): Gliederung und Typusprofil der Lacunosamergel-Formation (Ober-Jura, Schwäbische Alb). – Stuttgarter Beitr. Naturk., Ser. **B 346**: 25 S.; Stuttgart.
- SCHOPPER, M. & KÜCHA, A. (2007): Neueste Forschungsergebnisse im Blauhöhlensystem 7524/30. – Mitt. Verb. dt. Höhlen- Karstforscher, **53(4)**: 100-105; München.
- SCHWEIGERT, G. (1995): Neues zur Stratigraphie des schwäbischen Oberjura. – Laichinger Höhlenfreund, **30(2)**: 49-60; Laichingen.
- VEIT, E. (1936): Geologische Untersuchungen im Gebiet des oberen Filstales. – Jh. Ver. Vaterl. Naturkunde Württ., **92**: 74-138; Stuttgart.
- ZIEGLER, B. (1955): Die Sedimentation im Malm delta der Schwäbischen Alb. – Jber. u. Mitt. oberrh. geol. Ver., N.F. **37**: 29-55; Stuttgart.
- (1959): Profile aus dem Weißjura delta der Schwäbischen Alb. – Arb. Geol. Paläont. Inst. TH Stuttgart, N.F. **21**, 70 S.; Stuttgart.
- (1962): Die Ammoniten-Gattung *Aulacostephanus* im Oberjura. (Taxonomie, Stratigraphie, Biologie). – Palaeontographica, **1962**.: 172 S.; Stuttgart.