Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau



LGRB-Informationen	32	S. 113 – 157	17 Abb.	1 Tab.	1 Taf.	5 Anh.	Freiburg i. Br. Juni 2021
--------------------	----	--------------	---------	--------	--------	--------	------------------------------

Die Forschungsbohrung Unteres Bleichtal bei Herbolzheim (Landkreis Emmendingen, Baden-Württemberg)

Lena Stark, Matthias Franz, Ulrike Wielandt-Schuster & Susanne Feist-Burkhardt

Inhalt

1	Einleitung		115
2	Geologischer Rahmen		116
3	Geophysikalische Vorer	kundung	117
	3.1 Reflexionsseismik		117
	3.2 Geoelektrik		123
4	Untersuchungen der Lo	ckersedimente	125
	4.1 Iffezheim-Formation		125
	4.2 Breisgau-Formation		127
	4.3 Neuenburg-Formatio	n	128
	4.4 Schwermineralanalys	se	129
	4.5 Bohrlochmessungen		131
	4.6 Vergleich mit anderei	n Bohrungen	133
5	Untersuchungen des Fe	stgesteins	135
	5.1 Opalinuston-Formatio	on	135
	5.2 Palynostratigraphisch	ne Untersuchung der Opalinuston-Formation	138
6	Fazit		142
7	Dank		142
8	Literatur		143

Anschrift der Autoren: LENA STARK, Dr. MATTHIAS FRANZ und Dr. ULRIKE WIELANDT-SCHUSTER • Regierungspräsidium Freiburg (Abt. 9) – Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau • Postfach • 79095 Freiburg i. Br. • Iena.stark@rpf.bwl.de, matthias. franz@rpf.bwl.de und ulrike.wielandt-schuster@rpf.bwl.de; Dr. SUSANNE FEIST-BURKHARDT • Geological Consulting & Services • Odenwaldstr. 18, 64372 Ober-Ramstadt • feistburkhardt@gmail.com



Anhang	1 Schichtenverzeichnis der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal	145
Anhang	2 Fotodokumentation der Lockersedimente und Lithofazieslog der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal	148
Anhang	3 Artenliste der Palynomorphen im Opalinuston	154
Anhang	4 Verteilung der prozentualen Anteile der Dinoflagellatenzystengruppen an der Dinoflagel- latenzysten-Vergesellschaftung in der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal	156
Anhang	5 Schichtenverzeichnis der Bohrung GWM 1T/07, Schutzgebietsausweisung Kenzingen	157

Schlagworte: Forschungsbohrung, Oberrheingraben, Neuenburg-Formation, Breisgau-Formation, Iffezheim-Formation, Opalinuston-Formation

Zusammenfassung

Zur Erkundung der Mächtigkeit und Zusammensetzung der Lockergesteinsfüllung des Bleichtals zwischen Herbolzheim und Kenzingen wurde 2016 die Forschungsbohrung Unteres Bleichtal abgeteuft. Die 123 m tiefe Bohrung erschließt in einem Seitental des Oberrheingrabens bis 98,5 m Lockersedimente und endet im tieferen Teil der Opalinuston-Formation. Die Abfolge der Lockersedimente beginnt mit 51,57 m mächtigen lokalen Schüttungen der Iffezheim-Formation, die ein frühpleistozänes Alter aufweisen. Darüber folgen 22,18 m lokale und alpine Schotter der Breisgau-Formation und 22,85 m unverwitterte alpine und lokale Sedimente der Neuenburg-Formation. Diese wurden größtenteils unter kaltzeitlichen Bedingungen abgelagert. Den Abschluss bilden 1,90 m mächtige holozäne Feinsedimente.

The Lower Bleichtal research borehole (Emmendingen district, SW-Germany)

Keywords: Research drilling, Upper Rhine Graben, Neuenburg Formation, Breisgau Formation, Iffezheim Formation, Opalinuston Formation

Abstract

The Lower Bleichtal research borehole was drilled in 2016 to investigate the thickness and composition of the filling of the Bleichtal valley between Herbolzheim and Kenzingen. The 123 m deep borehole contains 98.5 m thick unconsolidated sediments in a side valley of the Upper Rhine Graben and terminates in the lower part of the Opalinuston Formation. The sequence of unconsolidated rock is divided into 51.00 m thick, early Pleistocene, local sediments of the Iffezheim Formation. Above follow 22.18 m thick local and alpine gravel of the Breisgau Formation and 22.85 m thick unweathered alpine and local sediments of the Neuenburg Formation. Most of the sediments were deposited under cold-age conditions. 1,90 m of Holocene fine sediment complete the profile.

1 Einleitung

Die vom Westschwarzwald zum Rhein gerichteten Täler weisen teilweise unerwartet mächtige Lockergesteinsfüllungen auf. Die 2007 im Zusammenhang mit der Schutzgebietsausweisung für den Brunnen "Herbolzheimer Pfad" der Stadt Kenzingen abgeteufte Bohrung GWM1T/07 (BO7712/1349) wies darauf hin, dass auch am südlichen Talausgang des Bleichtals vergleichsweise mächtige Lockersedimente vorhanden sind. Zudem hatte diese Bohrung pleistozäne, limnische Feinsedimente erschlossen, die näher untersucht werden sollten.

Die Forschungsbohrung Unteres Bleichtal (BO7712/2081) wurde im Jahr 2016 als Kernbohrung vom Bohrunternehmen BauGrund Süd im südlichen Oberrheingraben abgeteuft. Der Ansatzpunkt der Bohrung liegt im Ausgangsbereich des Bleichtals etwa 1 km südlich der Stadt Herbolzheim östlich der L 106. Das Untere Bleichtal ist an seiner Mündung in den Oberrheingraben zwischen Kenzingen und Herbolzheim trichterförmig aufgeweitet (Abb. 1).

Das Ziel der Untersuchungen war es, Informationen über die Zusammensetzung der Lockersedimente zu gewinnen und ein besseres Verständnis der Ablagerungsbedingungen im Pliozän und Pleistozän zu bekommen. Durch die spezielle Grabenrandtektonik am Oberrheingraben ließ sich die Mächtigkeit der Lockersedimente hier kaum prognostizieren. Zur Vorbereitung der Bohrung fanden geophysikalische Messungen statt (Reflexionsseismik und Geoelektrik), mit deren Hilfe der Bohrpunkt festgelegt wurde.

Die Forschungsbohrung Unteres Bleichtal bestätigte die hohe Mächtigkeit der Lockersedimente, deren Basis bei 98,5 m Teufe erbohrt wurde. Das liegende Festgestein stellte sich überraschenderweise als Opalinuston-Formation heraus, weshalb die Bohrung noch bis 123 m Teufe verlängert wurde, um auch diesen Teil wissenschaftlich untersuchen zu können. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf den pliozänen und quartären Lockersedimenten, weshalb diese im Kapitel 4 zuerst beschrieben werden.

Abkürzungen

BO = Bohrung FBB = Forschungsbohrung Bleichtal GWM = Grundwassermessstelle





Abb. 1: Lage der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal bei Herbolzheim. Hintergrundkarte aus Geodaten der Integrierten geowissenschaftlichen Landesaufnahme (GeoLa), Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau am Regierungspräsidium Freiburg, Darstellung mit quartären Deckschichten. Stratigraphische Kürzel siehe Kartenausschnitt in Abb. 2.

2 Geologischer Rahmen

Das ca. 10 km lange Bleichtal öffnet sich gen Westen und stellt nach Kessler (2010) mit seiner auffälligen E-W-Richtung ein tektonisch angelegtes Tal dar. Das gesamte Tal wird heute durch den Bleichbach über die Elz in den Rhein entwässert. Im mittleren Schwarzwald ist der Übergangsbereich vom Grund- zum Deckgebirge von einer stark gegliederten Abtreppung zum Rheingraben hin geprägt (Kessler 2010). Zwischen Offenburg und Emmendingen liegt die Lahr-Emmendinger Vorbergzone, die sich direkt am Grabenrand überwiegend aus Buntsandsteinschollen und kleineren Flächen mit Muschelkalk zusammensetzt und in deren südlichem Abschnitt das Bleichtal liegt. Die sich westlich anschließende Vorhügel-Zone ist fast vollständig von Löss-Sedimenten bedeckt, dort sind die tektonischen Schollen weiter abgesenkt und das Festgestein unter der quartären Bedeckung besteht überwiegend aus Muschelkalk. Diese Zone wird durch N-S verlaufende Störungen weiter gegliedert (vgl. Abb. 2). In weiter zum Grabeninneren liegenden tektonischen Schollen sind jurassische Sedimente aufgeschlossen (z.B. westlicher Bereich der Vorbergzone bei Kenzingen).

Die Lockergesteinsfüllung des Oberrheingrabens besteht aus meist fluvialen Sedimenten pliozänen bis holozänen Alters. Die Ablagerung war stark durch den Einfluss von Klima und Tektonik

geprägt. Die dynamischen Rahmenbedingungen führten zu wechselnden Verhältnissen von Akkomodationsraum und Sedimentinput (Ellwanger 2008). Im Pliozän setzt sich der Sedimenteintrag in den Oberrheingraben ausschließlich aus Material von den Grabenrändern zusammen. Im späten Pliozän erfolgte mit dem Anschluss der Aare an den Oberrheingraben eine Erweiterung des Einzugsgebiets und alpine Sedimente tauchen erstmalig in der Abfolge der Lockersedimente auf (vgl. Bartz 1961, Boenigk 1982, Ellwanger et al. 2003, Hagedorn 2004, Villinger 1986). In der Hoßkirch-Eiszeit erfolgte der Sedimenteintrag vor allem über den Mittelland-Gletscher (Ellwanger et al. 2011), erst in der Riß-Eiszeit wird dieser über den Rheingletscher dominant. Durch die Bildung von übertieften Becken am Alpenrand wurden große Mengen an Sedimenten mobilisiert und durch den Hochrhein in den Oberrheingraben transportiert (Ellwanger 2011).





Abb. 2: Geologisches Umfeld der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal bei Herbolzheim am östlichen Rand des Oberrheingrabens mit der Hauptrandverwerfung und der Lahr–Emmendinger Vorbergzone. Hintergrundkarte aus Geodaten der Integrierten geowissenschaftlichen Landesaufnahme (GeoLa), Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau am Regierungspräsidium Freiburg, Darstellung mit quartären Deckschichten. Stratigraphische Kürzel: qhy – Anthropogene Ablagerungen (Aufschüttung, Auffüllung), y – Anthropogen verändertes Gelände, Lo – Löss, qhz – Holozäne Abschwemmmassen, qhTa – Holozänes Auensediment, Lf – Auenlehm, qNE – Neuenburg-Formation, mo – Oberer Muschelkalk (ungegliedert), mu – Unterer Muschelkalk (ungegliedert), soT – Rötton-Formation, soPL – Plattensandstein-Formation, sVK – Kristallsandstein-Subformation (der sV), sVg Geröllsandstein-Subformation (der sV), sVs – Badischer Bausandstein, suE – Eck-Formation, zT – Tigersandstein-Formation, gST – Steinach-Formation, durchgezogene Linie – Tektonik nachgewiesen, gestrichelte Linie – Tektonik vermutet, rote gestrichelte Linie – Tektonik von quartären Ablagerungen überdeckt.

3 Geophysikalische Vorerkundung

Zur Vorbereitung der Forschungsbohrung fanden im Sommer 2016 geophysikalische Messungen statt (Reflexionsseismik und Geoelektrik). Die Bohrung sollte möglichst dort angesetzt werden, wo mittels kombinierter Interpretation der seismischen und geoelektrischen Daten die mächtigste Abfolge an Lockersedimenten zu erwarten war. Für die Geoelektrik wurde dabei eine höhere Auflösung in flachen Teufen erwartet als bei der seismischen Untersuchung.

3.1 Reflexionsseismik

Die Firma geoFact GmbH führte entlang von zwei Profilen im Bleichtal bei Herbolzheim reflexionsseismische Messungen durch. Ziel war die Erkundung der Sedimente im Bereich des Oberrheingrabens bis in ca. 200 m Tiefe. Insbesondere sollte die Lockergesteinsbasis kartiert werden. Das Profil 1 verlief etwa von Süd nach Nord, parallel zur Landesstraße L 106 und war 1128 m lang. Das Profil 2 verlief von West nach Ost auf einer Länge von 400 m entlang eines Flurwegs. Abbildung 3 zeigt die Lage der beiden Profile.





Abb. 3: Verlauf der seismischen Profile mit CMP-Linien bei Herbolzheim und Standort der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal (roter Punkt). Der Schnittpunkt von Profil 1 und 2 ist jeweils auf der Darstellung der Tiefenmigration markiert. Die Messprofile hatten folgende Längen: Profil 1: 1128 m, Profil 2: 400 m. Maßstab ca. 1:4000. Die Messungen erfolgten mit einem Geophonabstand von 4 m. Als seismische Quelle wurde ein beschleunigtes Fallgewicht (PEG40) verwendet (geoFact GmbH 2016).





Abb. 4 und 5:

Darstellung der Tiefenmigration (Profil 1 und 2) und Ergebnis der Refraktionstomographie auf Basis der Ersteinsätze. Die Tiefenwandlung erfolgte unter Verwendung der Stapelgeschwindigkeiten, wobei Unsicherheiten von 5 bis 10 % möglich sind. Die Refraktionstomographie zeigt eine Geschwindigkeitsfunktion bis etwa 20 m Tiefe unter Gelände. Mögliche Reflexionen sind in den Sektionen markiert. Die Farben auf Abb. 4 entsprechen den Farben der Formationen auf Abb. 5. Die Stapelgeschwindigkeiten liegen schon in geringer Tiefe bei Werten oberhalb von 1.700 m/s, was für fest gelagerte Lockersedimente oder gar Festgestein spricht. Der markante Reflektor bei 200 ms stapelt sich bei Geschwindigkeiten um 2.100 m/s (geoFact GmbH 2016).





Für die Auswertung wurden die seismischen Daten bis zur Tiefenmigration prozessiert (geoFact GmbH 2016). Zur Interpretation der seismischen Sektionen wurde ein Linedrawing erstellt. Hierfür werden die Reflexionen durch Linien markiert. Die Ergebnisse des Linedrawings und der Seismik-Interpretation mit der korrelierten Forschungsbohrung Unteres Bleichtal sind in Abb. 4 und 5 dargestellt. Nach unten erscheinen die Reflektoren zunehmend wellig, was auf die mit der Tiefe zunehmend schwierigere Prozessierung der Daten zurückzuführen ist.

In der Korrelation der prozessierten Tiefenmigration mit den Bohrlochdaten zeigt sich im N–S-Schnitt eine deutliche Übereinstimmung der Lockergesteinsbasis bei 98,5 m Teufe mit einem markanten Reflektor (orange). Die Lockergesteinsbasis weist ein relativ flaches Relief bei einer maximalen Eintiefung von ~105 m Teufe auf. Im O– W-Schnitt (Profil 2) ist die diskordante Lage der Lockergesteinsbasis zum Festgestein gut zu erkennen, diese Grenze stellt ein Erosionsrelief dar. Die Mächtigkeit der Lockergesteine nimmt nach Osten auf ca. 70 m ab.

Unterhalb der Lockergesteinsbasis sind markante und konnektive Reflektoren zu erkennen, die im N–S-Schnitt (Profil 1) relativ parallel und horizontal liegen. Die große Eintiefung am südlichen Talausgang des Bleichtals ist demnach primär fluviatil und nicht tektonisch bedingt. Im O–W-Schnitt fallen die Reflektoren nach Westen Richtung Grabenzentrum ein. Schichtverstellungen bis 25° wurden auch am Bohrkern in der Opalinuston-Formation gemessen (Kapitel 5.1). Innerhalb des Lockergesteins kann im unteren Bereich eine seismische Fazies mit durchgehenden Reflektoren unterschieden werden. Dieser Bereich deckt sich mit der in der Bohrung ermittelten Mächtigkeit der Iffezheim-Formation, deren zyklische Abfolge, hervorgerufen durch die Wechsellagerung von Kiesen, Sanden und Feinsedimenten, in der Seismik deutliche Marker hervorruft. Die seismischen Marker der Iffezheim-Formation lassen eine Schüttungsrichtung vom Bleichtal nach Westen in den Oberrheingraben erkennen. Die Grenze zur Breisgau-Formation ist hellgelb markiert (Profil 1). Zwischen Breisgau- bzw. Neuenburg-Formation entsteht kein Reflektor, da diese Formationen sich lithologisch vor allem im Verwitterungsgrad unterscheiden.

Die Reflektoren sind teilweise unterbrochen, was ein möglicher Hinweis auf Diskontinuitäten im Gesteinsverband sein kann. Aufgrund der hohen Unsicherheit der Interpretation werden nur Diskontinuitäten mit einem deutlichen Versatz als potenzielle Störungen gewertet. Im N–S-Schnitt ist eine Störung zu sehen, deren Versatz nach unten abnimmt. Die Störung lässt sich im Lockergestein nicht weiterverfolgen. Im O–W-Schnitt ist eine steil stehende Störung mit deutlichem Versatz im Festgestein zu erkennen. Nach oben hin wird der Verlauf der Störung undeutlich, im Lockergestein lässt sich der Versatz nicht weiterverfolgen.

Für die Horizonte unterhalb der Lockergesteinsbasis wurde versucht, markante Marker mit Schichtgrenzen zu korrelieren, die starke lithologische Kontraste aufweisen und diese mit Hilfe von Mächtigkeitsangaben aus der Literatur abzuleiten (Tab. 1). Die Ergebnisse der Ammoniten- und Ostrakodenbestimmungen zeigen, dass die Bohrung im tieferen Teil der Opalinuston-Formation endet (Torulosum-Subzone, Aalensis-Zone nicht auszuschließen, siehe Kapitel 5.1). Die Opalinuston-Formation erscheint in der seismischen Charakteristik als diffus erscheinende Zone mit schwachen Reflektoren (vgl. GeoMol 2015), was sehr gut mit der Bohrung korreliert. Reflektoren auf Höhe dieser Zone an den Schnitträndern sind vermutlich auf Migrationseffekte zurückzuführen. Die im Raum Freiburg nur gering mächtige Jurensismergel-Formation wird mit dem Einsetzen von Kalkbänken erreicht, die sich in der seismischen Fazies vermutlich nicht abzeichnen. Im Liegenden der diffus erscheinenden Zone liegt ein deutlich sichtbarer, konnektiver Reflektor, der mit großer Wahrscheinlichkeit der Posidonienschiefer-Formation entspricht. Diese ist im Raum Freiburg circa 3-3,5 m (Groschopf et al. 1996), in der Thermalwasserbohrung Bad Krozingen (BO8012/309) 9 m mächtig. Von der Basis Mitteljura bis zur Basis Unterjura (Lias: Hettangium bis Toarcium) herrschen Tonmergelsteine und Mergelsteine mit Kalksteinbänken vor, die in der Seismik wenige gut konnektive Reflektoren bilden und geringe Unterschiede zu den höheren und tieferen Abschnitten des Mesozoikums zeigen (GeORG 2013). Innerhalb dieser Abfolge ist der Kalkstein der Arietenkalk-Formation ein stärkerer Reflektor. Die Keuper/Jura-Grenze weist keine starken Lithologie-Kontraste auf. Innerhalb der Abfolge des Keupers, der sich aus Tonsteinen und Dolomitsteinbänken, Einschaltungen von Sandstein, im unteren Bereich Anhydritstein oder Gips zusammensetzt, können die Sulfatgesteine und Sandsteine markantere Reflektoren bilden. So ist der erste starke Reflektor im Keuper auf den Hauptsteinmergel (Beaumont-Horizont) zurückzuführen. Der Schilfsandstein bildet eine deutliche Rinnenstruktur aus. Die Gesamtmächtigkeit des Keupers beträgt im Raum Straßburg-Kaiserstuhl circa 140-180 m (GeORG 2013). Lutz & Etzold (2003) beschreiben in den Thermalwasserbohrungen in Bad Krozingen eine Keupermächtigkeit von 149-157 m. Die reduzierte Mächtigkeit ist auf den Einfluss des Burgundischen Sporns zurückzuführen, der im höheren Mittelkeuper als Gebiet mit verminderter Senkung ausgeprägt war (Lutz & Etzold 2003). Ähnliche Keupermächtigkeiten dürften in der Umgebung des Bleichtals zu erwarten sein, da von Bad Krozingen keine große Differenz zu den Mächtigkeiten zur Bohrung "Wyhl-Süd 1" (BO7811/118) im Norden des Kaiserstuhls besteht. Im Gipskeuper bilden Sulfatbänke und Grundgipsschichten stärkere Reflektoren. Der tiefste erkennbare Reflektor dürfte auf die Obergrenze des Muschelkalks zurückzuführen sein, dessen massive Dolomitsteine (Rottweil-Formation) von der stärker tonigen Abfolge des Keupers überlagert werden. Tabelle 1 zeigt die für die Seismik-Interpretation verwendeten Mächtigkeiten der erwarteten Schichtenfolge:



Formation	GK50 Formation Freiburg und Umgebung		Thermal- wasser- bohrung Freiburg- Zähringen 3 [m] 7913/100	Thermal- wasser- bohrung Bad Krozingen 3 [m] 8012/309	Reflektor mit Impedanz- kontrast	Mächtig-keit aus Seismik [m]	
Opalinuston- Fm.	Opalinuston		> 69			13 Rest- mächtigkeit	
Jurensis-	Jurensis-		39	9,2 nach Log			
Posidonien-	Posidonien-	3–3,5	5	9,1	Top		
Amaltheen-	Amaltheen-	15	14	5,7	schiefer		
Numismalis- mergel-Fm., Obtususton- Fm.	Davoeikalk, Cymbium- bank, Obliquabank	~1	2,5	2			
Obtususton- Fm.	Obtusus- schichten	25–28	31,5	28,7			
		Summe 44–47.5	Summe 53	Summe 54.7		46	
Arietenkalk- Fm.	Arieten- schichten	5,30		,.	Top Arietenkalk		
Angulaten- ton-Fm., Psilonotenton- Fm.	Angulaten- kalk, Psiloceras- schichten	~1,5	12,5	8,7			
Exter-Fm.	Rhättone	2	2,5	2,3			
Arnstadt-Fm.	Bunte Grenz- mergel	5	5		-		
	Oberer Steinmergel	3	5	11			
Mainhardt-Fm.	Bunte Stein- mergelletten		11,5		_		
	Obere Bunte Mergel (Rote Wand)	5-7	4,5	5			
Steigerwald- Fm.		Summe 21,8–23,8	Summe 41	Summe 27		20	
	Hauptstein- mergel (Beaumont- Dolomit)	2	5	3,5	Top Hauptstein- mergel		
Stuttgart-Fm.	Untere Bunte Mergel (Dunkle Mergel)	6-8	13,5	21,5			
	Schilfsand- stein	2–15			Basis Schilfsand-		
		Summe 10–25	Summe 18,5	Summe 25	stein	25	
Grabfeld-Fm.	Gipskeuper	Ausgelaugt ca. 60–80 , in Bohrungen bis 120	118	106	Reflektoren an Sulfat- bänken	105	
Erfurt-Fm.	Lettenkeuper	10	14,5	10		12	
Rottweil-Fm.	Trigonodus- dolomit	14 m	23	30 m	Top Rottweil- Fm.		

Tab. 1: Mächtigkeitsangaben aus der Geologischen Karte GK50 Freiburg und Umgebung (Groschopf et al. 1996), der Thermalwasserbohrung Bad Krozingen 3 und die ermittelten Mächtigkeiten aus der Seismik.



3.2 Geoelektrik

Zur geologischen Erkundung des oberflächennahen Untergrunds wurden bis in ca. 100 m Tiefe Messungen der geoelektrischen Tomographie (ERT) von der Firma terratec Geophysical Services GmbH entlang von drei Messlinien durchgeführt (Abb. 6).

Das Profil 1 liegt am Ausgang des Bleichtals und verläuft analog zur Seismik von Süden nach Norden. Im diesem Profil lassen sich von oben nach unten drei Bereiche unterscheiden: niederohmiger Bereich (30–120 Ohm*m) – höherohmiger Bereich (90–350 Ohm*m) – niederohmiger Bereich (5–40 Ohm*m). Der obere niederohmige Bereich korreliert mit der Mächtigkeit der holozänen Sedimente von 1,80 m, die aus Auensedimenten und Altwasserablagerungen im Schluff- und Tonbereich bestehen. Lateral setzen sich die holozänen Sedimente mit geringen Mächtigkeitsschwankungen fort. Im Liegenden folgt ein höherohmiger Bereich (Sand und Kies); dessen Grenze zum darunter folgenden niederohmigen Bereich (Schluff, Ton) auf Höhe der Forschungsbohrung Bleichtal bei circa 127 m NN liegt, was der Grenze zwischen der Breisgau- und der Iffezheim-Formation entspricht. Die Grenze zwischen Neuenburg- und Breisgau-Formation kann aufgrund der ähnlichen Korngröße der beiden Formationen nicht unterschieden werden (Abb. 7). Die Grenze zur Opalinuston-Formation ist sehr knapp nicht mehr von der Geoelektrik erfasst, da die Grenze der Erkundungstiefe mit max. 100 m Tiefe geplant wurde. Analog dazu sind in den Profilen 2 und 3 drei Bereiche zu unterscheiden, die ebenfalls den holozänen Sedimenten, Kiesen und Sanden der Neuenburg- und Breisgau-Formation sowie im Liegenden den insgesamt feinkörnigeren Wechsellagerungen der Iffezheim-Formation entsprechen (Abb. 7). Die insgesamt wellig erscheinenden Grenzflächen von Bereichen gleicher spezifischer elektrischer Widerstände, deutlich im Profil 1 zu sehen, sind vermutlich methodisch bedingt, da dieselbe Grenzfläche in der Seismik diese Ausprägung nicht zeigt und horizontaler verläuft.



Abb. 6: Lage der Messprofile für die ERT-Messungen. Die Messprofile hatten folgende Längen: Profil 1: 1130 m, Profil 2: 710 m, Profil 3: 770 m. Die Gesamtlänge der drei Profile betrug 2610 m. Die ERT-Messungen wurde in der Dipol-Dipol Anordnung gemessen. Um eine Erkundungstiefe von etwa 100 m zu erreichen, wurde ein Elektrodenabstand von 10 m gewählt (terratec Geophysical Services GmbH & Co. KG, 2016).





Abb. 7: Geoelektrik-Profil 1-3 mit geologischer Interpretation und Verteilung des spezifischen Widerstands im Untergrund. Bereiche mit gestörten Messdaten sind im Profil 1 bei Position 595 m zu erkennen.

124



4 Untersuchungen der Lockersedimente

Die Dokumentation von Korngröße, Lithologie, Schichtung, Fazieswechsel, Kalkgehalt und Zusammensetzung der Gerölle dient als Grundlage für die Interpretation der Ablagerungsbedingungen. Im südlichen Oberrheingraben lassen sich die Lockersedimente des Quartärs und Pliozäns in drei Formationen und ihre Untereinheiten gliedern: Iffezheim-, Breisgau- und Neuenburg- Formation. Die Beschreibung der Lockersedimente der Forschungsbohrung erfolgt vom Liegenden ins Hangende. Das Schichtenverzeichnis und die Fotodokumentation sind im Anhang 1 bzw. Anhang 2 dokumentiert.

4.1 Iffezheim-Formation

Die Iffezheim-Formation reicht von 46,93 m bis zur Festgesteinsoberfläche bei 98,50 m und wurde bis 97,50 m Teufe gekernt. Sie besteht aus mehreren fluvialen Schüttungszyklen, in denen Sande und Feinsedimente überwiegen. Die Faziestypen liegen im Bereich der Misch- bzw. Suspensionsfazies, was charakteristisch für mäandrierende Flusssysteme und ruhigere Fließgeschwindigkeiten ist, die typischerweise in Warmzeiten auftreten (Miall 1985). Für die Nähe zum Grabenrand charakteristisch, kommt auch gröberes Material bis hin zur Grobkiesfraktion vor. Bei den dichtgelagerten und kalkfreien Sedimenten handelt es sich ausschließlich um Lokalmaterial. Die Gerölle bestehen aus Milch- und Gangquarzen, verwittertem Grundgebirgsmaterial (Reste von Granit, Gneis, Rhyolith), gebleichtem bis schwach rötlichem Buntsandstein sowie vereinzelt Karneol. Alpine Gerölle fehlen vollständig. Die Sedimente zeigen rötliche, eher bunte Pastelltöne bis fahle Farben, letzteres ist auf den Einfluss der Verwitterung zurückzuführen.

Im Liegenden beginnt die Formation mit Kiesschüttungen, die auf ein höher dynamisches Ablagerungssystem zu Beginn der Sedimentation hindeuten. Kieseinschaltungen an der Basis der Iffezheim-Formation wurden auch von Bartz (1982) beschrieben. Die Grobkiese bestehen vorherrschend aus lokalem, verwittertem Buntsandsteinmaterial. Die unteren Bohrmeter sind nicht vollständig erhalten, ab 94 m Teufe ist der Kern vollständig und die Kiesschüttung matrixgestützt. Hier könnte Gravitationsbewegung eine Rolle spielen. Der diamiktische Charakter der Sedimente kann auch durch starke Verwitterung entstanden sein, während der ein Teil der Gerölle zersetzt wurde. Der hohe Verwitterungsgrad kann auf warme und humide Klimabedingungen zurückgeführt werden. Der Rundungsgrad der Gerölle reicht von gut gerundet bis kantengerundet, was auf vergleichsweise kurze Transportwege als Teil von gravitativen Massenbewegungen hinweisen kann.

Ab 93,00 m Teufe folgen überwiegend Sande und Feinsedimente mit geringmächtigen Kieseinschaltungen, die Ablagerungen aus dem Bereich der Mischfrachtfazies im fluviatilen Milieu anzeigen (Miall 1985). Das Profil zeigt in diesem Abschnitt mehrere fining-up Zyklen, die von groben Rinnensedimenten über Sande bis hin zu Feinsedimenten reichen. Teilweise sind die Feinsedimente von blassgrünen Bleichungsflecken (Pseudovergleyung) durchsetzt, die Bodenbildungsprozesse unter Staunässebedingungen anzeigen. Der Anteil an Organik ist stellenweise hoch. Häufig enthalten die Ablagerungen Holzreste. Ab 83,00 m Teufe fehlt die Kiesfraktion; stattdessen dominieren sandige Ablagerungen, die ab 79,00-75,05 m Teufe in Schlufflagen übergehen. In der Sandfraktion dominiert der Feinsand-Anteil. Von 80,00-79,00 m ist der Sand laminiert mit planarer Schichtung. Hinweise auf Bioturbation oder Bodenbildung fehlen in diesem Abschnitt. Insgesamt zeigt der Bereich von 93,00-75,05 m geringdynamische Ablagerungsbedingungen mit Suspensionsfracht.

Ab 75,05 m Teufe nimmt die Transportkraft der "Urbleich" wieder zu, und es werden vermehrt Kiese und Sande abgelagert, die eine fining-up Tendenz zeigen. Teilweise zeigen die Sande fluviale Laminationsgefüge. Nach oben nimmt der Kiesanteil der Sedimentfracht wieder ab, die Kieseinschaltungen werden geringmächtiger und treten in einem größeren Abstand auf. Insgesamt werden die Ablagerungsbedingungen zunehmend ruhiger. Ab 64,00 m Teufe dominiert die Suspensionsfracht mit vergleichsweise mächtigen Tonablagerungen. Die Feinsedimente sind teilweise laminiert, lagenweise treten organische Beimengungen auf. Die tonigen Abschnitte sind oft mit pedogenen Bleichungsflecken (Pseudovergleyung, s.o.) durchsetzt. Im oberen Abschnitt sind zusätzlich Wurzelspuren zu erkennen. Dieser Abschnitt repräsentiert Auenablagerungen in einer Überflutungsebene bzw. einem Altarm mit phasenweiser Unterbrechung der Sedimentation und Bodenbildung.

Im Top der Iffezheim-Formation überwiegen wieder mehr Sande und Kiese mit insgesamt rötlichen Farben. Zwischen 52,20 und 51,00 m Teufe trat 50 % Bohrverlust auf; der Sand ist kalkhaltig und grau. Hier könnte es sich um eine nachträgliche



Auffüllung handeln. Insgesamt zeigt der Abschnitt fining-up Zyklen und liegt im Bereich der Mischfrachtfazies, abwechselnd werden gröbere Rinnensedimente und Feinklastika auf Überflutungsflächen abgelagert. Diese Art der Ablagerung ist typisch für mäandrierende Flussläufe mit mittlerem Gefälle (Miall 1985). Eine auffällige Sedimentstruktur im Schluff bei 48,06 m Teufe könnte als Wurzelspur, Trockenriss oder Eiskeil-Pseudomorphose gedeutet werden. Eine genaue Unterscheidung ist im Bohrkern nicht möglich, deutet aber darauf hin, dass hier die Sedimentation unterbrochen war. Eine Eiskeil-Pseudomorphose wäre ein Hinweis für periglaziale Überprägung. Den Abschluss der Iffezheim-Formation bei 47,18 m Teufe bildet ein Schluffhorizont.

Insgesamt fällt in der Iffezheim-Formation der zyklische Aufbau der Sedimente auf. Die oft nur wenige Meter mächtigen (1–3 m) kleinen Zyklen sind überwiegend Grob-Fein-Zyklen (fining-up) mit von unten nach oben abnehmender Korngröße. Die kleinen Zyklen schließen sich zu drei größeren Zyklen zusammen: 97,50–75,05 m Grob-Fein-Tendenz 75,05–57,30 m Grob-Fein-Tendenz 57,30–46,93 m Grob-Fein-Tendenz

In der Sandfraktion der Iffezheim-Formation wurden zwischen 91,45 und 91,35 m Teufe millimetergroße Gipskristalle gefunden. Diese sind idiomorph und teilweise mit Quarzkörnern verwachsen (Abb. 8). Da sie relativ nah an der Grenze zum Festgestein auftreten, resultieren die idiomorphen Gipskristalle möglicherweise aus der Zersetzung von Pyrit, der in der liegenden Opalinuston-Formation enthalten ist. Hinweise auf zirkulierende Grundwässer ergeben sich auch durch die Auswertung der Temperatur-Tiefenlogs (Kapitel 4.5).

Palynologie der organischen Feinsedimente der Iffezheim-Formation

Einige Abschnitte der tonigen Feinsedimente der Iffezheim-Formation enthalten organisches Material, so dass eine Untersuchung auf den Gehalt an Pollen und Sporen möglich war. Insgesamt wurden 17 Proben aus dem Teufenbereich 47,5–94,7 m



Abb. 8: Mikroskopische Aufnahme von idiomorphen Gipskristallen aus der Sandfraktion der Iffezheim-Formation zwischen 91,35 und 91,45 m Teufe.



untersucht. Lediglich eine Probe (53,9 m) war pollenfrei. Zehn weitere Proben waren pollenarm und enthielten nur jeweils wenige große Pollenkörner von Kiefer und Fichte. Bei sechs Proben konnte die Palynoflora ausgezählt werden, alle reflektieren bestenfalls kühle bis kalte Klimabedingungen (Stadiale).

Im oberen Abschnitt der Iffezheim-Formation (47,5–48 m) war das Sediment pollenarm, lediglich einige große Kiefernpollen sowie *Lycopodium* (Bärlapp) konnten nachgewiesen werden. Dies weist auf gemäßigte bis subarktische Feuchtstandorte hin. Bei 62,5 m spricht die Flora für ein Stadial (Kältephase) mit dominanter Kiefern-Bewaldung und knapp 10 % Fichten (*Picea*), was jedoch keine chronostratigraphische Einordnung zulässt.

Darauf folgt bei 63,45 m ein wohl etwas wärmer geprägtes Fichten-Kiefernstadial mit 0,4 % Tsuga-Anteilen, was zwei nachgewiesenen Pollenkörnern entspricht. Tsuga, die Hemlocktanne, kommt natürlich in Mitteleuropa nur bis in das Frühpleistozän vor. Mit der starken Klimaverschlechterung zu Beginn des Mittelpleistozäns stirbt Tsuga hier aus, heutige Verbreitungsgebiete liegen in Ostasien und in Nordamerika. Natürliche Standorte weisen ein gemäßigt-feuchtes Klima auf. Die Ausbreitung der asiatischen Trockensteppen im Mittelpleistozän hat eine Wiedereinwanderung der Gattung von Ostasien zurück nach Europa während der mittelpleistozänen Warmzeiten verhindert. Der Nachweis selbst weniger Tsuga-Pollenkörner ist ein klares Indiz für eine Eingliederung in das Frühpleistozän.

Zwischen 67,5 und 79,55 m Teufe waren in fünf Proben nur wenige Kiefern- (*Pinus*) und Fichtenpollen enthalten.

Die Proben 80,55 m und 85,95 m reflektieren ein Kiefernstadial mit klimatisch sehr ungünstigen Lebensbedingungen. Kiefernpollen dominieren (71,4 % bzw. 92,6 %), dazu kommen wenige Birken (*Betula*) und vereinzelte Pollenkörper von Gattungen, die auch unwirtliche Bedingungen ertragen. *Tsuga* konnte nicht nachgewiesen werden, für diese Gattung waren die Bedingungen zu kalt. Etwas tiefer im Profil, bei rund 91 m Teufe waren die Proben arm an Pollenkörnern von Kiefer und Fichte.

Erst in der Probe (91,5 m) wird das Klima tendenziell wärmer, hier liegt ein Fichten-Kiefernstadial vor, wobei beide Gattungen etwa hälftig an der Flora beteiligt sind. Zusätzlich ist die Tanne (*Abies*) mit Anteilen von 2 % vertreten und auch geringe Anteile klimatisch anspruchsvollerer Pflanzen, wie die Eiche (*Quercus*), Sauergräser (Cyperaceae), Süßgräser (Poaceae) und Korbblütler (Asteroideae) sind vertreten. Dazu kommen vereinzelt Farne (*Osmunda* und *Polypodium*), Bärlapp (*Lycopodium*), und Grünalgen (*Botryococcus*).

Die Probe (92,6 m) scheint etwas kühler, es dominiert wiederum die Kiefer (67,2 %) über die Fichte (19,4 %), der Süßgräseranteil von 11 % weist auf eine eher offene Landschaft mit Wiesen, Teichen und lockerer Bewaldung hin. Hierzu passen die geringen Nachweise von verschiedenen Blütenpflanzen, Farnen und Wasserpflanzen.

Die tiefste Probe bei 94,7 m war pollenarm und enthielt nur einzelne *Pinus*-Pollenkörner.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Ablagerung der Iffezheim-Formation am Bohrstandort erst im Frühpleistozän einsetzt. Somit fehlt der andernorts, z.B. zwischen Offenburg und Rastatt immer wieder nachgewiesene pliozäne Anteil dieser Formation hier völlig. Obwohl es mehrere Abschnitte mit organogenen Feinsedimenten gibt, konnte auch keine der Cromer-zeitlichen Warmphasen nachgewiesen werden, die ebenfalls weiter nördlich immer wieder auftreten. Dagegen bestehen recht gute Ähnlichkeiten zu den Floren der Iffezheim-Formation einer Bohrung in der Freiburger Bucht (Buchheim, BO7912/1299), die im Teufenbereich 53 m bis 67 m ebenfalls stadiale Bedingungen mit Kiefer-Fichte-Dominanz und Tsuga erschlossen hat. Die gesamte Abfolge der Iffezheim-Formation ist zeitlich in das Frühpleistozän einzugliedern bei vorherrschend kühlen bis kalten Bedingungen.

4.2 Breisgau-Formation

Die Breisgau-Formation reicht von 24,75 bis 46,93 m Teufe. Der Übergang von der Iffezheim-Formation in die hangende Breisgau-Formation zeigt sich durch das Einsetzen deutlich gröberer Sedimente und die Änderung im Geröllspektrum. Insgesamt überwiegt im unteren Bereich der Anteil an Lokalmaterial aus dem Schwarzwald deutlich. Erst bei 42,50 m Teufe sind häufiger gut gerundete alpine Gerölle in der Schüttung enthalten. Der Rundungsgrad der alpinen Gerölle zeigt den weiteren Transportweg an. Mit dem alpinen Charakter ist auch ein deutlicher Anstieg im Kalkgehalt messbar. Der Kalkgehalt liegt im unteren Bereich der Breisgau-Formation bei 0,5-2 % und steigt zwischen 37,5-31,5 m Teufe auf 7-18 % an (Hahn 2018). Zwischen 29,50-28,50 m Teufe liegt



der Karbonatgehalt bei 1 % (Hahn, 2018), hier dominiert der lokale Einfluss vom Schwarzwald im Feinsedimentanteil. Die Gerölle dieses Abschnittes bestehen aus alpinen und lokalen Kristallingesteinen. Im unteren Teil der Breisgau-Formation sind die Sedimente schlecht sortiert und weisen mit einem höheren Anteil an Feinsediment einen diamiktischen Charakter auf. Der hohe Anteil an grusigem Sand und Schluff ist darauf zurückzuführen, dass bereits alterierte Kristallingesteine grusig zerfallen sind. Viele Gerölle zeigen blasse Verwitterungsrinden (sog. Halos). Insgesamt ist der Farbeindruck graubraun bis rötlichbraun. Möglicherweise sind die Sedimente mit diamiktischem Charakter auch bei einem höheren Relief gravitativ umgelagert und nicht allein durch Verwitterungsprozesse entstanden. Die Komponenten sind meist gerundet bis kantengerundet. Der Anteil zerfallener und mürber Komponenten sowie die Intensität der Pedogenese nehmen nach oben ab. Der Anteil an Fein- bis Grobkies ist hoch und bis auf einzelne sandige Lagen, bei denen der Kiesanteil zu Grus zerfallen ist, bleibt die Korngröße im Kiesbereich und die Transportenergie damit weitgehend hoch. Diese Art von Ablagerung ist typisch für verzweigte Flusssysteme unter periglazialen Bedingungen. Zwischen 36,70 und 39,00 m Teufe ist der Kies schlecht sortiert und enthält einige größere und meist gut gerundete Gerölle alpinen Ursprungs.

Aus anderen Bohrungen im Oberrheingraben ist bekannt, dass in den Unteren Breisgau-Schichten geröllpetrographisch zunächst ein geringer alpiner Eintrag zu verzeichnen ist, der in den Oberen Breisgau-Schichten deutlich zunimmt (Hagedorn 2004). Obwohl die Forschungsbohrung Unteres Bleichtal in sehr randlicher Position an der Mündung eines Seitentals in den Hauptgraben liegt, zeigt sich dieselbe Entwicklung, sowohl in der Geröllpetrographie als auch im Karbonatgehalt des Feinsedimentanteils (Hahn 2018). Innerhalb der Breisgau-Formation zeigt sich der zunehmende Einfluss von glazialen Erosionsprozessen im Alpenvorland, was zur Ablagerung von Groblagen im Oberrheingraben führt (Ellwanger 2003) und auch die Ablagerung in (zumindest manchen) Seitentälern beeinflusst.

4.3 Neuenburg-Formation

Die Neuenburg-Formation beginnt bei 24,75 m Teufe mit unverwitterten Schottern aus Grobkies bis Sand und endet bei 1,90 m Teufe. Die Komponenten sind größtenteils gerundet und frisch. Die

Schotter sind insgesamt weniger matrixgestützt. In der Neuenburg-Formation wurden Kalkgehalte von bis zu 25 % gemessen (Hahn 2018), was mit einem hohen Anteil an alpinen Karbonatgesteinen korreliert. Insgesamt ist der Anteil an Lokalmaterial geringer als in der Breisgau-Formation. Trotzdem bestehen einzelne Kieslagen fast ausschließlich aus Lokalmaterial. Petrographisch sind vor allem Buntsandstein und Kristallingesteine des Schwarzwalds vertreten. Es fehlen Komponenten der jüngeren Einheiten, obwohl auch Muschelkalk bis Mitteljuragesteine in der Vorbergzone anstehen. Der Farbeindruck in der Neuenburg-Formation ist insgesamt (im Grob- und Feinanteil) grau bis graubunt. Dies liegt maßgeblich am hohen Anteil an frischen Karbonatgesteinen, die alle alpiner Herkunft sind. Die grobkörnige Geröllfracht wird typischerweise in breiten und verzweigten Flusssystemen unter kaltzeitlichen Bedingungen mit stärkerem Gefälle abgelagert.

Stellenweise können in Profilen der Neuenburg-Formation zwei Grobhorizonte unterschieden werden, die nach Ellwanger et al. (2003) als Schmelzwasser-Eventlagen interpretiert und mit den Abschmelzereignissen der vorletzten und letzten alpinen Vergletscherung verknüpft werden. In der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal konnten diese Groblagen nicht erkannt werden, weder im alpinen Signal, noch im Lokalspektrum. Es fallen zwei Bereiche auf (22,80-23,80 m und 10,40-10,80 m), in denen zusätzlich mehrere große Gerölle bis Steingröße alpinen Ursprungs auftreten, die teilweise eckige Bruchkanten aufweisen und aus der Ablagerung der sonst kiesigen Geröllfracht herausstechen. Einzelne eckige Steine in der Kiesabfolge kommen von ~12-16 m Teufe vor. Die "schwimmenden Komponenten" werden als Driftblöcke interpretiert. Verschiedene Gesteinsbruchstücke waren in Eisschollen eingefroren und sind erst bei deren Abschmelzen abgelagert worden, vermutlich (fast oder ganz) ohne weiteren Transport als Geröllfracht. Sie wären somit ein Hinweis auf kaltzeitliche Bedingungen. Die Steine korrelieren jeweils mit den Bereichen, die einen höheren Karbonatgehalt aufweisen (28,50-16,50 m und 15,50–2,00 m Teufe). Hier zeigt sich erneut der Einfluss von Klimaänderungen in den Alpen, welche die Sedimentation im Oberrheingraben beeinflussen. Mit Ende des Pleistozäns stellen sich wieder ruhigere Ablagerungsbedingungen ein und die Sedimentation wird von feinkörnigem Lokalmaterial dominiert. Die Ablagerung der Feinsedimente findet nur noch als Auensedimentation in von Hochwasser gefluteten Bereichen des Bleichtals statt.



4.4 Schwermineralanalyse

Für den Oberrheingraben gibt es zahlreiche Arbeiten zur Rekonstruktion der flussgeschichtlichen Entwicklung (vgl. Boenigk 1976, Hagedorn 2004, Petit et al. 1996, Sindowski 1940 und Van Andel 1950). Diverse Bohrungen zeigen einen auffälligen Wechsel in der Schwermineralführung, der auf den Wechsel des Liefergebiets durch die Umlenkung der Aare von ihrem Lauf durch das Sundgau nach SW in ihren heutigen Lauf nach N durch den Oberrheingraben zurückzuführen ist (Hagedorn 2004). Um die Herkunft und den Transport der Sedimente in der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal zu klären, wurde die Geröllanalyse mit einer Schwermineralanalyse kombiniert. Die Geröllanalyse für die Kies- und Steinfraktion führte Hahn (2018) durch. Die Schwermineralanalyse für die Sand- und Schlufffraktion wurde von M. Gerlitzki (LGRB) durchgeführt. Über das Kernprofil verteilt wurden 24 Schwermineralproben entnommen und analysiert. Die Proben wurden entsprechend den Schüttungszyklen der Lockergesteine genommen, um die lithologische Gliederung zu präzisieren. Ausgezählt wurden 2811 Mineralkörner.

Aufbereitung der Proben:

• Probenmenge: ca. 100 g Sand

- Siebung der Probe (0,063–0,4 mm)
- Auswaschen der gesiebten Fraktion und Vorbehandlung der Probe im Ultraschallbad zur Entfernung schwacher Verkrustungen
- Trocknung der Probe im Ofen
- Schweretrennung von etwa 50 g aufbereiteter Probe mit Natriumpolywolframat (Dichte 3,0 kg/ m³) in der Zentrifuge
- Abtrennung der Leichtminerale und Schwerminerale mittels Vakuumpumpe
- Auffangen der Schwerminerale in Filtertiegel (Porengröße 3) und anschließendes Trocknen
- Einbetten der Mineralkörner in Melmount (n = 1,662)

In den ausgezählten Proben der Iffezheim-Formation dominieren die stabilen Schwerminerale Zirkon (ca. 21 % im Mittel, maximal bis 31 %) und Turmalin ca. 20 % im Mittel, maximal bis 28 %) (Abb. 9). Die Minerale sind charakteristisch für Buntsandstein-Regionen (Sindowski 1958, Zimmerle 1969), können aber auch aus Gneisen, Graniten und Hornblende-Syeniten stammen (Van Andel 1950; Zimmerle 1969). Auffällig ist eine Probe bei 53,30 m Teufe, die fast ausschließlich



Abb. 9: Schwermineraldiagramm der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal. Die X-Achse zeigt die Teufe der entnommenen Proben. Hbl = Hornblende, Met. = Metamorphe Minerale (Staurolith, Disthen, Andalusit, Sillimanit, Spinell), Seltene = Seltene Minerale (Titanit, Monazit, Xenotim, Brookit, Chloritoid, Chlorit).



Biotit (98 %) enthält. Biotit kommt in den anderen Proben der Iffezheim-Formation immer wieder vor, aber nie in dieser auffälligen Häufigkeit. Biotit kann ebenfalls aus Kristallingesteinen des Schwarzwaldes stammen. Akzessorisch kommen noch Apatit. Rutil. Epidot und Granat vor. Eine Quelle für Granat sind granathaltige Gneise aus dem Schwarzwald. Ebenfalls aus Kristallingesteinen des Schwarzwaldes stammen Rutil und Epidot (Zimmerle 1969). Eine mögliche Apatitquelle sind Lamprophyre (Rosenbusch 1907). Die als Alterit geführte Gruppe umfasst Mineralaggregate und zersetzte Minerale, die wegen ihren feinkörnigen Verwachsungen unter dem Mikroskop nicht näher bestimmbar sind. Ihre Häufigkeit spielt den Aufarbeitungsgrad der Sedimente wider, da sie empfindlich gegen mechanische Beanspruchung sind. Die Alterit-Gruppe ist in der Iffezheim-Formation insgesamt geringer vertreten als in der Breisgauund Neuenburg-Formation.

Lockersedimente mit ausschließlich stabilem Spektrum werden als Randfazies aus Lokalschüttungen vom Grabenrand ohne fluviatilen Einfluss von Süden interpretiert. Die Ablagerungen des Ur-Rheins zeigen ein "gemischtes Spektrum" aus stabilen und instabilen Mineralen. Verwitterung und damit verbundene Bodenbildung kann einen zusätzlichen Effekt haben hin zu einer Verschiebung des gemischten Spektrums zu einem stabilen Spektrum (Hagedorn 2004).

Proben aus Schüttungen des Schwarzwalds zeigen ein Mineralspektrum aus den stabilen Mineralen Zirkon, Turmalin, Rutil und Anatas mit wechselnden Anteilen von Granat und Hornblende sowie den seltenen Mineralen Monazit und Xenotim und Epidot. Wenn im Liefergebiet mehr Buntsandstein enthalten ist, erhöht sich der Anteil der stabilen Minerale. Hier zeigt sich eine deutliche Übereinstimmung zum Mineralspektrum der Iffezheim-Formation in der Bohrung Unteres Bleichtal. Die erhöhten Anteile an Zirkon und Turmalin belegen den verstärkten Eintrag von Buntsandstein-Schüttungen vom Grabenrand, die sich auch in der Lithologie abzeichnen (Kapitel 4.1). Zum gemischten Spektrum des Ur-Rheins gibt es keine Übereinstimmung, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass die Entwässerung primär über das Bleichtal in den Oberrheingraben gerichtet war und von dort weiter nach Norden floss. Insgesamt bestätigt sich bei der Iffezheim-Formation das lokal auf das Bleichtal begrenzte Liefergebiet. Zur Freiburger Bucht, wo sich die Schwemmfächer der Schwarzwaldflüsse Dreisam, Glotter und Elz erstrecken, zeigt sich keine Übereinstimmung.

mineralspektrum (Abb. 9). Granat (ca. 28 % im Mittel, maximal bis 41 %) Epidot (ca. 8 % im Mittel, maximal bis 13 %) und Alterit (ca. 15 % im Mittel, maximal bis 26 %) treten in der gesamten pleistozänen Abfolge nun häufig auf. Auch Hornblende ist mit Beginn der Breisgau-Formation im Schwermineralspektrum enthalten (ca. 5 % im Mittel, maximal bis 14 %) Die instabilen Schwerminerale Granat, Epidot, Hornblende sowie Alterit sind charakteristisch für das typische "Alpine Spektrum" (Erberich 1937). Diese vier Schwerminerale machen bei pleistozänen Proben aus dem Oberrheingraben mengenmäßig den Großteil der Schwermineralfraktion aus (Hagedorn 2004). Granat kann aus metamorphen Gesteinen höheren Metamorphosegrades, Penninischen Decken oder dem Flysch der Alpen stammen. Epidot stammt aus Gesteinen der Alpen mit mittleren Metamorphosegraden und Penninischen Decken (Graf & Hofmann 2000). Hornblendereiche Gesteine werden über den Alpenrhein in den Oberrheingraben geliefert (Hagedorn 2004). Hier zeigt sich also in der Feinfraktion das Hinzukommen des alpinen Einzugsgebiets viel deutlicher als in der Grobfraktion, in der die lokale Provenienz überwiegt (Kapitel 4.2). Stabile Schwerminerale treten weiterhin auf, aber in geringerem Umfang. Dies zeigt, dass während des Pleistozäns das lokale Einzugsgebiet (Buntsandstein-Regionen und Kristallingebiete des Schwarzwalds) weiterhin aktiv bleibt, was auch im Geröllspektrum sichtbar ist. Metamorphe Minerale und Pyroxen sind nur sehr wenig im Mineralspektrum der Breisgau-Formation enthalten. Der Anteil an Pyroxen in der Breisgau-Formation kann eventuell auf vulkanische Gesteine des Kaiserstuhls zurückgeführt werden (Hagedorn 2004). Der im Bohrkern auffällige Wechsel von den diamiktischen und stärker verwitterten Sedimenten der Breisgau-Formation zu unverwitterten Sedimenten der Neuenburg-Formation lässt sich im Schwermineralspektrum nicht erkennen. Die Schwankungsbreite von Einzelwerten lässt keinen Trend erkennen. Unterschiede an Epidot und Hornblende sind innerhalb des Pleistozäns nicht auszumachen. Mögliche Quellen sind metamorphe und magmatische Gesteine der Alpen (Graf & Hoffmann 2000) sowie des Schwarzwalds. Metamorphe Minerale treten nur in sehr kleinen Prozentanteilen auf.

Mit Beginn der Breisgau-Formation bei 46,93 m

Teufe zeigt sich ein deutlicher Wechsel im Schwer-



4.5 Bohrlochmessungen

Die Firma terratec geophysical services GmbH & Co. KG führte geophysikalische Bohrlochmessungen durch. Folgende Messverfahren bzw. Geräte wurden eingesetzt:

- BHTV (borehole televiewer) = akustischer Bohrlochscanner: orientierte Bilddaten, geologische Strukturen
- ELOG (electric log) = elektrischer Gebirgswiderstand
- DIL (Dual Induction Log) = elektrische Leitfähigkeit des Gebirges
- FWS (Full Wave Sonic) = Bestimmung von Kompressions- und Scherwellengeschwindigkeiten
- GR = Natürliche Gamma-Ray-Messung

Für die vorliegende Arbeit wurden die Messergebnisse des akustischen Bohrlochscanners und der natürlichen Gammastrahlung ausgewertet. Beim ersten Messeinsatz wurde mit dem akustischen Bohrlochscanner bis in 121,64 m Teufe gemessen. Bei der zweiten Messung wurde der akustische Bohrlochscanner ebenfalls eingesetzt, hier verhinderte aber vermutlich die Ausbildung von Belag an der Bohrungswandung (mud cake), dass Bilddaten von guter Qualität erzeugt werden konnten. Es wurden 29 geologische Strukturen eingemessen, darunter Schichtgrenzen und Klüfte. Die Einfallswinkel der Schichten liegen unter 20° mit einer bevorzugten Einfallsrichtung nach Westen (Abb. 10). Dieselbe Einfallsrichtung zeigt die Auswertung der seismischen Daten und insgesamt wird die Lage der Bohrung auf einer zum Graben einfallenden Scholle in der Vorbergzone bestätigt. Ein Teil der Klüfte zeigt steiles Einfallen nach ENE.

Die Gammakurve wurde aus den Messdaten beider Einsätze zusammengesetzt. Von 120,00 bis 102,00 m sind die Werte wenig variabel. Von



Abb. 10: Ausschnitt von Bohrmeter 107,20–110,80 des akustischen Bohrlochscanners (BHTV, borehole televiewer) vom ersten Einsatz. Rechts daneben das Stereogramm vom ersten Einsatz mit den geplotteten ermittelten geologischen Strukturen in einer Tiefe von 100,07 bis 121,00 m. Blau – Kluft, rot – Schichtung.

102,00 bis 98,20 m sind diese ebenfalls wenig variabel, aber insgesamt deutlich geringer. Das ist auf die Dämpfung durch die Stahlverrohrung zurückzuführen. Dieser wenig variable Abschnitt entspricht genau den relativ homogenen Tonsteinen der Opalinuston-Formation, die bei 98,50 m Teufe beginnt. Von 97,80 bis 59,00 m sind die Werte sehr viel variabler und schwanken zwischen 20 cps und maximal 120 cps. Die in der Lithologie auftretende Zyklik innerhalb der Iffezheim-Formation zeigt sich auch deutlich in der Gammakurve. Dort korrelieren die tonigen Abschnitte mit starken Ausschlägen der Gammakurve und die sandigen und kiesigen Abschnitte zeigen niedrigere cps-Werte. Der Wechsel der Iffezheim- zur Breisgau-Formation zeichnet sich durch eine deutlich abnehmende Strahlungsintensität aus, was sowohl auf den höheren Tonanteil der Iffezheim-Formation zurückzuführen ist, als auch auf die höheren Korngrößen und Karbonatgehalt in der Breisgau-Formation.

Die Ergebnisse des Temperatur-Tiefenlogs zeigen einen natürlichen Verlauf der Zunahme der Temperatur mit der Tiefe, bis zwischen 60,00 und 70,00 m eine negative Temperaturanomalie auftritt, was auf Zufluss von Grundwasser hindeuten kann (Abb. 11). Die Lithologie in diesem Bereich besteht aus Abfolgen von Sanden und Kiesen der Iffezheim-Formation mit hoher hydraulischer Durch-

lässigkeit. Im Hangenden treten vermehrt tonige Lagen auf, die eine geringere hydraulische Durchlässigkeit aufweisen (siehe Kapitel 4.1). Generell ist die Iffezheim-Formation im südlichen und mittleren Oberrheingraben ein Grundwassergeringleiter (HGK 1988). Durch die fazielle Ausprägung der Iffezheim-Formation an den Grabenschultern mit relativ viel grobem Sediment kann hier die Durchlässigkeit aber höher sein. Die überwiegend tonige Abfolge innerhalb der Iffezheim-Formation führt so zu einer leichten Stockwerkstrennung der Grundwasserverhältnisse. Möglicherweise kann Grundwasser in der Iffezheim-Formation in der Vorbergzone über Randzuströme zutreten. Auch eine störungsbedingte Verbindung von grundwasserleitenden Schichten ist in diesem Bereich möglich.



Ergebnisse Tiefenlogmessungen Forschungsbohrung Bleichtal (05.12.2016)

Abb. 11: Temperatur-Tiefenlog vom 05.12.2016 mit einer Messtiefe von - 0,5 m bis in 83,5 m u. GOK.



4.6 Vergleich mit anderen Bohrungen

In früheren Bohrungen im Mündungsbereich des Bleichtals wurden bisher maximal 36.00 m Lockersedimente (Bohrung GWM1T/07 (BO7712/1349); am südlichen Talrand) erbohrt. Allerdings wurde in dieser Bohrung die Lockergesteinsbasis nicht erreicht. In der Bohrung "GWM2T/07 Schutzgebietsausweisung Kenzingen" (BO7712/1351) 150 m südwestlich der Kreuzung K 5115/L 106 wurden 22,90 m Neuenburg-Formation erbohrt. Am Pumpwerk Herbolzheimer Pfad "GWM7T/07 Schutzgebietsausweisung Kenzingen" (BO7712/1357) 50 m westlich der Kreuzung K 5115/L 106 sind 13,00 m Mächtigkeit vorhanden. In beiden Bohrungen steht im Liegenden Hauptrogenstein an (Abb. 12). Die maximale Mächtigkeit der Lockersedimentfüllung ließ sich durch die spezielle Grabenrandtektonik bisher kaum prognostizieren. Mit Hilfe der Reflexionsseismik kann die maximale Eintiefung auf Höhe des Profils 1 auf circa 105 m geschätzt werden.

Die Lockersedimente im Bleichtal selbst zeigen starke laterale Faziesänderungen. In der Bohrung GWM1T/07 (BO7712/1349; Anhang 5) reichen die alpinen Rheinschotter der Neuenburg-Formation bis 14,85 m Teufe. Darunter folgen bis 20,0 m lokale Sedimente (Breisgau-Formation) und im Liegenden bis 27,90 m Feinsedimente (mit einer Torf-Lage bei 23,75–24,00 m), die u.a. Pollen von *Picea* und *Pinus* enthalten und kühle Verhältnisse nach Art eines Kiefern-Fichtenstadials repräsentieren. Unter dem Mikroskop konnten bei 22,25 und 25,00 m zahlreiche Samenkörner und Pflanzenreste ausgelesen werden. M. Rösch bestimmte 30 verschiedene Arten, überwiegend aus der Flachwasser- und Uferzone eines stehenden oder langsam fließenden Gewässers. Bemerkenswert sind das Große Nixkraut (Najas marina) und das Schleimkraut (Brasenia), die hohe Sommertemperaturen indizieren. Zusammen damit fanden sich bei 22,25 m mehrere Opercula der Süßwasserschnecke Bithynia leachii, die langsam fließende bis stehende Gewässer und Sümpfe besiedelt (Nesemann 1994). Hier wurde im Randbereich des Bleichtals, vermutlich in einem Altarm der "Urbleich" zumindest zeitweise Wasser angestaut, in dem sich Feinsedimente ablagern konnten. Dieses Ablagerungsmileu ist für die Iffezheim-Formation nicht untypisch (Abb. 13). Der darunter folgende Schwemmlöss mit einer kaltzeitlichen Schneckenfauna (Pupa muscorum, "Clausilia" sp., Succinea oblonga, Vallonia costata, Heliciden) wäre demnach ins jüngere Frühpleistozän (Calabrium, prä-Cromer) zu datieren (vgl. Münzing 2003: 140 ff.).

Die Hügel der Vorbergzone am unteren Bleichtal bestehen aus Mitteljura, wie u.a. die Bohrungen Grube Kahlenberg B8 (BO7712/537) und Grube Kenzingen B9 (BO7712/540) zeigen (Abb. 13). Die Bohrungen bestätigen die in der Reflexionsseismik erkennbare annähernd horizontale Lage des Festgesteins in N–S-Richtung. Die Basis der Opalinuston-Formation in der Forschungsbohrung Unteres



Abb. 12: Lageplan der für den Vergleich verwendeten Bohrungen im Bleichtal. Hintergrundkarte aus Geodaten der Integrierten Geowissenschaftlichen Landesaufnahme (GeoLa), Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau am Regierungspräsidium Freiburg.

* Regierungspräsidium Freiburg Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau



Abb. 13: Profil durch das Bleichtal vom Niederberg in Kenzingen (S) zum Steinberg in Herbolzheim (N)

Bleichtal liegt auf ca. 50 m NN, in der Bohrung "Grube Kenzingen B9" (Top Opalinuston: 150,80 m NN) bei einer geschätzten Mächtigkeit des Opalinustons von circa 100 m ebenfalls. In der ca. 1100 m nördlich gelegenen Bohrung Grube Kahlenberg B8 kann die Oberkante des Opalinustons auf ca. 171 m NN extrapoliert werden. Daraus ergibt sich ein Versatz von ca. 15 m zur Forschungsbohrung, der durch steil stehende Störungen zustande kommen kann, wie sie auch im Profil 1 der Tiefenmigration zu sehen sind (vgl. Abb. 5).

Im Talabschnitt nordöstlich von Wagenstadt durchteuft die Bohrung "Beregnungsbrunnen/04 Golfplatz Tutschfelden" (BO7712/1288) bis 19,4 m kalkhaltige Sedimente und endet bei 22,30 m im Lockersediment. Die ebenfalls am Golfplatz liegende Bohrung "B 5/04" (BO7712/1250) erreicht möglicherweise bei 21,90 m die Iffezheim-Formation, da dort kalkfreie Tone beschrieben werden. Weiter talaufwärts im Ried bei Bleichheim werden in der Bohrung "KB 3/00 Altablagerung Müllplatz Bleichheim" (BO7712/1003) ab 14,00 m Teufe rötlichbraune Sande, hellgelbliche oder rötlichbraune Schluffe beschrieben, die stellenweise organisches Material enthalten. Bei 25,70 m enthält die Bohrung stark verwitterte weißliche Sandsteine und endet bei 30,00 m Teufe in stark verwittertem Kies aus Buntsandsteinmaterial, was ebenfalls für die Iffezheim-Formation spricht.

Im jüngeren Pleistozän reichte die alpine Schüttung der Neuenburg-Formation in östlicher Richtung bis zu der Engstelle bei Wagenstadt, wie Brunnen- und Erdwärmesondenbohrungen belegen (BO7712/ 1317/1506). Wie mächtig die Talfüllung des Bleichtals sich talaufwärts entwickelt, ist aufgrund der Aufschlussverhältnisse nicht konkret abgrenzbar.



5 Untersuchungen des Festgesteins

5.1 Opalinuston-Formation

Unterhalb der Lockergesteinsbasis erschloss die Bohrung ab einer Teufe von 98,5 m bis zur Endteufe von 123 m dunkelgraue bis schwarzgraue, schluffige Tonsteine der Opalinuston-Formation. Neben zahlreichen dünnen Lagen von *Bositra*-Schill waren zwischen 102 und 116 m darin vereinzelt Kalkstein-Konkretionen (bis 7 cm Ø) eingelagert. Zwischen 102 und 112 m war der Kern mehrfach an steilstehenden, teilweise mit Calcit belegten Klüften gespalten. Stärker geneigte (45–70°) Harnischflächen, z.T. in Kombination mit Schichtverstellungen bis 25° sind sicher tektonischen Ursprungs; die ebenfalls auftretenden, flach einfallenden Scherflächen werden dagegen als Setzungsharnische gedeutet.

Zur genaueren stratigraphischen Einstufung dieses Kernabschnitts wurde der Fossilinhalt näher untersucht. Die Bestimmung der Ammoniten übernahm freundlicherweise V. Dietze (Nördlingen), wofür wir an dieser Stelle herzlich danken. Die REM-Aufnahmen der Mikrofauna führte dankenswerterweise Frau C. Gasco Martin (SMNS Stuttgart) aus. Ergänzend wurden eine palynologische Untersuchung in Auftrag gegeben. Der sehr ausführliche Bericht von S. Feist-Burkhardt kann nachstehend aus Platzgründen nur in gekürzter Form widergegeben werden.

Makrofauna

Der Opalinuston in der Bohrung erwies sich als recht fossilreich; insgesamt wurden 36 Ammoniten sowie einzelne Belemniten (*Neoclavibelus subclavatus*) gefunden. Des Weiteren fanden sich mehrere Schnecken (*Costatotrochus subduplicatus, Unacerithium* sp.), erstere auffallend häufig zwischen 109,6 und 111 m (Abb. 14) und Muscheln (lagenweise gehäuft, *Bositra buchi*, daneben einzelne *Palaeonucula hammeri*, *Nuculana* sp. und *Entolium* sp).

Wie in der Tonfazies häufig, sind die Ammoniten in der Regel völlig plattgedrückt, lediglich Teile der Wohnkammer sind bei einigen Stücken körperlich erhalten. Eine Ausnahme bilden hier zwei in Kalkkonkretionen eingeschlossene, voll körperlich erhaltene Individuen (vgl. Abb. 15). Da für die Gattungsdiagnose nach Ohmert (1993) der Windungsquerschnitt von entscheidender Bedeutung ist, musste die Bestimmung der vollständig komprimierten Exemplare unterbleiben.



Abb. 14: Häufung von *Costatotrochus subduplicatus* bei 109,61 m Teufe (Durchmesser des Bohrkerns: 10 cm)



Abb. 15: *Cotteswoldia burtonensis* aus 102,00 m Teufe (Durchmesser in Höhe der Gehäusemündung: 31 mm)

Mit Ausnahme einer Innenwindung von Pachylytoceras sp. sind alle Stücke im Querschnitt schmal lanzettförmig und deshalb den Gattungen Cotteswoldia und Pleydellia zuzuordnen. Die artliche Bestimmung der teilweise sehr fragmentarisch er-



haltenen Stücke ist wegen der ausgeprägten Variabilität, aber auch wegen der Vielzahl bisher aufgestellter Morphospezies mit einiger Unsicherheit behaftet. Bestimmt werden konnten *Cotteswoldia burtonensis, C. subcandida*, sowie zwei nicht näher bestimmte Vertreter dieser Gattung. Hinzu kommen *Pleydellia misera* und *Pl. pseudoarcuata*. Diese Arten sind typisch für den mittleren bis unteren Bereich der Torulosum-Subzone der Opalinum-Zone.

Mikrofauna (siehe Tafel 1)

<u>Ostracoden</u>

Die aus 26 Arten (565 Individuen) bestehende Ostracodenfauna wird neben der Zonenleitart *Aphelocythere kuhni* von 6 Arten dominiert, deren Auftreten und Anteil an der Gesamtfauna eine Zweiteilung andeutet.

Der Abschnitt 122,95–117,95 m ist relativ artenund individuenarm; 5 Proben lieferten 15 Arten mit in der Summe 70 Individuen. *Kinkelinella sermoisensis* ist auf diesen Abschnitt beschränkt und mit 16 Individuen die häufigste Art.

Von 116,0 bis 99,9 m (494 Individuen, 24 Arten) ist stets *Cytheropterina cribra* mit einem durchschnittlichen Anteil von 29 % dominant. Subdominant ist *Praeschuleridea punctulata*, ab 101 m abgelöst von *Cytherelloidea cadomensis*, etwas weniger häufig kommen daneben *Praeschuleridea gallemannica* und *Polycope discus* vor.

Von 26 in der FB Bleichtal vorkommenden Arten, konnten 17 schon in der Torulosum-Zone der Forschungsbohrung Wittnau (Ohmert 1996: Abb. 30, LGRB-Nr. 8012/569) nachgewiesen werden. Das gemeinsame Vorkommen von *Aphelocythere kuhni* und *Kinkelinella sermoisensis* spricht für den unteren Bereich der Torulosum-Zone.

Foraminiferen

Die Foraminiferenfauna wird dominiert von glattschaligen und berippten Lenticulinen (*Lenticulina communis, L. polygonata, L. helios, Astacolus bochardi, Ast. primus, Ast. varians, Ast. dorbignyi*). Daneben finden sich Einzelexemplare von *Citharina gradata, Dentalina* sp., *Marginulinopsis* sp., *Nodosaria* sp., *Palmula liasica* und *Reinholdella traubensis*.

Reinholdella traubensis tritt in der FB Wittnau letztmalig in der mittleren Torulosum-Zone auf (Ohmert 1996: Abb. 29); alle anderen in der FB Bleichtal nachgewiesenen Arten sind für den fraglichen Bereich als "Durchläufer" zu bezeichnen.

Die Mikrofauna der Probe 98,9–99,0 m, die mit Ausnahme einer Einzelklappe von *Cytheropterina cribra* ausschließlich aus agglutinierten Foraminiferen (*Ammobaculites vetusta*, *Ammomarginulina infrajurensis* und *Lagenammina* sp.) besteht, deutet vermutlich bereits auf den zunehmenden Eintrag von Siliziklastika in der Opalinum-Zone hin (vgl. Ohmert 1996: 36). Eine deutliche Zunahme der Sandschaler ist bereits ab der Probe 101,9– 102 m zu beobachten.

Radiolarien

Eine Besonderheit stellt der Fund einer ?*Parvicingula* sp.) in Probe 114,75–114,80 m dar. Einzelfunde von Radiolarien in der Aalensis- und Torulosum-Zone sind nach Ohmert (1996: 36) allerdings ohne stratigraphischen Aussagewert.

[►] Tafel 1: 1 Cytheropterina cribra (Fischer), LV, 99,9–100,0 m, Em 841; 2 Aphelocythere kuhni Triebel & Klingler, C, re, 103,9–104,0 m, Em 842; 3 Cytherelloidea cadomensis Bizon, RV, 99,9–100,0 m, Em 843; 4 Kinkelinella sermoisensis (Apostolescu), C, re, 120,95–121,0 m, Em 844; 5 Kinkelinella fischeri Malz, LV, 101,9–102,0 m, Em 845; 6 Tanycythere posteroelongata Cabral et al., RV, 109,95–110,0 m, Em 846; 7 Praeschuleridea ventriosa (Fischer in Plumhoff), C, re, 104,95–105,0 m, Em 847; 8 Polycope discus Fischer, C, 100,9–101,0 m, Em 848; 9 Cytheropterina alafastigata (Fischer), LV, 99,9 – 100,0 m, Em 849; 10 Aaleniella sp., C, Ii, 109,95–110,0 m, Em 850; 11 Procytherura multicostata Ainsworth, C, Ii, 104,95–105,0 m, Em 851; 12 Gen. et sp. indet., LV, 104,95–105,0 m, Em 852; 13 Lenticulina communis 99,9 – 100,0 m, Em 853; 14 Lenticulina helios (Terquem), 99,9–100,0 m, Em 854; 15 Ammomarginulina sp., 98,9–99,0 m, Em 855; 16 Astacolus dorbignyi (Roemer), 101,9–102,0 m, Em 856; 17 Astacolus sp., 104,95–105,0 m, Em 857; 18 Parvicingula sp., 114,75–114,8, Em 858.







5.2 Palynostratigraphische Untersuchung der Opalinuston-Formation

Der vorliegende Bericht umfasst die Ergebnisse einer quantitativen palynologischen Untersuchung an elf Gesteinsproben der Opalinuston-Formation der Forschungsbohrung FBB 16, Unteres Bleichtal. Ziel der Studie war die palynostratigraphische Einordnung der Proben und möglichst genaue Zuordnung der Proben zur Ammoniten-Biostratigraphie.

Material und Methoden

Es wurden elf Proben der Bohrung von 102,22 bis 122,95 m untersucht. Die palynologische Aufbereitung der Proben wurde durch das Labor PLS Palynological Laboratory Services Ltd. (Holyhead, Anglesey, UK) ausgeführt. Die Aufbereitung erfolgte nach der allgemein üblichen Präparationsmethode mit konzentrierter Salzsäure und konzentrierter Flusssäure. Der Rückstand wurde bei einer Maschenweite von 15 µm gesiebt. Die Proben wurden mit konzentrierter Salpetersäure oxidiert und zum Teil kurz mit Ultraschall behandelt. Die palynologischen Präparate wurden dann lichtmikroskopisch untersucht und ausgewertet.

Es wurde je ein Satz mikroskopischer Präparate vom unoxidierten und vom oxidierten Rückstand erstellt. Präparate des unoxidierten Rückstandes (markiert als Kerogen-Präparate) dienen der Palynofaziesanalyse. Präparate des oxidierten Rückstandes dienen der Palynomorphen-Untersuchung.

Für die quantitative mikroskopische Analyse werden zwei aufeinanderfolgende Zählungen durchgeführt. In der ersten Zählung werden 200 Körner aller Palynomorphen gezählt und die Anzahl der Dinoflagellatenzysten wird notiert. In einer zweiten Zählung werden nur Dinoflagellatenzysten gezählt, bis eine Gesamtzahl von 100 Dinoflagellatenzysten erreicht ist. Der Rest des Präparates wird auf bis dahin noch nicht erfasste Taxa durchgeschaut. Diese Taxa ,out of count' sind in Anhang 4 mit ,+' markiert.

Für die Darstellung der Ergebnisse wurde die Software StrataBugs v2.1 verwendet; auf Fototafeln wurde verzichtet. Eine fast vollständige Dokumentation der vorkommenden Dinoflagellatenzysten-Arten findet sich in Feist-Burkhardt & Pross (2010, Fig. 8–13).

Ergebnisse und Interpretation

Allgemeines

Biostratigraphische Datierungen im Jura basieren v.a. auf dem Vorkommen von Dinoflagellatenzysten. Im Erläuterungstext zu den bekannten stratigraphischen Reichweiten von Leitarten wird das erste Auftreten mit FAD (engl. First appearance datum) und das letzte Vorkommen mit LAD (engl. Last appearance datum) bezeichnet. Besonders große Häufigkeiten von Taxa werden als Akme bezeichnet und werden zum Teil als zusätzliche Kriterien für die palynostratigraphische Interpretation herangezogen. Grundlage für die Alterseinstufung der Proben und deren Zuordnung zur Ammonitenstratigraphie ist der firmeneigene Composite Standard von Susanne Feist-Burkhardt Geological Consulting & Services. Der Composite Standard basiert zum großen Teil auf der Kompilation über die stratigraphische Verbreitung von Dinoflagellatenzysten in Süddeutschland und angrenzender Gebiete von Feist-Burkhardt & Wille (1992). Für das Ober-Toarcium - Unter-Aalenium ist die Arbeit von Feist-Burkhardt & Pross (2010) eingeflossen. Die in Feist-Burkhardt & Wille (1992) verwendeten Ammonitenzonen, Stufen- und Unterstufen-Namen wurden mit Hilfe von TimeScale Creator (www.tscreator.com) aktualisiert. Die verwendeten Altersdaten basieren auf der Geologic Time Scale 2016 (Ogg et al. 2016).

Neben Dinoflagellatenzysten treten andere aquatische Palynomorphe auf, die zum Teil stratigraphisch genutzt oder zusätzliche Informationen zum Paläoenvironment geben können. Diese Gruppe beinhaltet u.a. Acritarchen, Grünalgen (z.B. Botryococcus spp., Prasinophyceen, Zygnematophyceen) und Foraminiferentapeten. Botryococcus ist eine koloniale Grünalge, die aus Süßwasser- oder Brackwasser-Milieus in den marinen Ablagerungsraum transportiert werden kann. Prasinophyceen sind marin und typischerweise häufig in Sedimenten reich an organischer Substanz, die in sauerstoffarmen Ablagerungsmilieus gebildet wurden. Foraminiferentapeten sind die organischen Innenauskleidungen der Gehäuse benthischer Foraminiferen und somit Indikatoren für marines Paläoenvironment und gute Durchlüftung an der Sedimentoberfläche.

Die auftretenden Pollen und Sporen passen zu der Datierung mit Dinoflagellatenzysten. Einzelvorkommen von triassischen Pollen-/Sporen-Taxa (*Densosporites* spp. und *Ricciisporites* spp.) weisen auf Aufarbeitung triassischer Sedimente im Liefergebiet hin.



Generelles Erscheinungsbild des palynologischen Rückstands und Erhaltung

Die bearbeiteten Proben zeigen einen guten palynologischen Rückstand mit reicher und diverser Palynoflora. Die Erhaltung der Palynomorphen ist gut bis sehr gut. Das Palynomorphen-Spektrum setzt sich zusammen aus überwiegend Pollen und Sporen und Dinoflagellatenzysten. Nur untergeordnet treten Prasinophyten, Acritarchen, Foraminiferentapeten und Grünalgen (z. B. *Botryococcus*) auf. Es konnten 41 Dinoflagellatenzysten-Taxa, 16 andere aquatische Palynomorphen und 43 Pollen- und Sporen-Taxa unterschieden werden. Der Anteil der Dinoflagellatenzysten an der Palynoflora liegt bei 25 % bis 49 % und ist somit für die Opalinuston-Formation relativ hoch.

Beschreibung der Dinoflagellatenzysten-Vergesellschaftungen

Alle elf Proben zeigen in etwa die gleiche artliche Zusammensetzung der Dinoflagellatenzysten-Vergesellschaftungen, weshalb hier auf die Darstellung einer range chart verzichtet wird. Sehr häufig bis regelmäßig vorkommend ist Evansia? cf. granochagrinata. Ebenfalls häufig ist die Gattung Nannoceratopsis mit den Arten N. dictyambonis, N. gracilis s.s. und s.l., N. sp. 4, N. spp. und der Leitart N. triangulata. Vertreter der Phallocystaceae (= Heterocapsaceae in Feist-Burkhardt & Pross 2010) sind divers und treten auf mit vielen Arten der Gattungen Andreedinium, Dodekovia, Moesiodinium, Ovalicysta, Parvocysta, Reutlingia und Susadinium. Ebenfalls recht divers sind Valvaeodiniaceen mit Valvaeodinium cavum, V. sphaerechinatum, V. spongiosum, V. vermipellitum und V. spp. Die Gattung Scriniocassis tritt regelmäßig auf mit ihren drei Arten S. limbicavatus, S. priscus und S. weberi.

Weitere auftretende Taxa sind u.a. *Hystrichodinium*? sp. und *Mancodinium semitabulatum* sowie die Leitarten *Kallosphaeridium praussii* und *Wallodinium laganum*. Die Art *Phallocysta*? *frommernensis* wurde nicht gefunden.

Auffallend ist die Häufigkeitsverteilung von *Evansia*? cf. *granochagrinata*. Die Art zeigt in den oberen drei Proben (Palyno 0, 3 und 5) außerordentlich große Häufigkeiten von 34 % bis 48 % der Dinoflagellatenzysten-Vergesellschaftung. In den Proben weiter im Liegenden wird die Häufigkeit deutlich geringer. Die Art erreicht in den Proben Palyno 7, 9 und 17 noch 14 % bzw. 11 % und geht in den anderen Proben zurück auf 5 % bis 2 %.

Die relativen Anteile der anderen Dinoflagellatenzysten-Taxa (Kallosphaeridium praussii, Mancodinium semitabulatum, Nannoceratopsis spp., Phallocystaceae, Scriniocassis spp., Valvaeodiniaceae, Wallodinium laganum) verschieben sich etwas, aber ohne dass sich ein interpretierbares Muster erkennen lassen würde.

Palynostratigraphie

Die bearbeiteten Proben lassen sich in die palynostratigraphische Einheit A von Feist-Burkhardt & Pross (2010, Fig. 14; s. Abb. 16) einordnen. Einheit A ist gekennzeichnet durch das häufige Vorkommen von *Evansia*? cf. granochagrinata zusammen mit *Wallodinium laganum, Kallosphaeridium praussii* und *Nannoceratopsis triangulata*. Alle drei Arten kommen in den bearbeiteten Proben vor. Die Obergrenze von Einheit A ist definiert durch den Beginn der Akme von *Phallocysta* ? *frommernensis*. Das erste Einsetzen (FAD) der Art P.? *frommernensis* liegt bereits im oberen Teil der Einheit A. Diese Art wurde in den bearbeiteten Proben nicht gefunden.

Vergleich mit Wittnau

Zum Vergleich für die vorliegende Arbeit wurden die Präparate der Tongrube Wittnau von Feist-Burkhardt & Pross (2010) nachuntersucht. Es wurde versucht, die ursprünglich von Weiss (1989) stammenden Proben den Profilmetern und den Schichtnummern und Ammoniten-Horizonten von Ohmert et al. (1996) zuzuordnen. Diese Zuordnung und die zusätzlich bei den Nachuntersuchungen gefundenen Dinoflagellatenzysten sind in der Abbildung von Feist-Burkhardt & Pross (2010, Fig. 5; s. Abb. 17) nachgetragen worden.

Bei den Nachuntersuchungen wurden einige zusätzliche Exemplare von Taxa gefunden, sodass sich Lücken in der ursprünglichen Abbildung der Verteilung schließen. Stratigraphisch wichtige neue Funde sind einzelne fragliche Exemplare von *Kallosphaeridium praussii* in Probe T21 und *Phallocysta*? in Probe T17.

102,22-102,31 m bis 106,95-107,00 m (Palyno 0 bis 5; 3 Proben):

Auch Prauss (1991) berichtet über die große Häufigkeit von *Evansia*? cf. *granochagrinata* in Wittnau mit einem Maximum von 30 % an der Basis der Opalinum-Subzone (deren Probe 87/2, Schicht 01). Die drei obersten Proben von FBB 16 (**Palyno 0 bis 5**), mit sehr häufig *E*.? cf. *granochagrinata* und ohne *Phallocysta*? *frommernensis*, korrelieren so-





Abb. 16: Palynostratigraphische Einheiten zur Gliederung des Ober-Toarcium und Unter-Aalenium in Südwestdeutschland und der Schweiz (aus Feist-Burkhardt & Pross 2010, Fig. 14).

mit in Wittnau mit dem Bereich von Schicht 7 bis Schicht 2 oben, also Torulosum-Subzone, *fluitans*-Horizont bis Basis Opalinum-Subzone, *misera*-Horizont.

108,95-109,00 m bis 122,85-122,95 m (Palyno 7 bis Palyno 21, 8 Proben):

Die unteren Proben von FBB 16 (Palyno 7 bis 21) zeigen deutlich geringere Häufigkeiten von *Evansia*? cf. *granochagrinata*. Diese Häufigkeitsabnahme wurde auch in Wittnau beobachtet. In den Proben von FBB 16 kommen regelmäßig *Kallosphaeridium praussii, Nannoceratopsis triangulata* und *Wallodinium laganum* vor. Alle drei Arten sind nach Feist-Burkhardt & Pross (2010), zusammen mit *E*.? cf. *granochagrinata* typisch ab der Torulosum-Subzone. Nachuntersuchungen der Präpara-

te von Wittnau haben jedoch einzelne fragliche Exemplare der beiden Arten in Probe T21 (= Schicht 26, Aalensis-Subzone) ergeben. Auch Prauss (1991) berichtet von K. *praussii* (als K. *inornatum*) in ihrer Probe 64/4 (= Schicht 29) der Aalensis-Subzone von Wittnau. Die FADs beider Arten liegen also etwas tiefer als früher angenommen, in der Aalensis-Subzone.

Die unteren Proben von FBB 16 (**Palyno 7 bis 21**) korrelieren somit in Wittnau mit dem Bereich von Schicht 26 (?29) bis Schicht 21, also Aalensis-Subzone bis Torulosum-Subzone.

Das regelmäßige Vorkommen zweifelsfreier Exemplare von K. *praussii* und N. *triangulata* spricht eher für Torulosum-Subzone. Ein etwas höheres Alter, Aalensis-Subzone, kann aber nicht ausgeschlossen werden.

Regierungspräsidium Freiburg

Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau



		Toard	ian			A	alenia	an						
		Aalen	sis				Opalinur	n						
Aalensis		Т	orulosu	m		3	Opalinur	m		Ammonite Subzone				
	Jure	ensismo	ergel	Fm (Opalinu	uston F	⁼ m.			Litholog				
T21	T20	T19	T18	T10	1/0H4	1/0H7	T14	117		Sample number (
26	21	7	6	3	2 unten	2 oben	01	06	s	chichtnummern (abgeschätzt nach V Ohmert et	1			
5,5	12,9	23,1	25,2	27,2	29,25	29,6	30,8	37,3		Profilmeter (m) (geschätzt				
leura		fluitans		pseude	oarcuata	misera				Ammonitenhorizonte (na				
									Din app	Dinoflagellate cysts, in order of first appearance: order:				
+	+	+	+	+	+	+	+	+	1	Caddasphaera halosa	25	Andreedinium aff. elongatum		
+	+				+	+	+	+	2	Dodekovia knertensis	1	Caddasphaera halosa		
+	++	+++	+++	+++	+++	DDDD	+++	+++	3	Evansia cf. granochagrinata	26	Comparodinium punctatum s.l.		
+				+			+		4	Hystrichodinium? sp.	27	Dodekovia bullula sensu Below 1987		
?	+	+	?	+	+	+	+	+	5	Kallosphaeridium praussii	2	Dodekovia knertensis		
+	+	++	+++	+	++	++	+	++	6	Mancodinium semitabulatum	16	Dodekovia pseudochytroeides		
+	+	+	+	+	++	+	+	+	7	Nannoceratopsis gracilis s.l.	3	Evansia cf. granochagrinata	Blau: Nachtrag	
+	+	+	+	+	++	++	++	+	8	Nannoceratopsis gracilis s.str.	4	Hystrichodinium? sp.	November 2017	
++	++	++	++	++	++	++	+++	++	9	Nannoceratopsis spp.	5	Kallosphaeridium praussii	0.000	
?		•	+	+	++	+	+	+	10	Nannoceratopsis triangulata	6	Mancodinium semitabulatum	Rote	
+	+	•	+	+	•	++	++	++	11	Scriniocassis cf. limbicavatus	31	Mikrocysta ? sp.	Umrahmung:	
•	+	· •		+	*	+	++	+	12	Scriniocassis priscus	20	Nannoceratopsis dictyambonis	stratigraphisch	
	++								13	Valvaeodinium sphaerachinatum	0	Nannoceratopsis gracilis s.t.	wichtig	
	**	-		T	1	I	T		14	Wallodinium Jacanum	21	Nannoceratopsis gracilis s.str.		
1970	+	1 A	+	+	+	÷	•	++	16	Dodekovia pseudochytroeides	9	Nannoceratopsis piegas		
	?		+		+	+	+	+	17	Ovalicvsta hiata	10	Nannoceratopsis triangulata		
	+		+		14		+		18	Reutlingia cardobarbata	17	Ovalicysta hiata		
	+			++		+	+	+	19	Valvaeodinium cavum	32	Phallocysta? frommernensis		
		+		?	+	1	+	+	20	Nannoceratopsis dictyambonis	18	Reutlingia cardobarbata		
		+			+		+		21	Nannoceratopsis plegas	30	Reutlingia cracens		
			+	+		+	+	+	22	Susadinium scrofoides	24	Reutlingia nasuta		
		+	++	+	+	+	+	+	23	Valvaeodinium vermipellitum	33	Reutlingia sp. A		
			+	1	-	+	+	+	24	Heutlingia nasuta	28	Heutlingia sp. B		
			•	+				•	25	Comparedinium att. elongatum	29	Reutingia tricornuta		
		-			-	-		+	20	Dodekovja bullula sensu Below 1987	12	Scriniocassis Cl. Innoicavalus		
		1	+						28	Reutlingia sp. B	13	Scriniocassis weberi		
				+		+	+		29	Reutlingia tricornuta	22	Susadinium scrofoides		
						+			30	Reutlingia cracens	19	Valvaeodinium cavum		
						+			31	Mikrocysta ? sp.	14	Valvaeodinium sphaerechinatum		
							+	?	32	Phallocysta? frommernensis	23	Valvaeodinium vermipellitum		
					-			+	33	Reutlingia sp. A	15	Wallodinium laganum		
									-					
					-				0+	er aquatic palynomorphs:				
+	+	+	++	++	+	++	++	+++	1	Botryococcus			-	
+		+			+		+	+	1	Cymatiosphaera		? = questionable occurrence		
+++	++	+	+	++	+	+	+	+		Foraminiferal test linings				
	+	+			+	+	+			Fromea tornatilis		+++ = abundant		
+	++	+	++	+	+	++	++	+++		Micrhystridium/Baltisphaeridium spp.		DDDD = dominant		
+	1	+	+		+	+	+			Camponia gigas Lunulidia sp.				
								+		Scolecodont				
+	+	++	+++	++	++	+++	++	+++	1	Tasmanites s.l.				

Abb. 17: Semi-quantitative Verteilung der Dinoflagellatenzysten und anderer aquatischer Palynomorphen im Ober-Toarcium und Unter-Aalenium der Tongrube Wittnau (aus Feist-Burkhardt & Pross (2010, Fig. 5, ergänzt).

6 Fazit

Die Forschungsbohrung Unteres Bleichtal zeigt erstmalig die starke Eintiefung in diesem Bereich. Das liegende Festgestein stellte sich als Opalinuston-Formation heraus.

Die 98,5 m mächtige erbohrte Abfolge der Lockersedimente besteht aus drei Einheiten: Im Liegenden wurden 51,57 m Iffezheim-Formation erbohrt. Bei den Ablagerungen handelt es sich um rötliche kalkfreie Lokalsedimente aus lokalen Randzuflüssen, die fining-upward Zyklen zeigen. Neben geringmächtigen Kiesen lagerten sich vorwiegend Feinsedimente ab. Die unterschiedlichen faziellen Ausprägungen sind ein Hinweis darauf, dass sie in einem mäandrierenden Flusssystem mit zahlreichen Altarmen entstanden sind. Die Palynologie der organischen Feinsedimente der Iffezheim-Formation zeigt, dass die Ablagerung der Iffezheim-Formation am Bohrstandort erst im Frühpleistozän bei vorherrschend kühlen bis kalten Bedingungen einsetzt.

Über der Iffezheim-Formation folgen Kiese und Sande der Breisgau- und Neuenburg-Formation. Die Ablagerungen dieses Profilabschnitts sind von alpinen Komponenten dominiert. Der Anteil an Fein- bis Grobkies ist hoch und bis auf einzelne sandige Lagen bleibt die Korngröße im Kiesbereich und die Transportenergie damit weitgehend hoch. Diese Art von Ablagerung ist typisch für verzweigte Flusssysteme unter periglazialen Bedingungen. Innerhalb der Breisgau-Formation ist geröllpetrographisch zunächst ein geringer alpiner Eintrag zu verzeichnen, der in den Oberen Breisgau-Schichten deutlich zunimmt. Dies zeigt sich sowohl in der Geröllpetrographie als auch im Karbonatgehalt des Feinsedimentanteils. Auch das Schwermineralspektrum zeigt mit Beginn der Breisgau-Formation einen markanten Wechsel von überwiegend stabilen Mineralen zu einem Granat-Epidot-Hornblende-Spektrum, was den Anschluss des Rheins an das Alpengebiet belegt. In der Feinfraktion zeigt sich das Hinzukommen des alpinen Einzugsgebiets viel deutlicher als in der Grobfraktion, in der zu Beginn der Ablagerung der Breisgau-Formation die lokale Provenienz überwiegt. Stabile Schwerminerale treten weiterhin auf, aber in geringerem Umfang. Somit bleibt während der Ablagerung der Breisgau- und Neuenburg-Formation das lokale Einzugsgebiet (Buntsandstein-Regionen und Kristallingebiete des Schwarzwalds) weiterhin aktiv, was auch im Geröllspektrum sichtbar ist. Holozäne Feinsedimente schließen das Profil ab.

Mit der hochauflösenden Seismik ist es möglich, die Gesteinsabfolge teilweise bis auf die Horizontebene zu gliedern. Die Lockergesteinsbasis wird gut abgebildet und zeigt im Profil 1 am Talausgang des Bleichtals ein relativ flaches Relief mit einer maximalen Eintiefung von ~105 m. Die Geoelektrik-Messungen des oberflächennahen Untergrunds bis in ca. 100 m Tiefe zeigen im Vergleich zur Reflexionsseismik vergleichbare Ergebnisse. Die Auswertung der Bohrlochmessungen ergänzen die Untersuchungen, insgesamt wird die Lage der Bohrung auf einer zum Graben einfallenden Scholle in der Vorbergzone bestätigt.

Die Ergebnisse der Ammoniten- und Ostrakodenbestimmungen zeigen, dass die Bohrung im tieferen Teil der Opalinuston-Formation endet (Torulosum-Subzone, Aalensis-Zone nicht auszuschließen).

7 Dank

Besonderen Dank möchten wir Herrn J. Rauer (Stadtbauamt Herbolzheim) für seine freundliche Unterstützung vor und während der Bohrarbeiten aussprechen. M. Kutz (Mackenheim) verdanken wir die hervorragende Präparation der Cotteswoldia, V. Dietze sind wir für die Bestimmung der Ammoniten sehr dankbar. D. Ellwanger (früher LGRB) engagierte sich dankenswerterweise bei der Vorbereitung und Durchführung der Forschungsbohrung. Wir bedanken uns bei J. Hahne (Dasseln), der die palynologische Bearbeitung übernommen hat und bei M. Rösch (Hemmenhofen) für die Bestimmung der Makroflorenreste. Für die Schwermineralanalyse danken wir M. Gerlitzki, für die Aufbereitung der Proben im Labor S. Wendt, S. Herbstritt und G. Gollembeck sowie für die Anfertigung der Abbildungen G. Fischer. Unser Dank gilt auch E. Nitsch, der uns bei der Auswertung der Seismik unterstützte. Ebenfalls möchten wir A.-C. Kolb unseren Dank für die kritische Durchsicht des Manuskripts aussprechen (alle LGRB Freiburg).



8 Literatur

- Andel, T.H. Van (1950): Provenance, Transport and Deposition of Rhine Sediments. – 129 S.; Wageningen (Veenman & Zonen).
- Bartz, J. (1961): Die Entwicklung des Flußnetzes in Südwestdeutschland. – Jahreshefte des Geologischen Landesamts Baden-Württ., 4: 127–136.
- Bartz, J. (1982), mit Beitr. v. von der Brelie, G. & Maus, H.: Quartär und Jungtertiär im Oberrheingraben im Großraum Karlsruhe. – Geologisches Jahrbuch, A 63: 3–237.
- Boenigk, W. (1976): Schwermineraluntersuchungen zur Entwicklung des Rheinsystems. – Eiszeitalter u. Gegenwart, 27: 202.
- Boenigk, W. (1982): Der Einfluß des Rheingraben-Systems auf die Flußgeschichte des Rheins. – Zeitschrift für Geomorphologie, N.F. 42: 167–175.
- Boenigk, W. (1983): Schwermineralanalyse. 152 S.; Stuttgart (Enke).
- Ellwanger, D. (2003), unter Mitarb. v. Lämmermann-Barthel, J. & Neeb, I.: Eine "landschaftsübergreifende Lockergesteinsgliederung" vom Alpenrand zum Oberrhein. – GeoArchaeoRhein, 4: 81–124; Münster.
- Ellwanger, D. (2011): Neuenburg-Formation. In Litho-Lex [Online-Datenbank]. Hannover: BGR. Last updated 08.06.2011. [cited 22.04.2021]. Record No. 1000020. Available from: https://litholex.bgr.de
- Ellwanger, D., Gabriel, G., Simon, T., Wielandt-Schuster, U., Greiling, R.O. Hagedorn, E.-M., Hahne, J. & Heinz, J. (2008): Long sequence of Quaternary rocks in the Heidelberg Basin depocentre. – Eiszeitalter und Gegenwart, 57: 316–337.
- Ellwanger, D., Wielandt-Schuster, U., Franz, M. & Simon, T. (2011): The Quaternary of the southwest German Alpine Foreland (Bodensee-Oberschwaben, Baden-Württemberg, Southwest Germany). – E&G Quaternary Science Journal, 60: 306–328.
- Erberich, G. (1937): Sedimentpetrographische Untersuchungen an rezenten Rheinsanden vom Mainzer Becken bis an die Holländische Grenze. – Decheniana, 95: 1–40.
- Feist-Burkhardt, S. & Pross, J. (2010): Dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Opalinuston Formation (Middle Jurassic) in the Aalenian type area in southwest Germany and North Switzerland. – Lethaia, 43: 10–31.
- Feist-Burkhardt, S. & Wille, W. (1992): Jurassic palynology in southwest Germany – state of the art. – Cahiers de Micropaléontologie, 7(1/2): 141–164.
- Füchtbauer, W. (1964): Sedimentpetrographische Untersuchungen in der älteren Molasse nördlich der Alpen. – Eclogae geologicae Helvetiae, 57/1: 157–298.
- geoFact GmbH (2016): Seismische Erkundung Bleichtal bei Freiburg, Seismische Datenverarbeitung. – Abschlussbericht. – Bonn.
- GeORG-Projektteam (2013): Geopotenziale des tieferen Untergrundes im Oberrheingraben. – Fachlich-Techni-

scher Abschlussbericht des Interreg-Projekts GeORG, Teile 1–4: 691 S.; http://www.geopotenziale.eu.

- GeoMol LCA-Projektteam (2015): GeoMol Geopotenziale für die nachhaltige Nutzung des tieferen Untergrundes in den alpinen Vorlandbecken. – Abschlussbericht des Pilotgebiets Bodensee – Allgäu. – LGRB-Informationen, 30: 1–142. https://produkte.lgrb-bw.de/schriftensuche/lgrbinformationen/informationen30
- Geyer, M., Nitsch, E. & Simon, T. (2011): Geologie von Baden-Württemberg. 5. Aufl. – 627 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- Graf, H. & Hofmann, F. (2000): Zur Eiszeitgeologie des oberen Klettgau (Kanton Schaffhausen, Schweiz). – Jahresberichte und Mitteilungen des oberrheinischen geologischen Vereins, N.F. 82: 279–315.
- Groschopf, R., Kessler, G., Leiber, J., Maus, H., Ohmert, W., Schreiner, A. & Wimmenauer, W. (1996) mit Beitr. v. Albiez, G., Hüttner, R. & Wendt, O.: Erläuterungen zum Blatt Freiburg i. Br. und Umgebung (3. Aufl.). – Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:50 000: 364 S.; Freiburg (GLA).
- Hagedorn, E.-M. (2004): Sedimentpetrographie und Lithofazies der jungtertiären und quartären Sedimente im Oberrheingebiet. – Dissertation Universität zu Köln: 310 S.; Internet.
 – [https://kups.ub.uni-koeln.de/volltexte/2004/1253/]
- Hahn, R. (2018): Sedimentological logging of the research drilling "Bleichtal (Herbolzheim)". – Masterthesis Albert-Ludwigs-Universität Freiburg: 62 S.
- HGK (1980): Oberrheingebiet Raum Lahr. Hydrogeologische Karte Baden-Württemberg, 63 S.; Freiburg i.Br. (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg).
- Kessler, G. (2010) mit Beiträgen von Keck, O., Nitsch, E. & Werner, W.: Erläuterungen zum Blatt 7713 Schuttertal. – Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25000: 288 S.; Freiburg i. Br.
- Lutz, M. & Etzold, A. (2003): Der Keuper im Untergrund des Oberrheingrabens in Baden. – Jahreshefte des Landesamts für Geologie, Rohstoffe und Bergbau Baden-Württemberg, 39: 55–110.
- Miall, A.D. (1985): Architectural Elements and bounding Surfaces: A new method of facies analysis appplied to fluvial deposits. – Earth Science Reviews, 22: 261–308.
- Münzing, K. (2003): mit Beiträgen von Maus, H.† & Kösel, M.: 5.5.1 Lösssedimente und Schwemmlöss. – In: Wimmenauer, W. (2003) mit Beiträgen von Brüstle, W., Finger, P., Fleck, W., Groschopf, R., Homilius, J., Kösel, M., Maus, H.†, Münzing, K., Ohmert, W., Plaumann, S., Pucher, R., Schreiner, A., Villinger, E. & Wirsing, G.: Erläuterungen zum Blatt Kaiserstuhl. 5., völlig neu bearbeitete Auflage: 134–148; Freiburg i. Br.
- Nesemann, H. (1994): Zum Vorkommen von Bithynia leachii (Sheppard 1823) und B. transsilvanica (Bielz 1853) im Donaugebiet (Gastropoda: Prosobranchia: Bithyniidae). – Nachrichtenblatt der Ersten Vorarlberger Malakologischen Gesellschaft, 2: 5–13.
- Ogg, J. G., Ogg, G. & Gradstein, F. M. (2016): The Concise Geologic Time Scale. – Cambridge University Press. 184 pp.
- Ohmert, W. (1993): Zur Entwicklung der Grammoceratinae Leioceratinae an der Toarcium-/Aalenium-Grenze Südwestdeutschlands. – Geologische Blätter für Nordost-Bayern, 43: 143–166.

- Ohmert, W. (1996): Mikrofossilien. In: Ohmert, W., Allia, V., Arias, C., Baldanza, A., Bergen, J. A., Bucefalo Palliani, R., Canales, M. L., De Kaenel, E., Garcia Joral, F., Goy, A., Herrero, C., Höhndorf, A., Martinez, G., Mattioli, E., Perilli, N., Riegraf, W., Rolf, C., Ureta, S., Wetzel, A. & Wonik, T. (1996): Die Grenzziehung Unter-/Mitteljura (Toarcium/ Aalenium). Beispiele Interdisziplinärer Zusammenarbeit. – Informationen, 8: 1–52.
- Ohmert, W., Allia, V., Arias, C., Baldanza, A., Bergen, J.A., Bucefalo Palliani, R., Canales, M.L., De Kaenel, E., Garcia Joral, F., Goy, A., Herrero, C., Höhndorf, A., Martinez, G., Mattioli, E., Perilli, N., Riegraf, W., Rolf, C., Ureta, S., Wetzel, A. & Wonik, T. (1996): Die Grenzziehung Unter-/ Mitteljura (Toarcium/Aalenium). Beispiele Interdisziplinärer Zusammenarbeit. – Informationen, 8: 1–52.
- Petit, C., Campy, M., Chaline, J. & Bonvalot, J. (1996): Major palaeohydrographic changes in Alpine foreland during the Pliocene-Pleistocene. – Boreas, 25: 131–143.
- Prauss, M. (1991): Marine palynomorphs. In: Ohmert, W., Prauss, M. & Weiss, M.: The Toarcian-Aalenian boundary at Wittnau (Oberrhein area, South West Germany), a possible boundary stratotype for the Aalenian. – In: Morton, N.: Conference on Aalenian and Bajocian Stratigraphy, Isle of Skye, April 1991, Birbeck College, University of London, 7–31.
- Rosenbusch, H. (1907): Mikroskopische Physiographie der Massigen Gesteine – 1. Hälfte: Tiefengesteine – Ganggesteine. – 716 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- Schreiner, A. (1997): Einführung in die Quartärgeologie. 2. Aufl. – 257 S.; Stuttgart (Schweizerbart).

- Sindowski, K.H. (1940): Grundsätzliches zur Schwermineralanalyse der diluvialen Rheinterrassen und Lösse des Mittel- und Niederrheingebietes. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 92: 477–499.
- Sindowski, K.H. (1958): Schüttungsrichtungen und Mineralprovinzen im westdeutschen Buntsandstein. – Geologisches Jahrbuch, 73: 277–294.
- STRATABUGS, version 2.1 (June 2016). StrataData Ltd. UK. https://www.stratadata.co.uk.
- terratec Geophysical Services GmbH & Co. KG (2016): Bohrlochmessungen in dem Projekt Forschungsbohrung Bleichtal LGRB-FB 20/16. – Heitersheim. terratec Geophysical Services GmbH & Co. KG (2016): LGRB-Freiburg Vorerkundung Bleichtal Elektrische Tomographie (ERT) August 2016. – Heitersheim.
- TIMESCALE CREATOR, version 7.0 (30. July 2016). Geologic TimeScale Foundation. https://engineering.purdue.edu/ Stratigraphy/tscreator/.
- Villinger, E. (1986): Untersuchungen zur Flußgeschichte von Aare-Donau/Alpenrhein und zur Entwicklung des Malm-Karsts in Südwestdeutschland. – Jahreshefte des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg, 28: 297–362.
- Weiss, M. (1989): Die Sporenfloren aus Rät und Jura Südwestdeutschlands und ihre Beziehung zur Ammoniten-Stratigraphie. – Palaeontographica, Abteilung B 215/1–6: 1–168.
- Zimmerle, W. (1969): Transparente Schwerminerale aus granitischen Gesteinen und aus Flüssen des Blauen-Massivs (Südwest-Schwarzwald). – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 121: 67–73.



Anhang 1: Schichtenverzeichnis der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal

Forschungsbohrung Unteres Bleichtal Wagenstadt; BO7712/2081 Ost: 409385, Nord: 5339907, 174,00 m NN Aufnahme: Dr. M. Franz, 13.03.2018

Holozänes Auensediment

0 – 1,20 m Schluff, tonig, feinsandig, braun, bis 0,5 m mäßig, darunter stark durchsetzt mit ca. 3-4 mm großen Fe-Konkretionen

Holozäne Altwasserablagerung

– 1,90 m Ton, nach unten zunehmend feinsandig, kalkfrei, hellgrünliche Fe-Flecken

Neuenburg-Formation

Mit dem Erreichen des Grundwasserspiegels (2,95 m u. Gel.) kam es infolge des rammenden Bohrvortriebs bis etwa 47,00 m zur Entmischung der Sand- und Kiesfraktionen. Die Sandfraktion fand sich jeweils (zumindest stark angereichert) im oberen Abschnitt der Liner.

- 2,05 m Fein- bis Mittelkies, stark tonig-schluffig, bis 2,00 m dunkelgrau, darunter braun; Geröllspektrum alpin dominiert
- 4,90 m Fein- bis Mittelkies, stark schluffig-sandig, Feinanteil schmutzig graubraun; Grobkies bei 2,50–2,60 m, 3,40–3,50 m
- und 4,00–4,10 m, 4,50–4,90 m Grobkies mit einzelnen Steinen; Geröllspektrum alpin, wenige rötliche Granite
- $-24,75\ m$ Mittel- bis Grobkies, we cheel stark feinkiesig, sandig, grobkiesig, grau; Geröllspektrum alpin

Breisgau-Formation

- 46,93 m Fein- bis Mittelkies, grobkiesig, steinig, stark fein- bis grobsandig, bräunlichgrau bis gelbbraun; 28,50–28,65 m Schluff, tonig, feinsandig, hellbraun; 33,70–34,00 m und 43,40–43,75 m Feinsand, schluffig, hellgrau bis hellgelb, Geröllspektrum: Schwarzwaldmaterial (überwiegend verwittert, z. T. zersetzt) und alpin

Iffezheim-Formation

- 47,18 m Schluff, tonig, hellbraun
- 48,06 m Schluff, feinsandig, grau, steilstehender Einschluss (2-3 cm breit) aus tonigem Schluff wie zuvor (? Wurzelspur)
- 48,71 m Mittel- bis Grobsand, hell rotbraun
- 48,80 m Schluff, feinsandig, ? schwach tonig, grau
- 49,55 m Mittel- bis Grobsand, feinsandig, hell rötlichgrau
- 49,68 m Feinkies, mittelkiesig, fein- bis grobsandig, hellgrau
- 50,45 m Mittel- bis Grobsand, hell rötlichgrau bis braun
- 50,75 m Fein- bis Mittelkies, hell graubraun
- 51,00 m Mittel- bis Grobsand, rotbraun
- 52,25 m Feinkies, stark sandig, schluffig, schmutzig gelbgrau
- 52,45 m Schluff, feinsandig, schmutzig gelbgrau
- 53,00 m Feinsand und Schluff, unregelmäßig wechsellagernd, blassgrau und rötlich-grau
- 52,90 m Mittel- bis Grobsand, nach unten gröber werdend (Material aus Buntsandstein und Granit-Zersatz)
- 54,00 m Feinsand, schluffig, organische Beimengungen, kohlige Pflanzenreste, dunkelgrau
- 55,30 m Fein- bis Grobsand, schwach, nach unten zunehmend feinkiesig, bräunlichgrau
- 55,85 m Fein- bis Mittelsand, hell rötlichgrau, leicht schräggeschichtet
- 56,00 m Grobsand, feinkiesig, rotbraun
- 56,45 m Kernverlust
- 56,80 m Mittel- bis Grobsand, hell rotbraun
- 57,10 m Feinsand, hellgrau
- 57,30 m Fein- bis Mittelsand, schwach feinkiesig, hell rötlichgrau
- 61,00 m Ton, schluffig, lagenweise feinsandig, hellbraun, bis 58,55 m deutliche Bleichungsflecken, blassgrün, vertikal bis schräg angeordnet,
- 62,30 m Fein- bis Mittelsand, hell rötlichgrau; 61-62 m Kerngewinn ca. 40 %
- 62,70 m Feinsand, flasrig, organische Beimengungen, Pflanzenreste, grau
- 63,00 m Schluff, feinsandig, hell graubraun
- 64,00 m Ton, schluffig, lagenweise schwach feinsandig, organische Beimengungen, grau, 63,30-63,55 m schwarz



- 64,35 m Feinsand, mittelsandig, sehr schwach feinkiesig, grau
- 64,75 m Feinsand, schluffig, sehr schwach feinkiesig, grau
- 65,10 m Fein- bis Mittelkies, stark mittel- bis grobsandig, hell graubraun bis gelbbraun
- 65,37 m Fein- bis Grobsand, grau, violettstichig
- 65,83 m Fein- bis Mittelkies, fein- bis mittelsandig, hellbraun, untere 10 cm grau
- 66,00 m Fein- bis Mittelsand, hell rötlichbraun
- 66,85 m Mittel- bis Grobsand, lagenweise schwach feinkiesig, hell rötlichbraun, 66,60-66,75 m schwarz gefleckt
- 66,90 m Feinkies, stark mittel- bis grobsandig, hell rötlichbraun
- 67,55 m Mittel- bis Grobsand, feinsandig, sehr schwach feinkiesig, bis 67,35 m hell rotbraun, darunter rosa
- 68,00 m Mittel- und Feinsand im Wechsel, z. T. flasrig schräg geschichtet, bis 67,65 m stark durchsetzt mit kohligen Holzresten, dunkelgrau bis schwarz
- 69,00 m Mittelsand, feinsandig, grobsandig, schwach feinkiesig, hell rotbraun
- 69,25 m Fein- bis Mittelkies in stark sandiger Grundmasse, dunkelgrau
- 70,50 m Fein- bis Grobsand (Korngrößen nach unten zunehmend), hell rotbraun bis graubraun
- 71,30 m Fein- bis Mittelkies in stark sandiger Grundmasse, dunkelgrau
- 71,65 m Feinkies, schwach mittelkiesig (Komponenten: Buntsandstein, Quarz, Hornstein)
- 71,95 m Feinsand, hellrosa
- 72,35 m Fein- bis Mittelkies, stark sandig, nach unten zunehmend schwach grobkiesig
- 73,00 m Fein-bis Mittelsand, hellrosa
- 73,08 m Feinkies, sandig, hellrosa
- 73,65 m Fein- bis Mittelsand, hellrosa bis hell gelbbraun
- 74,00 m Feinkies, stark sandig, mittel- bis grobkiesig, schwach steinig, hellrot
- 74,20 m Mittelsand, grobsandig, schwach feinkiesig, hellrot
- 75,05 m Fein- bis Grobkies, stark sandig, schluffig, hellrot, 74,45-74,65 m dunkelgrau
- 76,25 m Schluff, feinsandig, ? tonig, hell gelbbraun
- 77,00 m Feinsand, nach unten zunehmend mittel- bis grobsandig, hell rotbraun
- 79,00 m Schluff, feinsandig, bis 77,90 m hell graubraun, bis 78,00 m rotbraun, bis 78,10 m hell gelbbraun, bis 79,00 m hell graubraun, untere 10 cm dunkelgrau gefleckt
- 79,20 m Mittel- bis Grobsand, hell gelbbraun, rotbraun und grau
- 79,82 m Fein- bis Mittelsand, (schwarz)grau und rosa, (bohrbedingt ?) leicht wellig geschichtet
- 80,00 m Feinsand, schluffig, grau bis schwarz
- 80,30 m Mittel- bis Grobsand, feinsandig, gelbbraun
- 81,00 m Fein- bis Mittelsand, rosa und nach unten zunehmend (schwarz)grau, (bohrbedingt ?) leicht wellig geschichtet
- 81,32 m Feinsand, mittelsandig, gelbbraun und hellrot
- 81,55 m Grobsand, mittelsandig, schwach feinkiesig, bräunlichgrau
- 82,25 m Fein- bis Mittelsand, (schwarz)grau und rosa, (bohrbedingt ?) leicht wellig, untere 15 cm schräggeschichtet
- 82,75 m Fein- bis Mittelkies, schwach grobkiesig, stark sandig, schluffig
- 83,00 m Feinsand, bräunlichgrau bis schwarzgrau, (bohrbedingt ?) leicht wellig geschichtet
- 85,00 m Kernverlust
- 85,08 m Feinsand, schluffig, grau
- 85,25 m Fein- bis Grobkies (aus Sandstein), hellrot, in stark sandig-schluffiger Grundmasse
- 85,70 m Kernverlust
- 86,00 m Feinsand, schluffig, rötlichgrau
- 86,28 m Fein- bis Grobkies (aus Sandstein), hellrot, in gelbbrauner, stark sandig-schluffiger Grundmasse
- 86,75 m Feinsand, schluffig,? schwach tonig, rötlichgrau
- 87,18 m Fein- bis Grobkies, in stark sandig-schluffiger Grundmasse, bis 87,00 m rotbraun, darunter gelbbraun
- 88,00 m Ton, schluffig, hell graubraun bis rötlichgrau, bis 87,75 m durchsetzt mit blassgrünen Bleichungsflecken
- 88,35 m Feinsand, eben geschichtet, gelbbraun bis rötlichgrau
- 88,50 m Fein- bis Grobkies, in stark sandig-schluffiger Grundmasse, matrixgestützt, braun
- 89,00 m Fein- bis Mittelsand (schluffig), graubraun, z.T. rotstichig
- 89,37 m Grobkies, mittelkiesig, schwach steinig in stark sandiger Grundmasse
- 90,10 m Tonstein, schluffig, braun, undeutliche, grünlichgraue Bleichungsflecken
- 90,70 m Feinsand, mittelsandig, hellrot
- 91,35 m Feinsand, schluffig, feingeschichtet, grau, lagenweise organische Beimengungen
- 91,92 m Schluff, tonig, feinsandig, grau bis dunkel braungrau, organische Beimengungen
- 93,00 m Grobsand, mittelsandig, schwach schluffig, bis 92,60 m graubraun, bis 93,00 m grau
- 93,50 m Fein- bis Grobkies in stark schluffig-sandiger Grundmasse, matrixgestützt, blassrosa
- 93,60 m Mittelsand, rötlichbraun



- 94,40 m Grobkies, mittelkiesig, in stark schluffig-sandiger Grundmasse, hellrosa; ab 94,00 m fast vollständiger Kernverlust

- 94,55 m Fein- bis Grobkies in stark schluffig-sandiger Grundmasse, dunkelgrau bis schwarz
- 94,80 m Feinsand, schluffig, organische Beimengungen, dunkelgrau
- 97,50 m Grobkies, fein- bis mittelkiesig, sandig, hellrot; Kerngewinn ca. 40 %
- 98.50 m Kernverlust

Opalinuston-Formation

- 99,00 m Tonstein, schluffig, dunkelgrau, nach unten abnehmend plastifiziert, obere 20 cm schwach mit Sand und Kies vermischt Mikroprobe I: 98,95–99,00 m - 99,70 m Tonstein, schluffig, dunkelgrau, feingeschichtet – 102 m Tonstein, schluffig, dunkelgrau, feingeschichtet, lagenweise gehäuft Bositra-(Bruch) Schill, bei 99,95 und 100,05 m Costatotrochus subduplicatus, bei 100,5 m Pachylytoceras sp. (Innenw.), bei 101,3 m Palaeonucula hammeri, bei 101,4 m Cotteswoldia sp., Unacerithium sp., bei 101,75 m Cotteswoldia burtonensis (Buckman) Mikroprobe II: 99,95–100,00 m Mikroprobe III: 100,95-101,00 m Mikroprobe IV: 101,85-101,90 m - 102,09 m Tonstein, dunkelgrau, vermischt mit Nachfall (Buntsandstein, Milchquarz, Quarzitgeröll) - 104,00 m Tonstein, feingeschichtet, dunkelgrau, wenig Bositra-(Bruch-) Schill, ab 103 m lagenweise häufiger, vereinzelt unverzweigte Grabgänge (1,5 mm breit, mehrere cm lang); 102,22-102,31 m mehrere Kalkstein-Konkretionen (bis 5 x 2 cm), darin bei 102,30 m und bei 102,85 m Cotteswoldia burtonensis (Buckman); bei 103,98 m 1 unbestimmbares Ammoniten-Fragment; Kern von 102,45-102,80 m an steil stehender, ebener Kluft, von 103,10-103,90 m an mehreren steil stehenden, ebenen Klüften gespalten (Kluftabstand 3-7 cm); bei 103,5 m Schichtneigung ca. 15° Palvnoprobe 0: 102.22-102.30 m Mikroprobe 1: 102.95-103.00 m Mikroprobe 2: 103,90-103,95 m - 105,00 m Tonstein, dunkelgrau, reich an Bositra, vereinzelt Ammoniten-Fragmente; Kern stark zerschert, mehrere Harnischflächen (45-70°); Kern an steil stehender Kluft gespalten; Kluftfläche mit lückenhafter, dünner Calcit-Tapete Mikro-/Palynoprobe 3: 104,95-105,00 m - 108,00 m Tonstein, dunkelgrau, reich an Bositra, selten Entolium sp., bei 107,55 m Ammoniten-Fragment; an Längskluft gespalten, z.T. an flachen Harnischen zerschert, 106,7-107 m etwas stärker zerschert; teilweise Kernverlust; Kerngewinn ca. 70 %; bei 108,5 m Schichtneigung ca. 25° Mikroprobe 4: 105,95-106,00 m Mikro-/Palynoprobe 5: 106,95-107,00 m Mikroprobe 6: 107,95-108,00 m -109,00 m Tonstein, dunkelgrau, reich an Bositra, bei 108,70 m Ammoniten-Fragment; steilstehende Klüfte, Kluftabstand z. T. <1 cm Mikro-/Palynoprobe 7: 108,95-109,00 m -111,52 m Tonstein, dunkelgrau, pyritisierte Grabgänge, dunkel metallblau angelaufen, reich an Bositra, 110,0-110,15 m gehäuft Pyrit-Konkretionen, bei 109,44 m Pleydellia sp., bei 109,51 m Nuculana sp., 109,61-111 m gehäuft Costatotrochus subduplicatus, bei 109,74 m Neoclavibelus subclavatus, bei 110,15 m Pleydellia misera (Buckman), bei 110, 82 m Cotteswoldia burtonensis (Buckman), 111,0-111,45 m weitere, unbestimmbare Ammoniten, 1 Belemnit; steilstehende Klüfte (Kluftabstand z. T. 6 cm), Mikroprobe 8: 109,95-110,00 m Mikro-/Palynoprobe 9: 110,95-111,05 m Tonstein, dunkelgrau, einzelne Kalkstein- Konkretionen bis 6 cm Ø, pyritisierte Grabgänge, dunkel metallblau – 112,0 m angelaufen, Bositra, bei 111,95 m Pleydellia pseudoarcuata Maubeuge Mikroprobe 10: 111,95-112,0 m - 112,53 m Tonstein, dunkelgrau, fossilarm; bis 112,40 m Kern stark zerschert, z. T. spiegelnde Harnischflächen - 113,30 m Tonstein, dunkelgrau, fossilarm, gehäuft unregelmäßig geformte Kalkstein-Konkretionen bis 5 cm Ø, pyritisierte Grabgänge, dunkel metallblau angelaufen Mikro-/Palynoprobe 11: 112,95-113,0 m - 115,20 m Tonstein, dunkelgrau, fossilarm, bei 113,90 m Schichtfläche mit Muschelbrut; bei 114,56 m 0,5 cm Nagelkalklage; bei 115,05 m unbestimmbarer Ammonit;114-115 m gesamter Kern an 2 steil stehenden Klüften (Abstand 7 cm) zerlegt und bereichsweise zerschert

Mikroprobe 12: 113,95-114,0 m

- Mikro-/Palynoprobe 13: 114,75-114,80 m
 - 115,63 m Tonstein, dunkelgrau, Bositra, vereinzelt Entolium, 115,28-115,36 m unbestimmbare Ammoniten
 - -116,00 m Tonstein, dunkelgrau, mehrere Kalkstein-Konkretionen bis 7 cm Ø, Bositra, bei 115,85 Cotteswoldia burtonensis (Buckman) und 115,95 m Cotteswoldia subcandida Buckman



Mikroprobe 14: 115,95-116,0 m - 117,00 m Tonstein, dunkelgrau, reichlich Bositra Mikro-/Palynoprobe 15: 117,0 m [aus Überkern entnommen] 20 cm Überkern: Tonstein wie zuvor - 117,40 m Tonstein, dunkelgrau, reichlich Bositra - 117,80 m Tonstein, dunkelgrau, fossilarm - 118,12 m Tonstein, dunkelgrau, Bositra, bei 117,85 m unbestimmbarer Ammonit Mikroprobe 16: 117,95-118,0 m - 118,60 m Tonstein, dunkelgrau, Bositra - 120,62 m Tonstein, dunkelgrau, fossilarm; vereinzelt unbestimmbare Ammoniten Mikro-/Palynoprobe 17: 119,00-119,05 m Mikroprobe 18: 119,90-120,0 m - 121,12 m Tonstein, dunkelgrau, fossilarm; vereinzelt unbestimmbare Ammoniten, bei 121,02 m großer Aptychus Mikro-/Palynoprobe 19: 120,95-121,0 m - 121,40 m Tonstein, dunkelgrau, fossilarm, geklüftet und z.T. zerschert - 122,22 m Tonstein, dunkelgrau, fossilarm; bei 121,43 m unbestimmbarer Ammonit Mikroprobe 20: 121,85-121,90 m - 123,00 m Tonstein, dunkelgrau, fossilarm; vereinzelt unbestimmbare Ammoniten Mikro-/Palynoprobe 21: 122,85-122,95 m ET.

Anhang 2: Fotodokumentation der Lockersedimente und Lithofazieslog der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal

→ siehe nächste Seite

























Iffezheim-Formation



Anhang 3: Artenliste der Palynomorphen im Opalinuston

Dinoflagellatenzysten:

Andreedinium aff. elongatum in Feist-B. & Monteil 1994 Andreedinium sp. 3 (squat, granulate) Comparodinium punctatum Wille & Gocht, 1979 Dodekovia "penicillus" (manuscript name) Dodekovia bullula (Bjaerke, 1980) Below, 1987 Dodekovia bullula ss. (Bjaerke, 1980) Below, 1987 Dodekovia knertensis Below, 1987 Dodekovia pseudochytroeides Below, 1987 Dodekovia spp. Dodekovia syzygia Dörhöfer & Davies, 1980 emend. Below 1987 Dodekovia tegillata Prauss, 1989 Evansia? cf. granochagrinata Below, 1990 Hystrichodinium? sp. in Feist-B. & Pross 2010 Kallosphaeridium praussii Lentin & Williams, 1993 Mancodinium semitabulatum Morgenroth, 1970 Moesiodinium raileanui Antonescu, 1974 Nannoceratopsis dictyambonis Riding, 1984 Nannoceratopsis gracilis sl. Alberti, 1961 Nannoceratopsis gracilis ss. Alberti, 1961 Nannoceratopsis sp. 4 (smooth, aff. senex) Nannoceratopsis spp. Nannoceratopsis triangulata Prauss, 1987 Ovalicysta hiata Bjaerke, 1980 Parvocysta bjaerkei Smelror, 1987 Parvocysta? tricornuta Riding & Shaw in Riding et al., 1991 Reutlingia cardobarbata Below, 1987 Reutlingia cracens (Bjaerke, 1980) Prauss, 1989 Reutlingia hirsuta Below, 1987 Reutlingia nasuta (Bjaerke, 1980) Below, 1987 Reutlingia spp. Scriniocassis limbicavatus Prauss, 1989 Scriniocassis priscus (Gocht, 1979) Below, 1990 Scriniocassis weberi Gocht, 1964 Susadinium scrofoides Dörhöfer & Davies, 1980 Valvaeodinium cavum (Davies, 1983) Below, 1987 Valvaeodinium sphaerechinatum Below, 1987 Valvaeodinium spongiosum Below, 1987 Valvaeodinium spp. Valvaeodinium vermipellitum Below, 1987 Wallodinium laganum Feist-Burkhardt & Monteil, 1994 Wittnaudinium minutum Bucefalo Palliani & Riding, 1998

Sporomorphe:

Acanthotriletes varius Nilsson, 1958 Araucariacites australis Cookson, 1947

Bisaccate pollen

Callialasporites dampieri (Balme 1957) Sukh Dev, 1961 Callialasporites microvelatus Schulz, 1966 Callialasporites turbatus (Balme, 1957) Schulz, 1967 Cerebropollenites mesozoicus (Couper, 1958) Nilsson, 1958 Chasmatosporites apertus (Rogalska, 1954) Nilsson, 1958 Chasmatosporites hians Nilsson, 1958

Cibotiumspora jurienensis (Balme 1957) Filatoff, 1975 Classopollis spp. (tetrads) Classopollis torosus (Reissinger 1950) Couper, 1958 Conbaculatisporites spp. Concavisporites spp. Deltoidospora spp. Densosporites spp. Dictyophyllidites spp. Duplexisporites problematicus (Couper, 1958) Playford & Dettmann, 1965 Eucommiidites spp. Exesipollenites scabratus (Couper 1958) Pocock, 1970 Exesipollenites tumulus Balme, 1957 Foveosporites spp. Heliosporites altmarkensis (tetrads) Heliosporites altmarkensis Schulz, 1962 Ischyosporites variegatus (Couper, 1958) Schulz, 1967 Kekryphalospora distincta Fenton & Riding, 1988 Leptolepidites spp. Lycopodiumsporites austroclavatidites (Cookson, 1953) Potonie, 1956 Lycopodiumsporites clavatoides (Couper, 1958) Tralau, 1968 Lycopodiumsporites reticulumsporites (Rouse, 1959) Dettmann, 1963 Lycopodiumsporites semimuris (Danze-Corsin & Laveine, 1963) Reiser & Williams, 1969 Matonisporites spp. Obtusisporis juncta (Kara-Murza, 1956) Pocock, 1970 Osmundacidites wellmanii Couper, 1953 Perinopollenites elatoides Couper, 1958 Quadraeculina anellaeformis Malyavkina, 1949 Ricciisporites spp. Staplinisporites caminus (Balme, 1957) Pocock, 1962 Stereisporites spp. Todisporites minor Couper, 1958 Trilete spores indet. Trilites rariverrucatus (Danze-Corsin & Laveine, 1963) Tralau, 1968 Uvaesporites argenteaeformis (Bolchovitina, 1953) Schulz, 1967

Acritarchen:

Acritarch indet. 1 (bean-shaped) *Fromea tornatilis* (Drugg, 1978) Lentin & Williams, 1981 *Hystrichosphaeridium? deflandrei* Valensi, 1947 *Kalyptea halosa* Filatoff, 1974 *Leiosphaeridia* spp. *Lunulidia* sp. in Gocht 1964 *Micrhystridium/Baltisphaeridium* spp.

Grünalgen:

Botryococcus spp. Pediastrum? spp. Zygospore? sp.1

<u>ZES</u>

Grünalgen (Prasinophyten):

Cymatiosphaera spp.

Pterospermopsis spp. Tasmanites spp.

Foraminiferentapeten

Foraminiferal lining biserial Foraminiferal lining spiral Foraminiferal lining uniserial

Palynomorphen-Kategorien in StrataBugs

- AC = Acritarchs
- AL = Algae
- ALBO = Botryococcus and Pediastrum
- ALZY = Zygnematophyceae
- ALPR = Prasinophyceae
- DA = Dinocyst abundance
- DC = Dinoflagellate cysts
- FT = Foraminiferal test linings
- FU = Fungi
- MP = Miscellaneous palynomorphs
- SP = Spores and Pollen

Anmerkungen zur supragenerischen Taxonomie

hier Familie Phallocystaceae:

- = Familie Heterocapsaceae in Feist-Burkhardt & Pross (2010)
- = "Parvocysta-suite von Riding (1984)
- = "Susadinium group" von Wille (1982)
- = Tribus Phallocysteae von Below (1987)

hier Familie Valvaeodiniaceae:

= Familie Comparodiniaceae in Fensome et al. (1993)



Anhang 4: Verteilung der prozentualen Anteile der Dinoflagellaten zystengruppen an der Dinoflagellatenzysten-Vergesellschaftung in der Forschungsbohrung Unteres Bleichtal

Unteres Bleichtal FBB-16 S. Feist-Burkhardt Chart date: 20.11.2017 Well Code: UNTERES_BLEICHTAL Interval: 100 m – 125 m Operator: LGRB Freiburg Location: 48.205873 7.790108													
Scale	Scale Palynology Dinocyst groups												
	Evansia E & & b & & &												
				Kallosphaeridiu	Mancodiniace	Nannoceratopsiace	Oth	Phallocystace	Scriniocassiace	Valvaeodiniace			
Measured depth (m)	Samples (m)		Evansia (% dinocyst groups)	Kallosphaeridium (% dinocyst groups)	Mancodiniaceae (% dinocyst groups)	Nannoceratopsiaceae (% dinocyst groups)	Other (% dinocyst groups)	Phallocystaceae (% dinocyst groups)	Scriniocassiaceae (% dinocyst groups)	Valvaeodiniaceae (% dinocyst groups)			
- 100.0 - - - 102.5	- 102.22 - 102.31m CO Palvno 0	SFB	46	2 '10	0 100	18 +	100	100	100	8+			
102.5		050											
- 105.0	- 104.95 - 105.00m CO Palyno 3	SFB	48	4	2	26 + 7	4	10+?	9+	4			
- 107.5 	- 108.95 - 109.00m CO Palyno 7	SFB	14	4	4	24	4	21+?	19	10 +			
- 110.0 E	– 110.95 - 111.05m CO Palyno 9	SFB	11	4	8	33 +	7	11 +	16	10+?			
- 112.5 -	– 112.95 - 113.00m CO Palyno 11 ——	SFB	4	+	9	19 +	2	36 + ?	5+	25 +			
- 115.0	– 114.75 - 114.80m CO Palyno 13 ——	SFB	2	3	14	26 + ?	4	19+?	8	24 +			
117.5	- 117.00m CO Palyno 15	SFB	4	7	6	32	8	25 +	7	11 +			
120.0	– 119.00 - 119.05m CO Palyno 17 —— – 120.95 - 121.00m CO Palyno 19 ——	SFB SFB	11 5	10 3	14	31+	5+ 6	12 +	6 5 +	11 + 16			
122.5	– 122.85 - 122.95m CO Palyno 21 ——	SFB	4	2	17	35 +	6	15+?	5+	16 + ?			

Anhang 5: Schichtenverzeichnis der Bohrung GWM 1T/07, Schutzgebietsausweisung Kenzingen

GWM 1T/07, WSG Herbolzheimer Pfad; BO7712/1349

Koordinaten: Ost: 409443, Nord: 5339531, 174,42 m NN

Aufnahme: Dr. M. Franz, A. Koch, 04.05.2007

Anthropogene Aufschüttung (qhy)

0 – 0,50 m Schluff, feinsandig, tonig, sehr schwach feinkiesig, braun, durchwurzelt, nach unten abnehmend humos, einzelne Ziegelreste

Auensediment (qhTa)

- 2,30 m Schluff, tonig, wechselnd stark feinsandig, ab 1,75 m fein- bis mittelkiesig, rostbraun bis dunkelgrau,
 z.T. schwarz gefleckt
- 3,70 m Sand, schluffig, feinkiesig, grau, Holzreste

Neuenburg-Formation (qNE)

- 13,50 m Kies aller Körnungen (alpines Geröllspektrum), sandig bis stark sandig, schwach schluffig, grau bis graubraun
- 14,85 m Grobsand, mittelsandig, stark kiesig (deutlicher Schwarzwald-Anteil), ab 14,70 m mit Schluff-Linsen

Breisgau-Formation (qBR)

- 15,45 m Ton, schluffig, lagenweise wechselnd kiesig, helloliv, Gerölle z.T. stark zersetzt (vorwiegend alpin)
- 15,80 m Grobsand, schwach feinkiesig (Schwarzwaldmaterial), hellbraun
- 16,00 m Grobsand, stark fein- bis mittelkiesig (Schwarzwaldmaterial), hellbraun
- 16,30 m Mittel- bis Grobkies, sandig, schwach schluffig, hellbraun bis rötlichbraun
- 18,00 m Kies (vorwiegend Schwarzwald-Material, deutliche alpine Komponenten), stark sandig, schwach schluffig;
 17,25–17,40 m Feinsand-Lage
- 18,10 m Schluff, feinsandig, hellbeige bis blassoliv
- 18,30 m Schluff, stark feinsandig, schwach mittelsandig bis feinkiesig, hellbraun
- 20,00 m Sand, stark kiesig, ab 19,50 m Kies, stark sandig, schluffig, rötlichbraun (Schwarzwald-Material)

Iffezheim-Formation (qIF)

Junges Seesediment (qse)

- 20,30 m Schluff, tonig, oliv, ungeschichtet, einzelne Gerölle bis 1 cm Ø
- 21,40 m Schluff, tonig feinglimmerig, geschichtet, hell blaugrau;
- Mikroprobe bei 20,60 m: Candona neglecta Sars
 - 22,30 m Schluff, tonig, feinglimmerig, geschichtet, schmutzig graubraun, Bithynia leachii (Sheppard)
- Mikroprobe bei 22,25 m: Samen, Characeen, *Candona neglecta* Sars, *Candona weltneri obtusa* Müller, *Cyclocypris ovum* (Jurine) 23,75 m Schluff, tonig feinglimmerig, geschichtet, hell blaugrau;
- Mikroprobe bei 22,90 m: Pflanzenreste, rote Tonstein-Bröckchen
 - 24,00 m Torf, stark zersetzt, schwarzbraun, obere 5 cm durchsetzt mit hellgrauen Feinsandlinsen bzw. lagen, zahlreiche Pflanzenreste
 - 25,25 m Schluff, tonig, feinglimmerig, geschichtet, schmutzig graubraun, ab 25,15 m lagenweise hell grüngrau, Süßwassergastropoden
 - 27,90 m Schluff, tonig, feinglimmerig, geschichtet, hell grüngrau
- Mikroprobe bei 25,30 m: Candona neglecta Sars, Fein- bis Grobsand (Schwarzwaldmaterial),
- Mikroprobe bei 27,00 m: Sand wie zuvor, Brauneisen, vereinzelt Holzkohle

Pleistozänes Schwemmsediment (qpz, Schwemmlöss)

 – 36,00 m Schluff, tonig, hell gelbbraun, deutliche Verbraunungen bei 29,8–29,9 m und 33,4–33,5 m, einzelne Lösskindl, Landschnecken

Mikroprobe 35–36 m: Pupa muscorum, "Clausilia" sp., Succinea oblonga, Vallonia costata, Heliciden

