



# Ein Referenzprofil des Keupers im Kraichgau – zusammengesetzt aus mehreren Kernbohrungen auf Blatt 6718 Wiesloch (Baden-Württemberg)

ANDREAS ETZOLD & MATTHIAS FRANZ

Keuper, Kernbohrungen, Referenzprofil, Lithostratigraphie, Kraichgau, Langenbrückener Senke, Stromberg, Oberrheingraben, Baden-Württemberg, TK 25: 6717, 6718, 6719, 6817, 6818, 6819

## Kurzfassung

Es wird ein detailliertes lithostratigraphisches Profil durch den gesamten Keuper im Kraichgau (Langenbrückener Senke, TK 25: Bl. 6718 Wiesloch) vorgestellt, das aus vier sich überlappenden Kernbohrungen mit Teufen von 100–126 m zusammengesetzt ist. Zusätzlich werden im stratigraphischen Niveau der Lettenkeuper- und Gipskeuper-Formation zwei Deponiebohrungen untersucht. In diesen Flachbohrungen sind bis zum tiefliegenden Gipsspiegel in Teufen von 56–124 m die Sulfatführenden Horizonte ausgelaugt und die Mächtigkeiten z. T. reduziert. Das Referenzprofil wird deshalb mit dem Gamma-Ray-Log der intakten Schichtenfolge in der Thermalwasserbohrung Bad Mingolsheim/Lambertusquelle korreliert. Auf weitere Tiefbohrungen im benachbarten Oberrheingraben und auf die Ausbildung des Keupers im Stromberg wird Bezug genommen. Die Stratigraphie des obersten Mittelkeupers und des Oberkeupers wird revidiert.

[A reference section through the Keuper (Upper Triassic) in the Kraichgau. combined from 4 core-drillings, situated on sheet 6718 Wiesloch (Baden-Württemberg)]

## Abstract

A detailed lithostratigraphic section through the entire Keuper (= Upper Triassic) in the Kraichgau area (Langenbrücken basin, TK 25, Bl. 6718 Wiesloch) is presented. It is composed of 4 overlapping core drillings (100 to 126 m deep). Two cores drilled in the search for a waste disposal site are additionally

investigated in the stratigraphic level of the Lettenkeuper- and Gipskeuper-formations. The sulfate bearing horizons of these drillings are – due to a deep Gypsum surface – leached and their thicknesses are reduced. The reference section therefore is correlated with the gamma-ray-log of the undisturbed section of the thermal water well Bad Mingolsheim-Lambertusquelle. We compare our results to further deep drillings in the neighbouring Upper Rhine-Graben and to the development of the Keuper in the Stromberg area. The stratigraphy of the uppermost Middle Keuper and the Upper Keuper is revised.

## Verzeichnis der Abkürzungen

Bl	Blatt der TK 25
Et	Endteufe
GAR	Gipsauslaugungsresiduen
GGA	Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (Hannover)
Gl	Glimmer
GR-Log	Bohrlochmessung der natürlichen Gammastrahlung
Fe-Mn-KV	Eisen-Mangan-Hydroxide Kernverlust
LGRB	Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau
NaCl-Marken	Steinsalzkrystallmarken
R-	Bohrlochmessung des spezifischen Widerstands
SMNS	Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart
SS	Schichtung
u. d. B.	unter dem Binokular
-XX	-Kristalle
∅	Durchmesser, Größe

Stratigraphische Kürzel siehe Kurzprofile in Kap. 5.2  
Kürzel der Bohrungen siehe Tab. 2 in Kap. 5.1

## 1 Einleitung

Auf Anregung der Keuper-AG in der Deutschen Perm-Trias-Subkommission für Stratigraphie sollte ein vollständiges, gekerntes Bohrprofil des gesamten Keupers im Kraichgau erstellt werden. Mit der

LGRB-Informationen	17	S. 25 – 124	7 Abb.	5 Tab.	Freiburg i. Br. Dezember 2005
--------------------	----	-------------	--------	--------	----------------------------------

Organisation und Durchführung dieser Bohrung wurde 1993 Dr. FRIEDRICH WURM beauftragt, der aber während der vorbereitenden Arbeiten sehr schwer erkrankte und im Sommer 1994 verstarb. Die Weiterführung des Projekts übernahmen die Verfasser.

Da die Finanzierung einer ca. 400 m tiefen Kernbohrung nicht möglich war, wurde beschlossen, an vier möglichst benachbarten Standorten jeweils 100–125 m tiefe Bohrungen niederzubringen, deren Schichtenfolgen sich jeweils überlappen sollten. Ermöglicht wurde das Projekt durch die Bodenprüfstelle beim RP Karlsruhe, welche die Bohrungen durchführte. Nach der Grobansprache der Schichtenfolge an der Bohrstelle erfolgte die genauere Bearbeitung im LGRB in Freiburg. Neben der lithologischen Ansprache wurden ausgewählte Horizonte – z. T. im Rahmen von Doktorarbeiten – geochemisch, mikropaläontologisch, palynologisch, sequenzstratigraphisch und tonmineralogisch untersucht. Die Bohrkernkerne werden im Kernlager des LGRB in Freiburg aufbewahrt.

In allen vier Bohrungen wurden bohrlochgeophysikalische Untersuchungen (Log-Suiten) durchgeführt. Die Messungen erfolgten durch das Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (Hannover) unter Leitung von Dr. T. WONIK. In der Bohrung Rauenberg-1 wurde ein GR-Log durch die Fa. Händel (Ubstadt-Weiher) gefahren. Die Sporomorphen wurden von Dr. C. HEUNISCH (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover) untersucht, eine Veröffentlichung der Ergebnisse ist in Vorbereitung. Die in den Bohrungen aufgefundenen Vertebratenreste wurden von Dr. R. BÖTTCHER, die Conchostraken von Dr. M. WARTH (beide Staatl. Mus. f. Naturkunde Stuttgart) bestimmt. Geochemische Untersuchungen wurden im Labor des LGRB unter Leitung von Dr. M. MARTIN vorgenommen.

## 2 Geologische Lage

Zwischen den Kristallinmassiven des Odenwalds im N und des Schwarzwalds im S sind in der Kraichgau-Mulde die Schichten des Deckgebirges bis zum Mittelkeuper von der Abtragung verschont geblieben. Nach E erweitert sich diese tektonische Struktur in der Strombergmulde und der Heilbronner Mulde. Im W wird sie durch den Oberrheingraben abgeschnitten und findet jenseits des Grabens eine Entsprechung in der Zabern-Senke. Unmittelbar am

Grabenrand ist die Mulde in der Langenbrückener Senke durch rheinisch streichende Staffelbrüche nochmals versetzt, so dass die Schichtenfolge dort bis in den Mitteljura reicht. Innerhalb dieses isolierten Vorkommens ist der gesamte Keuper oberflächennah zugänglich. Übertage finden sich vollständige Keuperausstriche rechtsrheinisch erst wieder östlich des Neckars im Schwäbisch-Fränkischen Wald sowie im Raum Stuttgart–Böblingen, linksrheinisch (abgesehen von den tektonisch zerstückelten Vorkommen der Zabern-Senke und einer kleinen Randscholle bei Albersweiler) erst wieder in Lothringen. Im Oberrheingraben ist der Keuper untertage von S nach N bis zum tertiären Erosionsrand SW Heidelberg durchgehend vorhanden, jedoch durch einige hundert Meter mächtige Quartär-, Tertiär- und Juraschichten verdeckt.

Der Kraichgau-Trog ist als Senkungsgebiet seit dem Jungpaläozoikum aktiv (BOIGK & SCHÖNEICH 1974). Während des Keupers verbindet er das Norddeutsche Becken über die Hessische Straße mit dem Nancy–Pirmasens-Trog und dem neu entstehenden Pariser Becken. Im N wird der Kraichgautrog durch die Rheinische Insel, im S durch einen Ausläufer des Burgundischen Sporns (Morvan–Vogesen-Hoch) begrenzt. Ingressionen aus der Neotethys erreichen den Kraichgau-Trog während dieser Zeit aus S bzw. SW über den Burgundischen Trog. Salzlager wie sie in der Gipskeuper-Formation sowohl im französischen als auch im norddeutschen Becken vorkommen, finden sich im Kraichgau wegen der geringeren Absenkung nur noch in Spuren. Im höheren Mittelkeuper verzahnen sich im Kraichgau die vindelizischen Sandsteine mit den Playasedimenten des Beckens. Bereits im oberen Stubensandstein, der etwa dem Unterrhät des norddeutschen Beckens entsprechen dürfte, lassen sich marine Einflüsse erkennen. Im Oberkeuper öffnen sich neben der wieder aktivierten Verbindung zur Tethys neue Wege über die Eifeler N–S-Zone und die Hessische Straße zum Nordmeer (BEUTLER & NITSCH 2005).

Als Verbindungsglied zwischen dem Nancy–Pirmasens-Trog bzw. dem Pariser Becken und dem Norddeutschen Becken, zwischen der episodisch randmarinen Fazies in Süddeutschland und der terrestrischen Fazies in Norddeutschland, aber auch zwischen den vindelizischen Sandfächern im Osten und der Sabkha- oder Playa-Fazies im Beckennern kommt dem Keuper im Kraichgau eine Schlüsselstellung zu. Ein durchgehendes Referenzprofil an dieser Stelle ist deshalb von überregionaler Bedeutung.



Für die Festlegung der Bohrpunkte wurden in der von zahlreichen Verwerfungen durchzogenen Langenbrückener Senke möglichst tektonisch ruhige Bereiche an deren NE-Rand ausgesucht. Tatsächlich wurden in den vier Flachbohrungen mit Endteufen zwischen 100 und 126 m keine größeren Verwerfungen bzw. Schichtausfälle angetroffen. Als nachteilig erwies sich jedoch die intensive Gipsauslaugung, die 56 m (Rauenberg-2) bis 124 m (Malschenberg-1) unter Gelände (= 94–78 m NN) reicht und die für die starke Auflockerung und Verwitterung des Gebirges mitverantwortlich ist. Bereits BENECKE & COHEN (1881: 439) war das Fehlen von Gips aufgefallen: „In den verstürzten Schollen des von zahlreichen Spalten durchzogenen Hügellandes... erfolgte eine vollständige Auswaschung“.

Darunter hat die Qualität der Bohrkerns z. T. stark gelitten. Das von zahllosen Kalzitrisen (primär Fasergips) durchsetzte Gestein zerfällt rasch und die Sulfat-führenden Horizonte sind nur anhand ihrer Auslaugungsresiduen und -brekzien (THÜRACH, 1889, bezeichnet sie als „Quarzbreccien“) zu erkennen. Die Mächtigkeiten sind entsprechend reduziert und die geophysikalischen Logs stark verändert. Insbesondere die Sulfathorizonte, die bei der Log-Korrelation der Tiefbohrungen das stratigraphische Gerüst bilden (LUTZ & ETZOLD 2003), sind kaum zu identifizieren. Um dennoch eine Vorstellung der intakten Schichtenfolge zu geben, wird das aus den Flachbohrungen zusammengesetzte Referenzprofil mit dem GR-Log der Thermalwasser-Tiefbohrung Mingolsheim/Lambertusquelle (s. Abb. 1) verglichen.

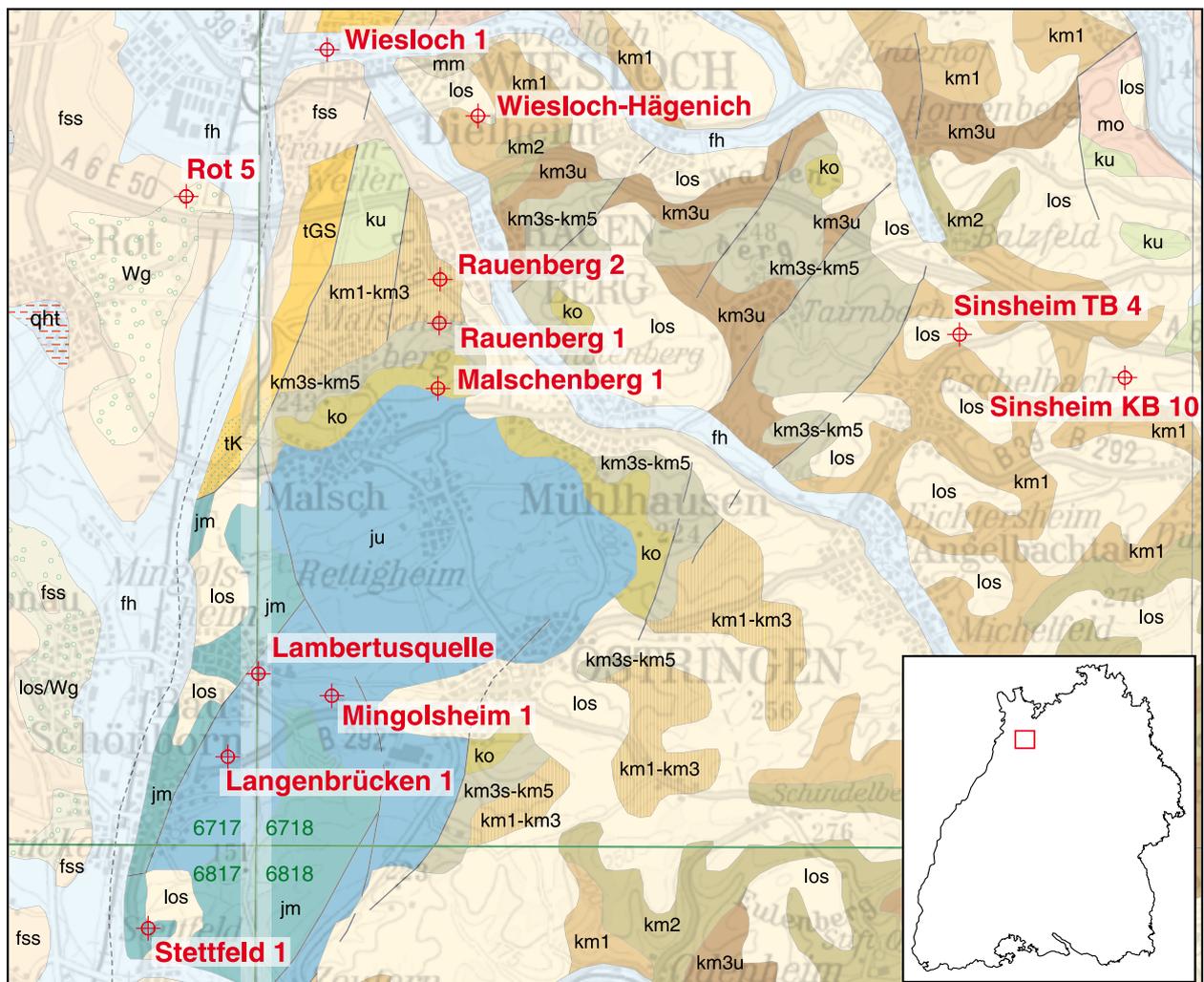


Abb. 1: Lageplan

Fig. 1: Location map

### 3 Erforschung des Keupers im Kraichgau

Eine erste Beschreibung des Mittelkeupers und der „Bonebed-Gruppe“ in der „Juraversenkung bei Langenbrücken“ gaben DEFFNER & FRAAS (1859). In der „Geognostischen Beschreibung der Umgegend von Heidelberg“ wurde die Geologie des Kraichgaus von BENECKE & COHEN (1881) näher beschrieben. THÜRACH (1888/1889, 1901) untersuchte in seinen grundlegenden Studien über den Keuper Süddeutschlands auch mehrere Profile im Kraichgau, im Stromberg und in Lothringen. Die Bearbeitung der GK 25-Blätter im Kraichgau (THÜRACH 1896, 1902, 1904, 1907) bildete die Grundlage für die Gliederung des Keupers in Baden. RÜGER (1922 a, b) befasste sich erneut mit den „Rhät-Lias-Ablagerungen in der Langenbrücker Senke“ und beobachtete an der Grenze zwischen dem „Bonebedsandstein“ und dem Rhätton eine ausgeprägte Diskordanzfläche.

Über erste Ergebnisse der in den 30er Jahren begonnenen Untersuchungsbohrungen auf Kohlenwasserstoffe im Oberrheingraben berichtete WIRTH (1951, 1962). LAEMMLEN (1954) veröffentlichte in seiner Dissertation über den höheren Mittelkeuper und Oberkeuper im nördlichen Baden-Württemberg ein Schichtenverzeichnis der weitgehend gekernten Erdölbohrung „Itag-Baden-6“ (Bl. 6817 Bruchsal) und die elektrischen Logs dieser Bohrung und der Bohrung Rot 2 (Bl. 6717 Waghäusel) sowie ein kombiniertes Profil vom Stromberg. HETTICH (1974) gab ein ungestörtes Oberkeuper–Unterjura-Profil von Mingolsheim wieder. Ein neues stratigraphisches Konzept, das im Wesentlichen auf quasi isochronen Leitbänken beruht, hat BRENNER (1973, 1978), dessen Profilaufnahmen bis in den Stromberg reichen, für den höheren Mittelkeuper entworfen. Obwohl ihm im Kraichgau selbst keine Profile zur Verfügung standen, seien seine Untersuchungen hier erwähnt, da spätere Arbeiten (z. B. NAGEL 1990, GWINNER 1980, BRENNER & VILLINGER 1981) darauf aufbauen und seine Ideen in der „Geologie von Baden-Württemberg“ (GEYER & GWINNER 1986) Eingang fanden. Die regionale Geologie des Kraichgaus behandelten SCHWEIZER & KRAATZ (1982). NAGEL (1990) hat im Rahmen seiner Dissertation über den höheren Mittelkeuper Südwestdeutschlands auch Aufschlüsse im Kraichgau bearbeitet und diese mit Profilen in Lothringen verknüpft. In seiner umfassenden Arbeit über die Lehrberg-Schichten konnte SEEGIS (1997) die stratigraphisch unklaren Verhältnisse im Stromberg und Kraichgau richtig stellen und die Genese

der Lehrbergbänke deuten. Übersichtsdarstellungen zur Beckenentwicklung und Paläogeographie im Keuper finden sich bei BOIGK & SCHÖNEICH (1974), SCHRÖDER (1982: Abb. 4), ZIEGLER (1990) und BEUTLER & NITSCH (2005). Auf weitere Keuperarbeiten, die den Kraichgau berühren, wird im Text eingegangen.

Neuere Untersuchungen, die bereits direkt oder indirekt Bezug auf die Forschungsbohrungen nehmen, veröffentlichten HORNING (1999) und HORNING & AIGNER (1999, 2002) über die Alluvialebene der Stubensandstein-Formation, REINHARDT (2000) und REINHARDT & RICKEN (2000) sowie HAMBACH et al. (1999) über geochemische Daten der Steinmergelkeuper-Fazies und daraus abzuleitende Klimazyklen und KEMPF et al. (2002) über Variationen von Sedimentations- und Denudationsraten im oberen Mittelkeuper und ihre Steuerung durch das Klima. Mit Hilfe des Kraichgau-Referenzprofils haben LUTZ & ETZOLD (2003) die alten geophysikalischen Logs einer Reihe von Erdölbohrungen im Oberrheingraben erstmals stratigraphisch detailliert gegliedert und ein N–S-Profil des Keupers im Oberrheingraben erstellt. Es sei hier darauf hingewiesen, dass in allen diesen Arbeiten die Revision der Stratigraphie des höheren Keupers, wie sie im Folgenden erläutert wird, noch nicht berücksichtigt ist.

### 4 Neueinstufung der Sandsteinhorizonte im höheren Mittel- und Oberkeuper

Ein seit LANG (1909) existierender Streit über die stratigraphische Verknüpfung von Stubensandstein, Knollenmergel und Rhätkeuper zwischen Kraichgau, Stromberg und Württemberg schien mit der Arbeit LAEMMLENS (1954) beigelegt zu sein. Die Forschungsbohrung Malschenberg-1, die erstmals ein zusammenhängendes, detailliertes Profil durch die Rhätkeuper- und Stubensandstein-Formation im Kraichgau lieferte und die Ergebnisse einer Log-Korrelation im Keuper des Oberrheingrabens (LUTZ & ETZOLD 2003) zeigten jedoch, dass auch die Gliederung LAEMMLENS Fragen offen lässt. Dies führte schließlich zu einer Revision der Stratigraphie im Kraichgau, auf die hier im Vorgriff auf Kap. 6.8 und 6.9 eingegangen wird.

THÜRACH (1896, 1902, 1904, 1907) hat die Ausläufer des vindelizischen Sandsteinkeupers im Kraichgau mit S1 bis S5 beziffert. Darüber folgt seiner Ansicht nach der „Knollenmergel“, den DEFFNER &



FRAAS (1859) erstmals im Kraichgau definiert hat, und der Bonebed- oder Rhätsandstein (heute: Malschenberg-Sandstein). Unstrittig ist, dass der S1 einem Ausläufer des Kieselsandsteins, der S2 dem 1. Stubensandstein (s1) und der S3 über dem Ochsenbach-Horizont dem 2. Stubensandstein (s2), genauer dem Stubensandstein 2.1 (s2.1) entspricht. Die Einstufung der darüber folgenden Sandsteinhorizonte und insbesondere die des „Rhätsandsteins“ hat jedoch z. T. heftige Diskussionen ausgelöst und sich mehrfach geändert (Tab. 1).

Bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde der „Bonebed-Sandstein“ im Kraichgau als Äquivalent des Nürtinger bzw. Tübinger Rhätsandsteins betrachtet (O. FRAAS 1858, DEFFNER & FRAAS 1859, PAULUS & BACH 1865, E. FRAAS 1903, THÜRACH 1888/89, 1901, 1902, 1904) und mit dem feinkörnigen „Rhätsandstein“ im Stromberg aufgrund lithologischer Ähnlichkeiten und des Vorkommens von rhätischen Pflanzenfossilien und Muscheln („*Anoplophora postera*“) gleichgesetzt. LANG (1909: 130) glaubte dagegen, „dass wir in dem vermeintlichen Rätsandstein (Pseudorät des Strombergs) nichts anderes als die oberste Abteilung des Stubensandsteins vor uns haben“. STETTNER (1914: 13) betrachtet den „gelben Sandstein“ in den Löwensteiner Bergen (= 4. Stubensandstein) und im Stromberg als fragliches Rhät und korreliert diesen wieder mit dem „Rhätsandstein“ im Kraichgau. Der „Knollenmergel“ (DEFFNER & FRAAS 1859, THÜRACH 1902, 1904) im Liegenden ist seiner Meinung nach wahrscheinlich nicht mit dem schwäbischen Knollenmergel gleich zu setzen, wie er von O. FRAAS (1865) und QUENSTEDT (1874) definiert wurde. LANG (1919) korreliert wie zuvor den feinkörnigen „Rätsandstein“ im Kraichgau mit dem schwäbischen Rhätsandstein und lehnt eine Gleichsetzung mit dem 4. Stubensandstein wegen der lithologischen Unterschiede ab. Die in beiden Bildungen vorkommende Muschel *Unionites posterus* lässt LANG (1919: 204) als stratigraphisches Argument nicht gelten, „da diese – dazu noch schlecht erhaltenen – Bivalven als Leitfossilien nicht in Betracht kommen“. Er schließt mit der Frage: selbst wenn „die Parallelisierung von STETTNERs Pseudorät (im Stromberg) mit dem Rät bei Wiesloch richtig wäre, wohin wären dann die echten Knollenmergel und das echte Rät bei Wiesloch verschwunden?“ STETTNER (1921) dagegen bleibt bei seiner Hypothese von 1914. Er macht sich jedoch Gedanken über das Fehlen des Knollenmergels im Hangenden des Malschenberg-Sandsteins und überlegt, ob an der Burg Rothenberg (1,7 km ENE MAL-1) (vgl. THÜRACH 1889: 67, LANG 1919: 206 und RÜGER 1922a: 10)

„der Lias nicht auf den Knollenmergeln herabgerutscht ist und diese verdeckt“ haben könnte. Um dennoch zu einer Lösung zu kommen, korreliert er den schwäbischen Knollenmergel mit den Oberrhät-Tonen, die in Frankreich rote Farbtöne annehmen (Marne rouge de Levallois). Dieser Auffassung schließen sich später VOLLRATH (1928, 1929) und FRANK (1930a, 1936, 1937) an. Aber schon JÜNGST (1929: 56 ff.) bezweifelt diese Korrelation. Da der schwäbische Knollenmergel unter der marinen Rhät-Transgression (heute: Mittelrhät) liege, könne er nicht mit Oberrhät-Sedimenten zeitgleich sein. Er hält jedoch eine Verknüpfung des marinen Unterrhäs von Norddeutschland mit Teilen des Malschenberg-Sandsteins und mit dem „Knollenmergel“ im Kraichgau für denkbar.

LAEMMLEN (1954) verbindet wie schon LANG (1909, 1919) den „Knollenmergel“ im Kraichgau mit dem Knollenmergel in Schwaben. Den Bonebed- oder Rätsandstein im Kraichgau (Malschenberg-Sandstein) untergliedert er wie bereits JÜNGST (1929) in einen „Unter- und Mittelrätsandstein“. Die Bildung des „Unterrätsandsteins“ sollte in die Zeit des schwäbischen Knollenmergels, die des „Mittelrätsandsteins“ in eine Schichtlücke zwischen dem Schwäbischen Knollenmergel und dem Rhätsandstein (Tübingen-Sandstein) fallen. Darüber folgen das marine Rhät mit dem Rhätsandstein in Schwaben und dem Rhätton (Contortaton) im Kraichgau. Die tieferen Sandsteine S4 und S5 der alten badischen Gliederung betrachtet LAEMMLEN dementsprechend als Ausläufer des 3. und 4. Stubensandsteins. Diese Gliederung hat sich in der Folgezeit durchgesetzt und bis in die jüngste Vergangenheit Bestand gehabt (SCHWEIZER & KRAATZ 1982, GEYER & GWINNER 1986, 1991, NAGEL 1990).

Die Korrelation LAEMMLENS wirft jedoch etliche Fragen auf, die Zweifel an der Richtigkeit der stratigraphischen Gliederung im Kraichgau aufkommen lassen:

- 1) Die lithologische Ähnlichkeit des Malschenberg-Sandsteins mit dem feinkörnigen unteren Abschnitt des 4. Stubensandsteins im Stromberg, das Vorkommen rhätischer Pflanzenfossilien (SALFELD 1907, FRENTZEN 1922, 1932) und insbesondere das häufige und ausschließliche Auftreten von *Unionites posterus* (O. FRAAS 1858, RÜGER 1922a) in beiden Sandsteinen ist unverkennbar und lässt eher auf eine einheitliche Bildung schließen als auf zwei durch den Knollenmergel getrennte Sandsteine.

Tab. 1: Korrelationen im obersten Mittelkeuper und Rhatkeuper zwischen Kraichgau und Stromberg, bezogen auf die Gliederung im mittleren Württemberg seit THÜRACH (1902, 1904).  
 Table 1: Correlation of the uppermost Middle-Keuper and Rhaetkeuper between Kraichgau- and Stromberg area, referred to the subdivision in Wurttemberg (since THÜRACH 1902, 1904).

THÜRACH (1902, 1904)	STETTNER (1914, 1921)	VOLLRATH (1928) FRANK (1937)	LANG (1909/10, 1919)		LAEMMLEN (1954)		diese Arbeit, LGRB 2004, ETZOLD & SCHWEIZER 2005, LUTZ 2005							
			Kraichgau	Stromberg	Kraichgau	Stromberg	Kraichgau	Stromberg	Kraichgau	Stromberg	Mittel-Württemberg			
Kraichgau	Kraichgau/Stromberg	Kraichgau/Stromberg	Kraichgau	Stromberg	Kraichgau	Stromberg	Kraichgau	Stromberg	Kraichgau	Stromberg	Mittel-Württemberg	Kraichgau	Stromberg	Mittel-Württemberg
graue Schiefertone (kot)		Lias α Psilonotenschichten	Lias	erodiert	braunrote T.	erodiert	Trileteston	erodiert	Trileteston	erodiert	Trileteston	Contortaton	Contortaton	Trileteston
rhätischer Sandstein (≠ kos)	Rhätton	grauer Rhätton	X	X	schwarze Tone	erodiert	schwarze Tone	erodiert	schwarze Tone	erodiert	erodiert	Contortaton	Contortaton	Contortaton
Op. Keuper (Rhät?)	Op. Keuper (Rhät?)				U.-M.		U.-M.		U.-M.			Hiatus	Hiatus	Hiatus
Op. Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				O. Knollenm.		O. Knollenm.		O. Knollenm.			Knollenmergel	Knollenmergel	Knollenmergel
Obere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				bad. S5 (≠ s4)	Zone des Stubensandst.	bad. S5 (≠ s4)	4. Stubensandstein	bad. S5 (≠ s4)	4. Stubensandstein	4. Stubensandst.	Malschenberg-Söst.	Malschenberg-Söst.	4. Stubensandst.
Mittlere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				U. Knollenm.	Zone	U. Knollenm.	Unt. Knollenm.	U. Knollenm.	Unt. Knollenm.	Unt. Knollenm.	Hangendletten 3	Hangendletten 3	3. Stubensandstein
Untere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				bad. S4 (≠ s3)	bunter	bad. S4 (≠ s3)	3. Stubensandst.	bad. S4 (≠ s3)	3. Stubensandst.	3. Stubensandst.	Hangendletten 2	Hangendletten 2	3. Stubensandstein
Obere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				Staubensandst. i.e.S.	Mergel	Staubensandst. i.e.S.	Kaikkonglomerat	Staubensandst. i.e.S.	Kaikkonglomerat	Kaikkonglomerat	Krustenkaik 2	Krustenkaik 2	2. Stubensandstein
Mittlere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				oolith. Breccienkalke		oolith. Breccienkalke	2. Stubensandstein-Fazies	oolith. Breccienkalke	2. Stubensandstein-Fazies	2. Stubensandstein-Fazies	Hangendletten 2	Hangendletten 2	2. Stubensandstein
Untere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				bunte Mergel mit Breccien- und Kiesel-sandsteinen		bunte Mergel mit Breccien- und Kiesel-sandsteinen	Horizont	bunte Mergel mit Breccien- und Kiesel-sandsteinen	Horizont	Horizont	Hangendletten 2	Hangendletten 2	2. Stubensandstein
Obere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				ool. Bank ω / Ochsenbachsch.	Ochsenbachsch.	ool. Bank ω / Ochsenbachsch.	Horizont	ool. Bank ω / Ochsenbachsch.	Horizont	Horizont	Hangendletten 2	Hangendletten 2	2. Stubensandstein
Mittlere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				Graue Mergel	Zone des Fleins	Graue Mergel	Horizont	Graue Mergel	Horizont	Horizont	Hangendletten 2	Hangendletten 2	2. Stubensandstein
Untere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				Bausandstein		Bausandstein	Horizont	Bausandstein	Horizont	Horizont	Hangendletten 2	Hangendletten 2	2. Stubensandstein
Obere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				Bausandstein		Bausandstein	Horizont	Bausandstein	Horizont	Horizont	Hangendletten 2	Hangendletten 2	2. Stubensandstein
Mittlere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				Bausandstein		Bausandstein	Horizont	Bausandstein	Horizont	Horizont	Hangendletten 2	Hangendletten 2	2. Stubensandstein
Untere Keuper	Op. Keuper (Rhät?)				Bausandstein		Bausandstein	Horizont	Bausandstein	Horizont	Horizont	Hangendletten 2	Hangendletten 2	2. Stubensandstein

Anmerkungen: Die älteren Gliederungen im Kraichgau und Stromberg wurden jeweils mit dem Profil in Mittel-Württemberg (rechte Spalte) in Bezug gesetzt. Die Autoren bis THÜRACH (1902, 1904) und LANG (1909/1910) setzten den 3. Hangendletten (km4t3) mit dem Knollenmergel und den Malschenberg-Sandstein (bzw. den 4. Stubensandstein im Stromberg) mit dem Rhättsandstein in Württemberg gleich. STETTNER (1914, 1921) korrelierte erstmals den Knollenmergel und den Rhättsandstein des Kraichgaus richtig mit dem 3. Hangendletten und dem gelben (Löwensteiner) Sandstein (4. Stubensandstein). Dieser Auffassung schlossen sich VOLLRATH (1928) und FRANK (1930a, 1936, 1937) an, jedoch mit der Konsequenz, den grauen Rhätton (Trileteston) und die Psilonotenschichten im Hangenden als Beckenfazies des schwäbischen Knollenmergels und des Rhättsandsteins zu betrachten. LAEMMLEN (1954) korrelierte THÜRACH'S S5 (bad. S5) mit dem 4. Stubensandstein und den (Oberen) Knollenmergel im Kraichgau mit dem Knollenmergel in Württemberg. Den Rhättsandstein (Malschenberg-Sandstein) betrachtete er als eine besondere Fazies, die im Kraichgau bereits einsetzte, als in Württemberg noch Knollenmergel abgelagert wurde, sich aber im Wesentlichen in der Schichtlücke vor Beginn der marinen Contorta-Schichten bildete.

Annotations: The older subdivisions in the Kraichgau and Stromberg area are now referred to the section in Middle-Wurttemberg (right column). Former authors up to THÜRACH (1902, 1904) and LANG (1909/1910) correlated the 3. Hangendletten (km4t3) with the Knollenmergel and the Malschenberg-Sandstein (resp. the 4. Stubensandstein in the Stromberg area) with the Rhättsandstein in Wurttemberg. Stettner (1914, 1921) was the first to correlate the Knollenmergel and the Rhättsandstein in the Kraichgau correctly with the 3. Hangendletten and the Gelber (Löwensteiner) Sandstein (= 4. Stubensandstein). VOLLRATH (1928) and FRANK (1930a, 1936, 1937) followed this opinion, but as the consequence they regarded the overlying Grauer Rhätton (Trileteston) and the Psilonotenschichten as basinal facies of the Swabian Knollenmergel and Rhättsandstein. LAEMMLEN (1954) correlated THÜRACH'S S5 (bad. S5) with the 4. Stubensandstein and the (Upper) Knollenmergel in the Kraichgau with the Knollenmergel in Wurttemberg. He regarded the Rhättsandstein (Malschenberg-Sandstein) as a special facies that started in the Kraichgau – essentially in the gap before the deposition of the marine contorta-beds – whereas in Wurttemberg the deposition of Knollenmergel continued.



- 2) Legt man die Gliederung LAEMMLENS (1954) zugrunde, würde sich die Mächtigkeit des Oberen Stubensandsteins von etwa 65 m in den Löwensteiner Bergen und > 60 m im Stromberg auf nur 12 m im Kraichgau (Bohrung MAL-1) verringern (vgl. GEYER & GWINNER 1991: Abb. 61). Die Mächtigkeit des „Unteren Knollenmergels“ oder Hangendletten 3 würde sich von 20–25 m (nach VOLLRATH 1929) oder > 30 m (nach ROCKENBAUCH 1987: 112) im Stromberg auf nur 6–7 m (THÜRACH 1989: 67) oder 4,4 m (MAL-1) im Kraichgau reduzieren (BRENNER 1973: 178 f.). Ein so starker Mächtigkeitsschwund ist durch das Ausdünnen der Sandsteinhorizonte allein nicht zu erklären. Man müsste zusätzlich für diese Zeit eine (relative) tektonische Hebung ausgerechnet im Beckentiefsten oder „eine lokal starke Absenkung“ im Stromberg annehmen (SCHWEIZER & KRAATZ 1982: 65).
- 3) Die Herkunft des „Rhätsandsteins“ im Kraichgau bliebe nach wie vor ungeklärt. Für eine Umlagerung aus variszischen Hochgebieten, z. B. Odenwald, Schwarzwald oder Vogesen, wie sie von RÜGER (1924), JÜNGST (1929: 37) und LAEMMLEN (1954: 29 ff.) erwogen wird, gibt es keinerlei Belege. Ebenso gibt es keine Hinweise für eine Verfrachtung der Sande vom östlichen Beckenrand zzt. des schwäbischen Knollenmergels. Die vindelizischen Sandsteine reichen in dieser Zeit nur bis in die Gegend von Ellwangen–Murrhardt.

Aus diesen Gründen korrelieren wir, wie bereits STETTNER (1914, 1919) und VOLLRATH (1928, 1929) den feinkörnigen, fossilführenden „Pseudorhätsandstein“ im Stromberg mit dem Malschenberg-Sandstein im Kraichgau und betrachten beide als brackisches bis lakustrines Äquivalent des 4. Stubensandsteins (vgl. auch LUTZ & ETZOLD 2003: Anm. S. 110, ETZOLD & SCHWEIZER 2005, LUTZ 2005). Der „Knollenmergel“ im Kraichgau entspricht damit nicht dem schwäbischen Knollenmergel, sondern dem „Unteren Knollenmergel“ oder 3. Hangendletten, wie bereits STETTNER (1919) andeutet (vgl. Tab. 1). Gleichzeitig sind aber die Folgerungen, die STETTNER (1919), VOLLRATH (1928, 1929) und FRANK (1930 a, 1936, 1937) daraus ziehen, dass nämlich der Knollenmergel und Rhätsandstein in Schwaben dem Oberrhätton (Trileteston) und den Pylonotenschichten im Kraichgau entsprechen sollen, aus (bio-) stratigraphischen Gründen abzulehnen (vgl. JÜNGST 1929).

Bleibt somit die Frage LANGS (1919: 206) zu klären, „wohin dann die echten Knollenmergel bei Wiesloch verschwunden wären?“ LUTZ & ETZOLD (2003: Abb. 5)

konnten nachweisen, dass die Keuper-Diskordanz D6 an der Basis des Contortatons S Karlsruhe an der N-Flanke des Burgundischen Sporns den Malschenberg-Sandstein und schließlich Teile des Hangendletten 3 abschneidet. Es ist deshalb anzunehmen, dass die gleiche Diskordanz im Kraichgau und möglicherweise auch schon im Stromberg bereits den Knollenmergel entfernt hat (ETZOLD & SCHWEIZER 2005, LUTZ 2005: Abb. 4.4–4.2). In diesem Zusammenhang ist die Diskordanzfläche RÜGERS (1922 a, b) im Dach des Malschenberg-Sandsteins von Bedeutung, die er folgendermaßen beschreibt: „Sie ist tief ausgekolkt und zwar sind es rinnen- und wannenartige Vertiefungen, welche bis zu 50 cm tief werden. Mit haarscharfer petrographischer Grenze folgen die Rhätschiefertone, welche mehr oder weniger discordant gegen die Rhätsandsteine abstoßen“. Auch die Feststellung von BENECKE (1877: 784) und THÜRACH (1889: 76), dass der Knollenmergel im Elsaß und in Lothringen zu fehlen scheint, stützt diese These. Man muss somit annehmen, dass zu Beginn der Mittelrhät-Transgression eine Erosionsphase stattgefunden hat, die im Kraichgau und Stromberg sowie in Frankreich die Knollenmergel-Formation (km5) und Teile des 4. Stubensandsteins entfernt hat, während in Schwaben diese Schichten erhalten blieben oder nur teilweise erodiert wurden.

## 5 Grunddaten der Forschungsbohrungen und Vergleichsprofile

### 5.1 Lage und Stammdaten

Die vier Forschungsbohrungen liegen auf Bl. 6718 Wiesloch, auf den Gemarkungen Malschenberg, Rauenberg und Wiesloch (Abb. 1). Sie wurden in den Jahren 1995–1999 durch die Bodenprüfstelle beim Regierungspräsidium Karlsruhe unter Aufsicht des Bohrmeisters H. HERTWECK abgeteuft. Nach der geologischen Aufnahme wurden die Bohrkerne im Kernlager des LGRB in Freiburg gelagert und für Forschungszwecke freigegeben. Die Probenahme für palynologische und geochemische Untersuchungen und die abschließende Bearbeitung der Bohrungen oblag A. ETZOLD.

Für Vergleichszwecke wurde der Unterkeuper in der Deponiebohrung Sinsheim-TB4 neu aufgenommen und das Profil der Deponiebohrung

Sinsheim-KB10 anhand des GR-Logs und der Fotodokumentation neu interpretiert. Von der Tiefbohrung Bad Mingolsheim/Lambertusquelle (SAUER 1977, 1978) stand uns etwa 4 km SW Malschen-

berg ein durchgehendes GR-Log zur Verfügung, das einen Vergleich der weitgehend ausgelaugten Sulfathorizonte in den Forschungsbohrungen mit einer intakten Schichtenfolge ermöglichte.

Tab. 2: Stammdaten der Forschungsbohrungen und Vergleichsbohrungen.

Table 2: Master data of the research wells and compared wells.

Name (Abkürzung) Betreiber	LGRB-Nr. Bl.-Name	R-Wert H-Wert	Ansatzhöhe (m NN)	ET (m)	Bohrzeit
<b>Forschungsbohrungen</b>					
Malschenberg-1 (MAL-1), LGRB	6718/294 Wiesloch	34 78 072,63 54 57 340,14	201,68	125,0	30.05.–23.06.1995
Rauenberg-1 (RAU-1), LGRB	6718/419 Wiesloch	34 78 090,09 54 58 194,15	194,36	126,0	18.11.–01.12.1996
Rauenberg-2 (RAU-1), LGRB	6718/193 Wiesloch	34 78 096,92 54 58 767,75	150,53	109,7	12.05.–11.06.1997
Wiesloch-Hägenich (WSL-H), LGRB	6718/468 Wiesloch	34 78 590,50 54 60 904,00	148,45	100,5	15.–30.11.1999
<b>Deponiebohrungen</b>					
Sinsheim-TB4 (TB4), Rhein-Neckar-Kreis	6718/362 Wiesloch	34 84 980 54 58 000	224,91	144,3	14.–29.11.1989
Sinsheim-KB10 (KB10), Rhein-Neckar-Kreis	6718/206 Wiesloch	34 86 990 54 57 480	225,03	190	Frühjahr 1991
<b>Thermalwasserbohrung</b>					
Bad Mingolsheim/ Lambertusquelle (LBQ), Gemeinde Bad Schönbronn	6718/385 Wiesloch	34 75 727 54 53 589	118	637	9.1.–20.04.1970
<b>Erdölbohrungen</b>					
Wiesloch-1 (WSL-1), BEW, WIAG	6718/194 Wiesloch	34 76 632 54 61 771	116	770,5	12.02.–26.03.1954
Rot-5 (ROT-5), Wintershall	6717/339 Waghäusel	34 75 868 54 59 745	107	737	05.–07.1953
Mingolsheim-1(MGM-1), BEW (ITAG), WIAG	6718/195 Wiesloch	34 76 690 54 53 305	127	537,7	12.11.–29.12.1954
Langenbrücken-1, (LGB-1), Wintershall	6717/333 Waghäusel	34 75 380 54 52 460	135	558	25.10.–24.11.1961
Stettfeld-1 (STF-1), WIAG, ITAG	6817/773 Bruchsal	34 74 310 54 50 280	121	579,5	11.1953–01.1954
Itag-Baden 6 (IB-6), ITAG/Celle	6817/365 Bruchsal	34 73 290 54 48 960	109	422,3	1942/43



## 5.2 Lithostratigraphische Kurzprofile

Die lithostratigraphischen Bezeichnungen richten sich nach dem derzeit gültigen „Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg“ (LGRB 2005). Die Teufen sind in m unter Ansatzpunkt angegeben.

### Bohrung Malschenberg-1 (MAL-1)

Geol. Aufnahme: A. ETZOLD, M. FRANZ, R. FELDHOFF,  
V. SCHWEIZER (1995)

Gipsspiegel bei 123,9 m Teufe

- 0– 1,90 Quartär (Anthropogene Aufschüttung  
und Fließerde)
- 14,50 Rhätkeuper-Formation (koR),  
Rhätton (kot): > 12,30 m
  - 8,20 Trileteston (kotT): > 6,30 m
  - 14,20 Contortaton (kotC): 6,00 m

— Schichtlücke infolge D6-Diskordanz —

- 117,65 Stubensandstein-(Löwenstein-)  
Formation (km4): 103,45 m
- 61,50 Oberer Stubensandstein (km4o): 47,3 m
  - 21,70 Malschenberg-  
Sandstein (MBS) (= s4): 7,50 m  
(früher „Rhätsandstein“)
  - 54,45 Hangendletten 3 (t3): 32,75 m  
(früher: „Knollenmergel“)
  - 61,50 3. Stubensandstein (s3): 7,05 m  
(THÜRACHS S5)
- 89,65 Mittlerer Stubensandstein (km4m): 28,15 m
  - 65,90 Hangendletten 2 (t2),  
inkl. Krustenkalk 2 (K2): 4,40 m
  - 66,35 Stubensandstein 2.3? (s2.3): 0,45 m  
(THÜRACHS S4)
  - 87,30 Zwischenletten 2.1–2.2  
(tz2.1–tz2.2): 20,95 m
  - 88,50 Stubensandstein 2.1 (s2.1): 1,20 m  
(THÜRACHS S3)
  - 89,65 Basisletten (BAL): 1,15 m
- 117,65 Unterer Stubensandstein (km4u): 28,00 m
  - 105,70 Rauenberg-Schichten (RM): 16,05 m
    - 93,20 Ochsenbach-Horizont (OH): 3,55 m
    - 105,70 Rauenberg-Mergel (RM1): 12,50 m
  - 117,65 Rote Basisletten (RBL),  
inkl. Stubensandstein s1.1: 11,95 m  
(THÜRACHS S2)
- 125,00 Bunte Mergel-(Weser-)Formation (km3),  
Obere Bunte Mergel (km3o): > 7,35 m

### Bohrung Rauenberg-1 (RAU-1)

Geol. Aufnahme: A. ETZOLD, M. FRANZ (Nov./Dez. 1996)

Gipsspiegel bei 111,0 m Teufe

- 0,25 Quartär (Anthropogene Aufschüttung)
- 27,10 Stubensandstein-(Löwenstein-)Formation (km4)
  - 27,10 Unterer Stubensandstein (km4u): > 26,85 m
    - 17,60 Rauenberg-Schichten (RM): > 15,25 m
    - 27,10 Rote Basisletten (RBL),  
inkl. Stubensandstein s1.1: 11,60 m
- 84,30 Bunte Mergel-(Weser-)Formation (km3): 57,20 m
  - 41,85 Obere Bunte Mergel  
(Mainhardt-Formation) (km3o): 14,75 m
  - 58,20 Mittlere Bunte Mergel (km3m): 16,35 m
  - 84,30 Untere Bunte Mergel  
(Steigerwald-Formation) (km3u): 26,10 m
    - 67,60 Lehrberg-Schichten (LE): 9,40 m
    - 82,35 Rote Wand (RO): 14,75 m
    - 84,30 BEAUMONT-Horizont (BMH): 1,95 m
- 95,60 Schilfsandstein-(Stuttgart-)Formation (km2): 11,30 m
  - 88,13 Dunkle Mergel (DM): 3,83 m
  - 95,60 Schilfsandstein (km2s): 7,47 m
    - 90,98 2. Schilfsandstein (km2s2): 2,85 m
    - 91,65 Gaildorf-Horizont (GaH): 0,67 m
    - 95,60 1. Schilfsandstein (km2s1): 3,95 m
- 126,00 Gipskeuper-(Grabfeld-)Formation (km1):
  - 126,00 Oberer Gipskeuper (km1o): > 30,40 m
    - 98,40 Obere Bunte Estherien-  
schichten (OBE): 2,80 m
    - 115,30 Graue Estherien-  
schichten (GES): 16,90 m
    - 126,00 Untere Bunte Estherien-  
schichten (UBE): > 10,70 m

### Bohrung Rauenberg-2 (RAU-2)

Geolog. Aufnahme: A. ETZOLD, M. FRANZ (Mai/Juni 1997)

Gipsspiegel bei 56,50 m Teufe

- 0,40 Quartär (Anthropogene Aufschüttung)
- 2,85 Schilfsandstein-Formation (km2): > 2,45 m
- 109,70 Gipskeuper-Formation (km1): > 106,85 m
  - 37,85 Oberer Gipskeuper (km1o): 35,00 m
    - 4,75 Obere Bunte Estherien-  
schichten (OBE): 1,90 m
    - 22,75 Graue Estherien-  
schichten (GES): 18,00 m
    - 37,85 Untere Bunte Estherien-  
schichten (UBE): 15,10 m
  - 86,80 Mittlerer Gipskeuper (km1m): 48,95 m
    - 85,90 Mittlerer Gipshorizont (MGH): 48,05 m
    - 86,80 Weinsberg-Horizont (WEH): 0,90 m
- 109,70 Unterer Gipskeuper (km1u),  
Dunkelrote Mergel (DRM): > 22,22 m

**Bohrung Wiesloch-Hägenich (WSL-H)**

Geolog. Aufnahme: A. ETZOLD, M. FRANZ (Dez. 1999/März 2000)  
Gips vollständig ausgelaugt!

- 2,50	Quartär (Anthropogene Aufschüttung)	
- 61,80	Gipskeuper-Formation (km1):	> 59,30 m
- 21,20	Mittlerer Gipskeuper (km1m):	> 18,70 m
- 20,50	Mittlerer Gipshorizont (MGH):	> 18,00 m
- 21,20	Weinsberg-Horizont (WEH):	0,70 m
- 61,80	Unterer Gipskeuper (km1u):	40,60 m
- 43,20	Dunkelrote Mergel (DRM):	22,00 m
- 54,45	Bochingen-Horizont (BH):	11,25 m
- 61,80	Grundgipsschichten (GI):	7,35 m
- 95,75	Lettenkeuper-Formation (kuL):	33,95 m
- 77,90	Oberer Lettenkeuper (ku2):	16,10 m
- 66,45	Grenzschiefer (GRE):	4,65 m
- 71,08	Lingulaschichten (LI):	4,63 m
- 77,90	Anoplophoraschichten (AP):	6,82 m
- 95,75	Unterer Lettenkeuper (ku1):	17,85 m
- 82,30	ALBERTI-Schichten (ABS):	4,40 m
- 87,08	Hauptsandsteinschichten (HSS):	4,78 m
- 91,93	Estherienton (ES):	4,85 m
- 95,75	Basisschichten (B):	3,82 m
- 100,50	Oberere Hauptmuschelkalk- Formation (mo2):	> 4,75 m
- 98,60	Fränkische Grenz- schichten (mo2F):	2,85 m
- 97,70	Glaukonitkalk (GLK):	1,95 m
- 98,60	Bairdienton (BDT):	0,90 m
- 100,50	Künzelsau-Schichten (mo2K):	> 1,90 m

**Bohrung Sinsheim TB4 (Deponie Schlupfert-West)**

Geolog. Aufnahme: J. SCHÖN (Ing. geol. Büro Töniges/  
Sinsheim) (1989)

Neuaufnahme der Lettenkeuper-Formation: A. ETZOLD,  
M. FRANZ (1998)

Gipsspiegel bei 85,50 m Teufe

- 6,30	Quartär (Anthropogene Aufschüttung, Schwemmlehm, Fließerde)	
- 106,00	Gipskeuper-(Grabfeld-)Formation (km1):	> 99,70 m
- 41,10	Mittlerer Gipskeuper (km1m):	> 34,80 m
- 40,60	Mittlerer Gipshorizont (MGH):	> 34,30 m
- 41,10	Weinsberg-Horizont (WEH):	0,50 m
- 106,00	Unterer Gipskeuper (km1u):	64,90 m
- 68,90	Dunkelrote Mergel (DRM):	27,80 m
- 85,50	Bochingen-Horizont (BH):	16,60 m
- 106,00	Grundgipsschichten (GI):	20,50 m
- 139,35	Lettenkeuper-(Erfurt-)Formation (kuL):	33,35 m
- 121,30	Oberer Lettenkeuper (ku2):	15,30 m
- 110,70	Grenzschiefer (GRE):	4,70 m
- 114,52	Lingulaschichten (LI):	3,82 m
- 121,30	Anoplophoraschichten (AP):	6,78 m

- 139,35	Unterer Lettenkeuper (ku1):	18,05 m
- 125,40	ALBERTI-Schichten (ABS):	4,10 m
- 129,77	Hauptsandstein (HS) („Normalfazies“):	4,37 m
- 134,80	Estherienton (ES):	5,03 m
- 139,35	Basisschichten (B):	4,55 m
- 144,30	Obere Hauptmuschelkalk-Formation (mo2):	> 4,95 m
- 142,37	Fränkische Grenzschiefer (mo2F):	3,02 m
- 141,06	Glaukonitkalk (GLK):	1,71 m
- 142,37	Bairdienton (BDT):	1,31 m
- 144,30	Künzelsau-Schichten (mo2K):	> 1,93 m
- 143,75	Obere Terebratelbank (Otb), inkl. „Sphaerocodienkalk“:	1,38 m
- 144,30	Gelbe Mergel (Gm):	> 0,55 m

**Bohrung Sinsheim KB 10 (Deponie Kaisersberg)**

Geolog. Aufnahme: H. BRUNNER, W. ENGESSER (LGRB),  
08.05.1991

Revidiert nach Fotodokumentation und GR-Log: A. ETZOLD,  
M. FRANZ (2000)

Gipsspiegel bei 79,00 m

0-	1,30	Quartär (Lößlehm?)	
- 145,60	Gipskeuper-Formation (km1):	> 144,30 m	(Gips bis 79 m ausgelaugt)
- 22,95	Oberer Gipskeuper (km1o):	> 21,65 m	
- ?5,90	Graue Estherien- schichten (GES):	> 4,60 m	
- ?22,95	Untere Bunte Estherien- schichten (UBE):	17,05 m	
9,50 - 10,00	Modiolabank (Md)?		
12,10 - 12,40	Malachitbank 2?		
21,85 - ?22,95	Corbulabank (C)/ Engelhofen-Platte		
- 72,70	Mittlerer Gipskeuper (km1m):	49,75 m	
- 71,80	Mittlerer Gipshorizont (MGH):	48,85 m	
- 35,50	Abschnitt 4:	12,55 m	
- 49,45	Abschnitt 3:	13,95 m	
- 59,90	Abschnitt 2:	10,45 m	
- 71,80	Abschnitt 1:	11,90 m	
- 72,70	Weinsberg-Horizont (WEH):	0,90 m	
- 145,60	Unterer Gipskeuper (km1u):	72,90 m	
- 108,30	Dunkelrote Mergel (DRM):	35,60 m	
89,85 - 90,00	„Mittlerer Grauer Horizont“?		
102,75 - 108,30	Entringen-Sulfat („u. 3-Sulfat“)		
- 125,05	Bochingen-Horizont (BH):	16,75 m	
112,75 - 115,75	(„u. 2-Sulfat“) inkl. Bochingen-Bank (Bo)		
- 145,60	Grundgipsschichten (GI) (= „u. 1-Sulfat“):	20,55 m	
141,80 - 142,10	Muschelbank 2 (B2)		
143,70 - 144,00	Muschelbank 1 (B1)		
- 179,40	Lettenkeuper-Formation (kuL):	33,80 m	



– 161,05	Oberer Lettenkeuper (ku2):	15,45 m
– 149,10	Grenzschieben (GRE):	3,50 m
– 145,85	Grenzdolomit (Gd):	0,25 m
– 149,10	Grüne Mergel (GRM):	3,25 m
– 153,20	Lingulaschichten (LI):	4,10 m
– 149,40	Böhringen-Gips- horizont (BGi):	0,30 m
– 150,15	Oberer Lingula- dolomit (Ldo):	0,75 m
– 151,20	Lingulasandstein (LIS):	1,05 m
– 153,20	Unterer Lingula- dolomit (Ldu):	2,00 m
– 161,05	Anoplophoraschichten (AP):	7,85 m
– ?154,90	Obere Graue Mergel (OGM):	1,70 m
– 155,80	Oberer Anoplophora- dolomit (Ado):	0,90 m
– 158,05	Anoplophora- sandstein (APS):	2,25 m
– ?158,60	Unterer Anoplophora- dolomit (Adu):	0,55 m
– 159,30	Untere Graue Mergel (UGM):	0,70 m
– 161,05	Horizont der Anthra- konitbank (HAK):	1,75 m
– 179,40	Unterer Lettenkeuper (ku1):	18,35 m
– 164,10	ALBERTI-Schichten (ABS):	3,05 m
– 163,55	Sandige Pflanzen- schiefer (SPS):	2,50 m
– 164,10	ALBERTI-Bank (Ab):	0,55 m
– ?169,35	Hauptsandstein- schichten (HSS):	5,25 m
– 174,65	Estherienton (ES):	5,30 m
– 170,70	Estherienton 3 (ES3):	1,35 m
– 171,70	Dolomit 2 (DI2):	1,00 m
– 172,75	Estherienton 2 (ES2):	1,05 m
– 173,45	Dolomit 1 (DI1):	0,70 m
– 174,65	Estherienton 1 (ES1):	1,20 m
– 179,40	Basisschichten (B):	4,75 m
– 175,70	Untere Dolomite (UDO):	1,05 m
– 176,45	Dolomitische Mergel- schiefer (DMS):	0,75 m
– 178,10	Blaubank (Bk):	1,65 m
– 179,40	Vitriolschiefer (VS):	1,30 m
– 190,00	Obere Hauptmuschelkalk- Formation (mo2):	> 10,60 m
– 181,90	Fränkische Grenz- schichten (mo2F):	2,50 m
– 180,95	Glaukonitkalk (GLK):	1,55 m
	(– 179,75 m: Schillkalk, mit zahlreichen Vertebratenresten)	
– 181,90	Bairdienton (BDT):	0,95 m
– 190,00	Künzelsau-Schichten (mo2K):	> 8,10 m
– 182,40	Obere Terebratelbank (Otb):	0,50 m

### Thermalwasserbohrung

#### Bad Mingolsheim/Lambertusquelle (LBQ)

Übersichtsprofil SAUER (1977, 1978), keine Spülproben-  
beschreibung vorliegend

Kurzprofil des Keupers nach GR-Log (Interpretation: A. ETZOLD)

– 188,5	Jurabasis	
– 199,5	Rhätkeuper-Formation (koR):	11 m
– ?197	Trileteston (kotT):	?8,5 m
– 199,5	Contortaton (kotC):	?2,5 m
– 301,5	Stubensandstein-(Löwenstein-) Formation (km4):	102 m
– 243,0	Oberer Stubensandstein (km4o):	43,5 m
– 205,0	Malschenberg-Sandstein (MBS) = 4. Stubensandstein (s4):	5,5 m
– 236,5	Hangendletten 3 (t3):	31,5 m
– 243,0	3. Stubensandstein (s3):	6,5 m
– 270,5	Mittlerer Stubensandstein (km4m):	27,5 m
– ?247	Hangendletten 2 (t2) mit Krustenkalk 2 (K2):	4,0 m
– 270,5	2. Stubensandstein (s2):	23,5 m
– 301,5	Unterer Stubensandstein (km4u):	31 m
– 291,5	Rauenberg-Schichten (RM):	21 m
– 301,5	Rote Basisletten (RBL) inkl. 1. Stubensandstein (s1):	10 m
– 364	Bunte Mergel-(Weser-)Formation (km3):	62,5 m
– 318	Obere Bunte Mergel (km3o) = Heldburg-Sulfat (HBS):	16,5 m
– 334	Mittlere Bunte Mergel (km3m):	16 m
– 364	Untere Bunte Mergel (km3u):	30 m
– 361,5	Lehrberg-Schichten (LE) und Rote Wand (RO):	27,5 m
– 364	BEAUMONT-Sulfat (BMS):	2,5 m
– 382?	Schilfsandstein-(Stuttgart-)Formation (km2):	18 m?
– 523	Gipskeuper-(Grabfeld-)Formation (km1):	141,5 m
– 414,5	Oberer Gipskeuper (Estherienschieben) (km1o):	32,5 m
– 398,5	Graue Estherien- schichten (GES):	16,5 m
– 414,5	Untere Bunte Estherien- schichten (UBE):	17 m
– 466	Mittlerer Gipskeuper (km1m):	51,5 m
– 523	Unterer Gipskeuper (km1u):	57,5 m
– 493,5	Dunkelrote Mergel (DRM):	27,5 m
– 509	Bochingen-Horizont (BH):	15,5 m
– 523,5	Grundgipsschichten (GI):	14,5 m
– 556,5	Lettenkeuper-(Erfurt-)Formation (kuL):	33,0 m
– 540	Oberer Lettenkeuper (ku1):	16,5 m
– 527,5	Grenzschieben (GRE):	4,0 m
– 531,5	Lingulaschichten (LI):	4,0 m
– ?540	Anoplophoraschichten (AP):	8,5 m
– 556,5	Unterer Lettenkeuper (ku1):	16,5 m
– ?544,5	ALBERTI-Schichten (ABS):	4,5 m
– 552,5	Hauptsandsteinschichten (HSS) und Estherienton (ES):	8 m
– 556,5	Basisschichten (B):	4,0 m

► Tab. 3: Mächtigkeiten in den untersuchten Kernbohrungen im Vergleich zur Thermalwasserbohrung Bad Mingolsheim/Lambertusquelle (LBQ). In den grau gerasterten Bereichen sind die Mächtigkeiten durch Gipsauslaugung reduziert ( $t > =$  tektonisch reduziert).

► *Table 3: Thicknesses in the investigated coring-drill-holes in comparison to the thermal-water well Bad Mingolsheim/Lambertusquelle (LBQ). Dotted fields indicate reduced thicknesses by leaching of sulfate ( $T > =$  tectonically redced).*

## 5.3 Mächtigkeitstabellen

In Tab. 3 sind die Mächtigkeiten der untersuchten Kernbohrungen (Flachbohrungen) im Vergleich zu denen der LBQ aufgelistet. Die Mächtigkeiten einiger Tiefbohrungen in der Langenbrückener Senke und im benachbarten Oberrheingraben sind in Tab. 4 wiedergegeben. Die Daten der Bohrungen WSL-1, MGM-1 und STF-1 wurden mit revidierter Stratigraphie und geringfügigen Korrekturen aus LUTZ & ETZOLD (2003) entnommen. Die Mächtigkeiten der Bohrungen ROT-5, LGB-1 und IB-6 (s. a. LAEMMLEN 1954) wurden aus den Bohrbeschreibungen und Widerstandslogs ermittelt. Hierbei ist zu bemerken, dass die Widerstände lediglich Porositäten wiedergeben und insbesondere die Sandsteine mit diesem Hilfsmittel allein oft nicht mit Sicherheit erkannt werden können (LUTZ & ETZOLD 2003), wodurch sich bei der Abgrenzung der km2- und km4-Sandsteine z. T. Unsicherheiten ergaben. Ein weiteres Problem stellen unerkannte Kleinstörungen (Abschiebungen) dar, die Mächtigkeiten reduzieren können, wie dies z. B. für die Bohrung WSL-1 vermutet wird.

## 6 Ergebnisse und Diskussion

### 6.1 Kombiniertes Referenzprofil

In Abb. 3.1 und 3.2 wird das aus den vier Forschungsbohrungen kombinierte Referenzprofil vorgestellt. Neben dem Auftreten von Sulfaten bzw. Auslaugungsresiduen ist das Vorkommen roter Farbtöne pauschal dargestellt. Als Ergänzung zur ausgelaugten Schichtenfolge in der WSL-H ist der fast vollständig intakte km1u-Abschnitt der Deponiebohrung Sinsheim-KB 10 dargestellt, der in Gipsfazies vorliegt und in einer Mächtigkeit von 72 m erbohrt wurde. Auf der rechten Seite ist die Korrelation mit dem durch Gipsauslaugung nicht gestörten GR-Log der intakten Tief-

bohrung LBQ wiedergegeben, in der die Sulfate noch als Anhydrit vorliegen.

### 6.2 Gesamtmächtigkeit des Keupers im Kraichgau

Rechnet man die Mächtigkeiten der einzelnen Keuper-Formationen in den Forschungsbohrungen zusammen, so erhält man eine Gesamtmächtigkeit von 345 m. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in den genannten Bohrungen die Sulfate in der Gipskeuper-Formation (km1) teilweise, in der Bunten Mergel-Formation (km3) und im Unteren Stubensandstein (km4u) vollständig ausgelaugt sind (Tab. 3).

Auf der anderen Seite liegen die verbliebenen Sulfate im km1 überwiegend in Form von Gips vor, der im Allgemeinen höhere Mächtigkeiten aufweist als Anhydrit (vgl. Kap. 6.5). Hinzu kommt, dass die Gipsauslaugungsresiduen hohe Porositäten haben, so dass die Mächtigkeitsreduzierung durch die Auslaugung meist geringer ausfällt als erwartet. Es mögen dies die Hauptgründe dafür sein, dass in den benachbarten Tiefbohrungen, in denen das Sulfat noch als Anhydrit vorliegt, ähnliche oder nur wenig höhere Keupermächtigkeiten ermittelt wurden. Die größten Mächtigkeiten werden mit 378,5 m und 372,5 m in den Bohrungen Stettfeld-1 und Langenbrücken-1 erreicht, die etwa in der Beckenachse liegen dürften. Von hier nehmen die Mächtigkeiten nach N allmählich ab, bis auf 343,5 m in ROT-5 und 341 m in Wiesloch-1 (s. Tab. 4). Dieser Trend, der meist auch in den Mächtigkeiten der einzelnen Horizonte zu erkennen ist, lässt vermuten, dass sich die Forschungsbohrungen bereits auf der N-Flanke des NE-SW streichenden Kraichgau-Trogs befinden. Entsprechend reduzieren sich die Mächtigkeiten nach S in Richtung „Burgundischer Sporn“ (vgl. dazu LUTZ & ETZOLD 2003). In Achsenrichtung nimmt die Mächtigkeit nach NE zu und erreicht bei Heilbronn Werte  $> 400$  m (DSK 2005).



Untergruppe	Formation	Formations-Glied	Fm-Unterglied		DV-Symbol	LBQ	MAL-1	RAU-1	RAU-2	KB 10	TB 4	WSL-H
				<b>Oberkeuper</b>	<b>ko</b>							
				<b>Rhätkeuper-Fm. (Rhätton-kot)</b>	<b>koR</b>	<b>11,0</b>	<b>&gt;12,30</b>					
				Trileteston	koT	8,5	>6,30					
				Contortaton	koC	22,50	6,00					
				<b>Mittelkeuper</b>	<b>km</b>							
				<b>Stubensandstein-Formation</b>	<b>km4</b>	<b>102,0</b>	<b>103,45</b>					
				<b>Oberer Stubensandstein</b>	<b>km4o</b>	<b>43,5</b>	<b>47,30</b>					
				Malschenberg-Sandstein	MBS	5,5	7,50					
				Hangendletten 3	t3	31,5	32,75					
				3. Stubensandstein	s3	6,5	7,05					
				<b>Mittlerer Stubensandstein</b>	<b>km4m</b>	<b>27,5</b>	<b>28,15</b>					
				Unterer Stubensandstein	km4u	31,0	28,00	>26,85				
				Rauenberg-Schichten	RM	21,0	16,05	>15,25				
				Rote Basisletten	RBL	10,0	11,95	11,60				
				<b>Bunte Mergel-Formation</b>	<b>km3</b>	<b>62,5</b>		<b>57,20</b>				
				<b>Obere Bunte Mergel</b>	<b>km3o</b>	<b>16,5</b>	<b>&gt;7,35</b>	<b>14,75</b>				
				<b>Mittlere Bunte Mergel</b>	<b>km3m</b>	<b>16,0</b>		<b>16,35</b>				
				<b>Untere Bunte Mergel</b>	<b>km3u</b>	<b>30,0</b>		<b>26,10</b>				
				Lehrberg-Schichten	LE			9,40				
				Rote Wand	RO	27,5		14,75				
				BEAUMONT-Horizont	BMH	2,5		1,95				
				<b>Schilfsandstein-Formation</b>	<b>km2</b>	<b>18,0</b>		<b>11,30</b>	<b>&gt;2,45</b>			
				Dunkle Mergel	DM			3,83				
				Schilfsandstein	km2s			7,47	>2,45			
				<b>Gipskeuper-Formation</b>	<b>km1</b>	<b>141,5</b>		<b>&gt;30,40</b>	<b>&gt;106,85</b>	<b>&gt;144,30</b>	<b>&gt;99,70</b>	<b>&gt;59,30</b>
				<b>Oberer Gipskeuper</b>	<b>km1o</b>	<b>32,5</b>		<b>&gt;30,40</b>	<b>35,00</b>	<b>&gt;21,65</b>		
				Obere Bunte Estherien-Schichten	OBE			2,80	1,90			
				Graue Estherien-Schichten	GE	16,5		16,90	18,00	>4,60		
				Untere Bunte Estherien-Schichten	UBE	17,0		>10,70	15,10	17,05		
				<b>Mittlerer Gipskeuper</b>	<b>km1m</b>	<b>51,5</b>			<b>48,95</b>	<b>49,75</b>	<b>&gt;34,80</b>	<b>&gt;18,70</b>
				Mittlerer Gipshorizont	MGH				48,05	48,85	>34,30	>18,00
				Weinsberg-Horizont	WEH				0,90	0,90	0,50	0,70
				<b>Unterer Gipskeuper</b>	<b>km1u</b>	<b>57,5</b>			<b>&gt;22,22</b>	<b>72,90</b>	<b>64,90</b>	<b>40,60</b>
				Dunkelrote Mergel	DRM	27,5			>22,22	35,60	27,80	22,00
				Bochingen-Horizont	BH	15,5				16,75	16,60	11,25
				Grundgipsschichten	GI	14,5				20,55	20,50	7,35
				<b>Unterkeuper</b>	<b>ku</b>							
				<b>Lettenkeuper-Formation</b>	<b>kuL</b>	<b>33,0</b>				<b>33,80</b>	<b>33,35</b>	<b>33,95</b>
				<b>Oberer Unterkeuper</b>	<b>ku2</b>	<b>16,5</b>				<b>15,45</b>	<b>15,30</b>	<b>16,10</b>
				Grenzsichten	GRE	4,0				3,50	4,70	4,65
				Lingulaschichten	LI	4,0				4,10	3,82	4,63
				Anoplophoraschichten	Ap	8,5				7,85	6,78	6,82
				<b>Unterer Lettenkeuper</b>	<b>ku1</b>	<b>16,5</b>				<b>18,35</b>	<b>18,05</b>	<b>17,85</b>
				ALBERTI-Schichten	ABS	4,5				3,05	4,10	4,40
				Hauptsandsteinschichten	HSS					5,25	4,37	4,78
				Estherienton	ES	8,0				5,30	5,03	4,85
				Basisschichten	B	4,0				4,75	4,55	3,82
				<b>Oberer Muschelkalk</b>	<b>mo</b>							
				<b>Obere Hauptmuschelkalk-Formation</b>	<b>mo2</b>					<b>&gt;10,60</b>	<b>&gt;4,95</b>	<b>&gt;4,75</b>
				Fränkische Grenzsichten	mo2F					2,50	3,02	2,85
				Künzelsauer Schichten	mo2K					>8,10	>1,93	>1,90

### 6.3 Oberster Muschelkalk und die Grenze zum Keuper

Sowohl die Forschungsbohrung WSL-H als auch die Vergleichsbohrung TB4 haben noch knapp 5 m des Oberen Muschelkalks erbohrt. Dabei fällt auf, dass in WSL-H dieser Schichtenstoß durchgehend dolomitisch ausgebildet ist, wogegen in der

Bohrung TB4 die kalkige Ausbildung vorherrscht. Dieser Fazieswechsel entspricht nach WAGNER (1913: Taf. 2) der Grenze zwischen der Kochendorfer (Kalk-) Fazies auf Bl. 6719 Sinsheim (THÜRACH 1896) und 6819 Eppingen (SCHNARRENBARGER 1903) sowie den nach E anschließenden Kartenblättern (vgl. SCHALCH 1893) und der nach W auf Bl. Wiesloch (THÜRACH 1904) und nach S ab Bl. 6818 Kraichtal (THÜRACH 1902) einsetzenden Dolomitfazies.

Tab. 4: Mächtigkeiten in in einigen Tiefbohrungen der Langenbrückener Senke und des benachbarten Oberrheingrabens. Die Mächtigkeiten in den Erdölbohrungen wurden aufgrund der Bohrbeschreibungen und Widerstandslogs, in der Thermalwasserbohrung LBQ aufgrund des Gamma-Ray-Logs ermittelt. Lage S. Abb. 1 und Tab. 2.

Table 4: Thicknesses in some onshore wells in the Langenbrücken trough and the neighbouring Upper Rhinegraben. Thicknesses in the oil-drill-holes have been determined from well-logs and resistivity-logs, in the thermal water well LBQ from gamma-ray-log (locations see Fig. 1 and chapter 5.1).

Untergruppe	Formation	Formations-Glied	Fm-Unterglied	DV-Symbol	WSL-1	ROT-5	LBQ	MGM-1	LGB-1	STF-1	IB-6
				<b>Keuper</b>	<b>k</b>	<b>341,0</b>	<b>343,5</b>	<b>368,0</b>	<b>356,5</b>	<b>372,5</b>	<b>378,5</b>
				<b>Oberkeuper</b>	<b>ko</b>						
				<b>Rhätkeuper-Formation (Rhätton)</b>	<b>koR (kot)</b>	<b>11,0</b>	<b>11,0</b>	<b>11,0</b>	<b>8,5</b>	<b>10,0</b>	<b>10,0</b>
				<b>Mittelkeuper</b>	<b>km</b>						
				<b>Stubensandstein-Formation</b>	<b>km4</b>	<b>98,0</b>	<b>95,5</b>	<b>102,0</b>	<b>102,5</b>	<b>105,5</b>	<b>95,5</b>
				Oberer Stubensandstein	km4o	43,0	40,5	43,5	46,5	46,5	43,0
				Malschenberg-Sandstein	MBS	6,0	6,5	5,5	9,0	9,0	10,0
				Hangendletten 3	t3	31,0	29,0	31,5	31,5	33,0	31,0
				3. Stubensandstein	s3	6,0	5,0	6,5	6,0	7,0	2,5
				Mittlerer Stubensandstein	km4m	27,0	27,0	27,5	26,0	26,5	25,5
				Unterer Stubensandstein	km4u	28,0	27,5	31,0	30,0	32,5	29,0
				Rauenberg-Schichten	RM	19,5	18,0	21,0	18,0	23,5	20,0
				Rote Basisletten	RBL	8,5	9,5	10,0	12,0	9,0	9,0
				<b>Bunte Mergel-Formation</b>	<b>km3</b>	<b>59,5</b>	<b>58,0</b>	<b>62,5</b>	<b>57,0</b>	<b>64,0</b>	<b>59,0</b>
				Obere Bunte Mergel	km3o	17,0	15,5	16,5	16,0	18,5	16,0
				Mittlere Bunte Mergel	km3m	14,0	14,5	16,0	14,0	16,0	14,5
				Untere Bunte Mergel	km3u	28,5	28,0	30,0	27,0	29,5	28,5
				Lehrberg-Sulfat (Dachbank)	LES	9,5 (3,0)	7,0 (2,5)	6,5 (2,0)	10,0 (2,0)	8,0 (3,0)	9,0 (2,5)
				Rote Wand	RO	12,0	14,0	17,0	12,0	15,0	15,0
				BEAUMONT-Horizont (B-Sulfat)	BMH (BMS)	7,0	7,0	6,5	5,0	6,5	6,0
				<b>Summe km2 + km1</b>	<b>t&gt;138,5</b>	<b>145,0</b>	<b>159,0</b>	<b>155,0</b>	<b>158,5</b>	<b>168,0</b>	<b>166,0</b>
				<b>Schilfsandstein-Formation</b>	<b>km2</b>	<b>13,0</b>	<b>10,0</b>	<b>18,0</b>	<b>11,0</b>	<b>12,5</b>	<b>32,0</b>
				<b>Gipskeuper-Formation</b>	<b>km1</b>	<b>t&gt;125,5</b>	<b>135,0</b>	<b>141,5</b>	<b>144,0</b>	<b>146,0</b>	<b>136,0</b>
				Oberer Gipskeuper	km1o	33,5	37,0	32,5	41,5	40,0	22,0
				Ob. Bu. + Graue Estherien-Schichten	OBE+GE	20,5	?	16,5	24,0	23,0	5,5
				Untere Bunte Estherien-Schichten	UBE	13,0	?	17,0	17,5	17,0	16,5
				Mittlerer Gipskeuper	km1m	50,0	52,0	51,5	50,5	53,0	55,5
				Unterer Gipskeuper	km1u	t>42,0	46,0	57,5	52,0	53,0	58,5
				Dunkelrote Mergel	DRM	t>17,0	20,0	27,5	23,5	24,0	27,5
				Bochingen-Horizont	BH	t>10,0	11,0	15,5	13,5	13,0	15,0
				Grundgipsschichten	GI	15,0	15,0	14,5	15,0	16,0	16,0
				<b>Unterkeuper</b>	<b>ku</b>						
				<b>Lettenkeuper-Formation</b>	<b>kuL</b>	<b>33,0</b>	<b>34,0</b>	<b>33,0</b>	<b>33,5</b>	<b>34,5</b>	<b>32,0</b>
				Oberer Unterkeuper	ku2	16,0	?16,0	16,5	14,5	14,0	16,0
				Unterer Lettenkeuper	ku1	17,0	18,0	16,5	19,0	20,5	16,0

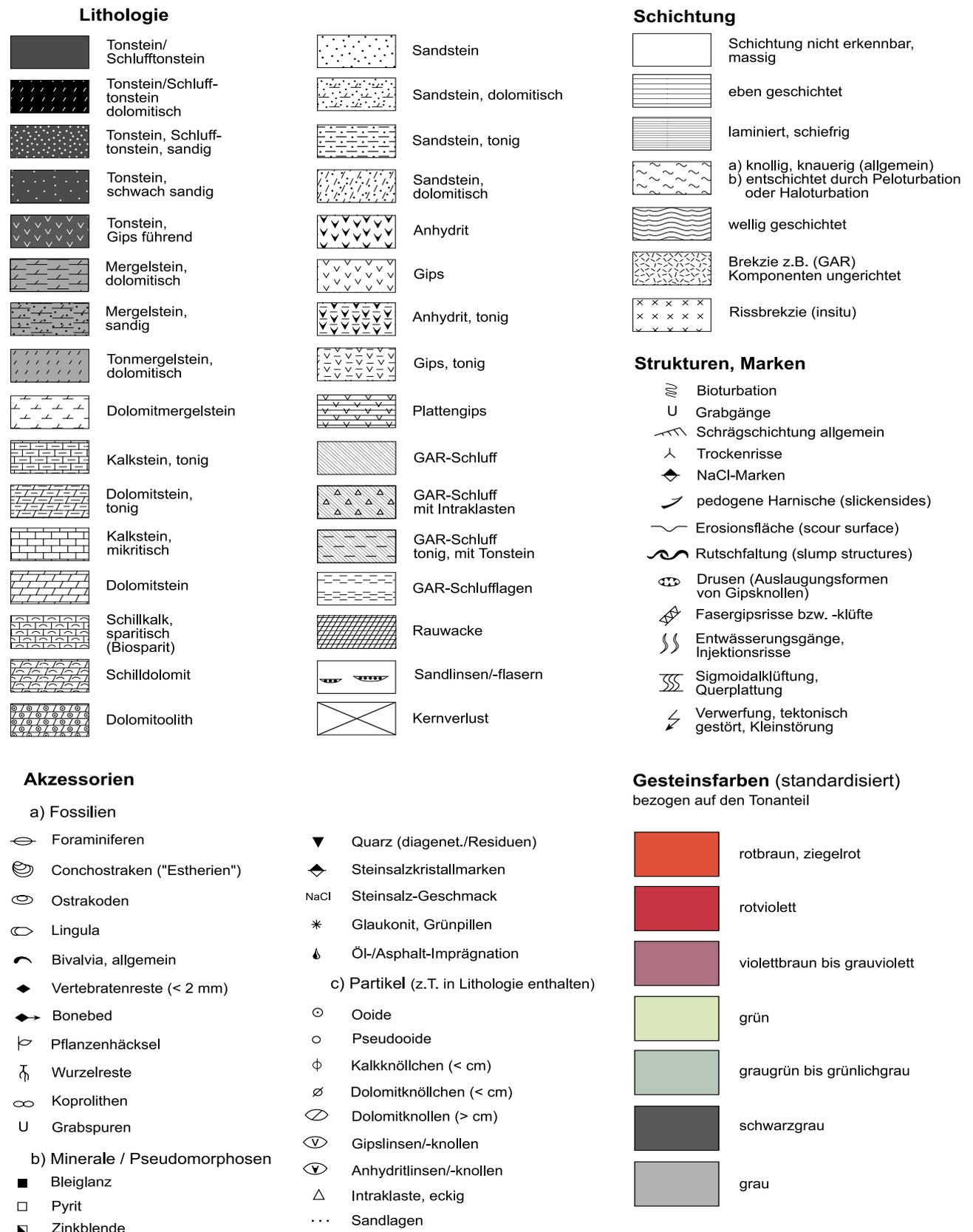


Abb. 2: Legende zu den Abbildungen 3 bis 7.

Fig. 2: Legend to figures 3–7.

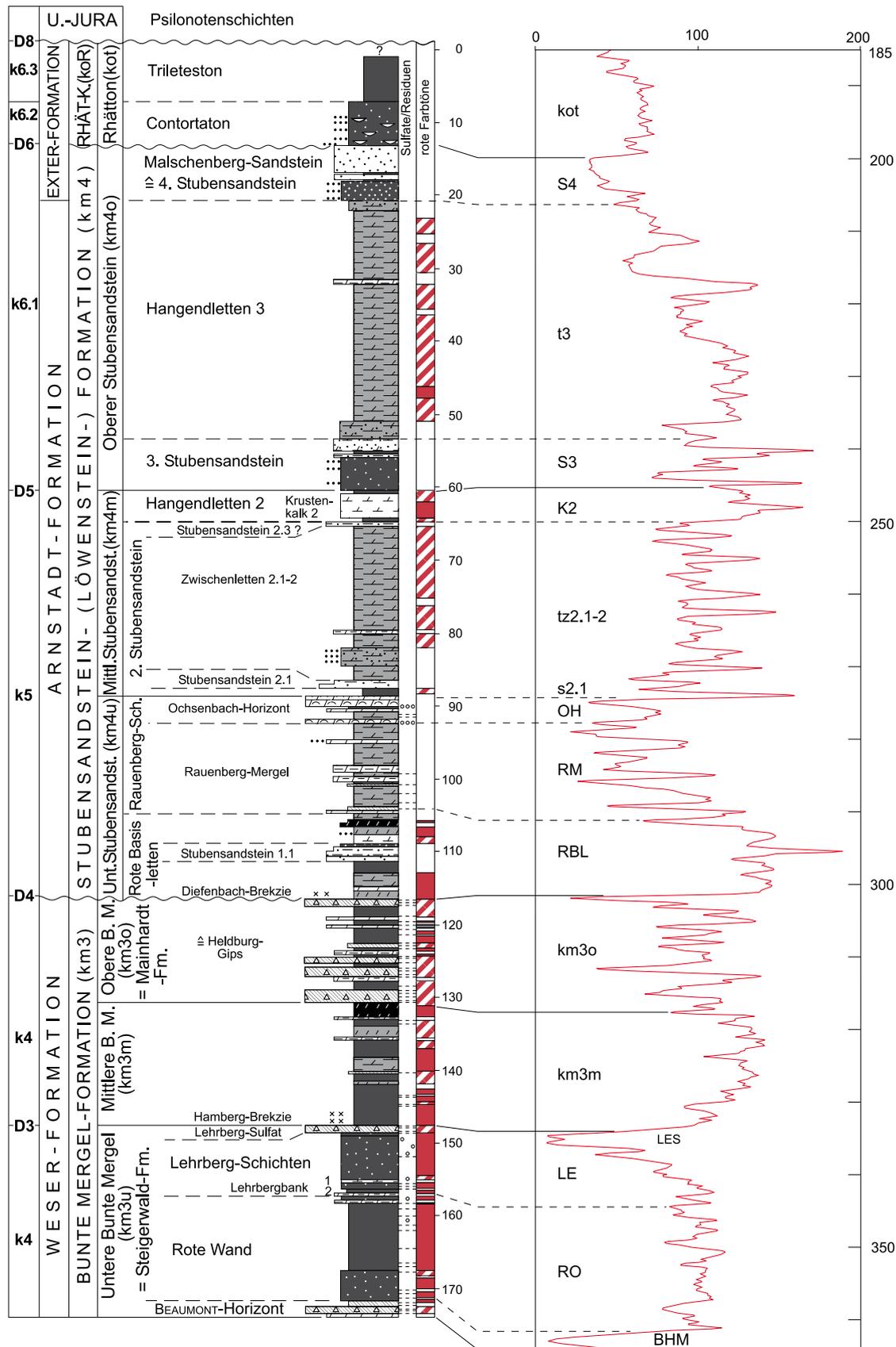


Abb. 3.1: Keuper-Referenzprofil, korreliert mit dem GR-Log der Bohrung LBQ: Rhaetion bis Beaumont-Horizont. Zusammengesetzt aus den Bohrungen Malschenberg 1 und Rauenberg 1. D1 bis D8 = Diskordanzen, k1 bis k6 = Keuper-Folgen. Litholog vereinfacht, Legende siehe Abb. 2 (leicht abgeändert).

Fig. 3.1: Reference-section for the Keuper (Upper Triassic): Rhaetion–Beaumont-horizon. Compiled from drill-holes Malschenberg 1 and Rauenberg 1. D1 – D8 = unconformities, k1 – k6 = Keuper-members. Lithological log simplified, legend see Fig. 2 (slightly modified).

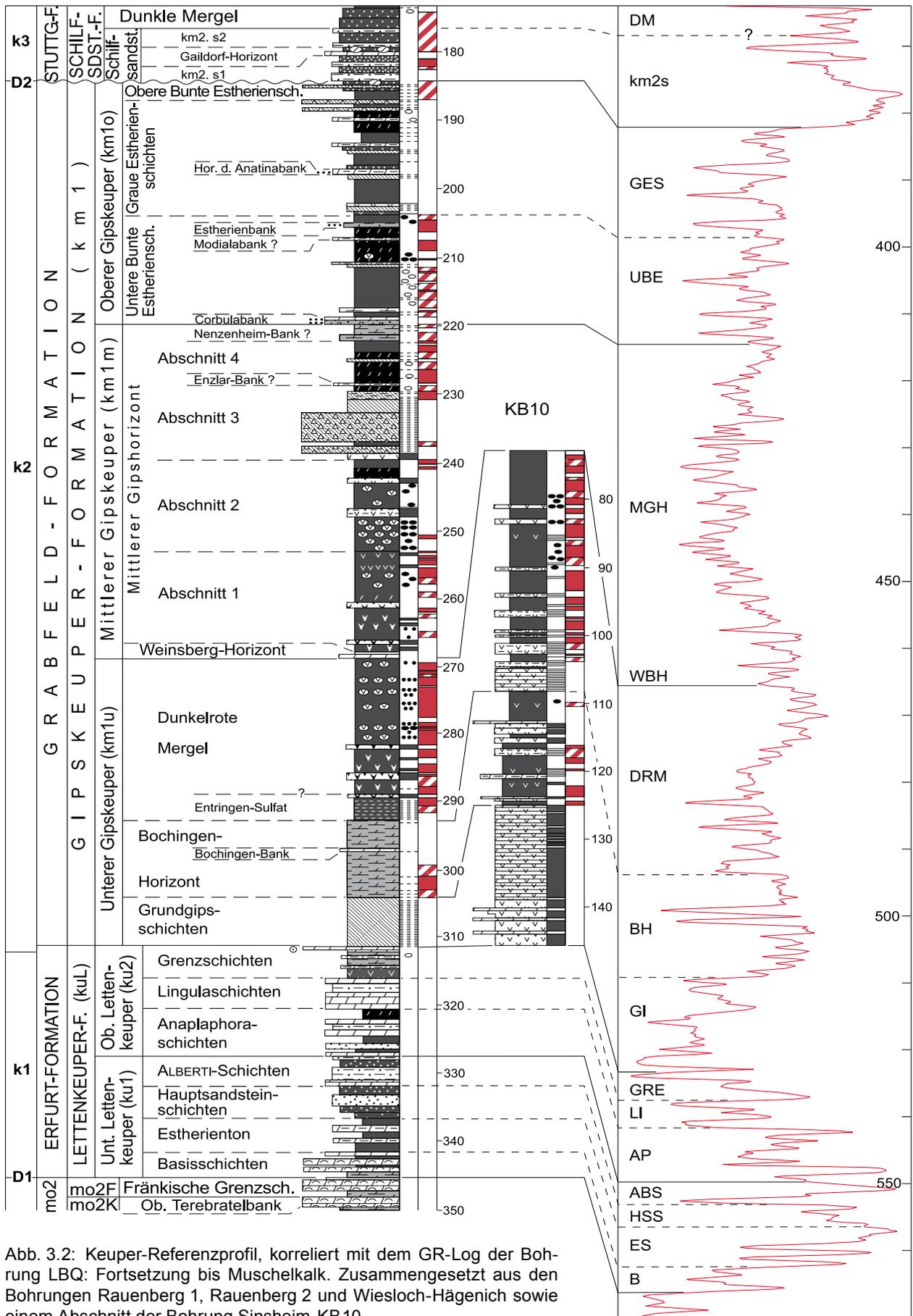


Abb. 3.2: Keuper-Referenzprofil, korreliert mit dem GR-Log der Bohrung LBQ: Fortsetzung bis Muschelkalk. Zusammengesetzt aus den Bohrungen Rauenberg 1, Rauenberg 2 und Wiesloch-Hägenich sowie einem Abschnitt der Bohrung Sinsheim-KB10.

Fig. 3.2: Reference-section for the Keuper (Upper Triassic): Schilfsandstein-Formation–Muschelkalk. Compiled from drill-holes Rauenberg 1, Rauenberg 2, Wiesloch-Hägenich and Sinsheim-KB10.

### 6.3.1 Künzelsau-Schichten (mo2K)

Die beiden Bohrungen durchteufen die Fränkischen Grenzschichten und erreichen gerade noch die Künzelsau-Schichten. Etwa 4,5–5 m unter der Keupergrenze tritt darin ein 25 cm starker, gelblichbrauner dolomitischer Mergelstein mit dünnen Bonebedlagen (WSL-H) oder ein Dolomitstein (TB4) auf, bei denen es sich um die „Gelben Mergel“ (vermutlich Gelbe Mergel 2) handelt. Diese haben insofern eine Bedeutung, als sie den wenig südwärts einsetzenden Trigonodusdolomit nach oben abschließen (WAGNER 1913: 52). Darüber folgen der Sphaerocodienkalk WAGNERS und die Obere Terebratelbank (OTb) mit einer Mächtigkeit von zusammen knapp 1,4 m. In WSL-H liegt dieser Schichtkomplex als schillführender Dolomit vor. In der Bohrung TB4 ist der „Sphaerocodienkalk“ als arenitischer Feinschillkalk, die Obere Terebratelbank als schwach schillführender Knauerkalk ausgebildet. Die OTb-Bank enthält nach SCHALCH (1893) und WAGNER (1913) außer einer reichen marinen Muschelfauna „*Terebratula vulgaris*“ sowie „*Ceratites semipartitus*“ und „*Ceratites dorsoplanus*“.

### 6.3.2 Fränkische Grenzschichten (mo2F)

Die in den beiden Bohrungen etwa 3 m mächtigen Fränkischen Grenzschichten setzen sich aus dem Bairdienton und dem Glaukonitkalk zusammen. Gegen E und S nimmt die Mächtigkeit auf >4 m zu (SCHALCH 1893, WAGNER 1913). Der Bairdienton (BDT) ist als 0,9–1,3 m mächtiger, feingeschichteter, dunkelgrauer dolomitischer Tonmergelstein ausgebildet. In der TB4 wechselt er in der unteren Hälfte mit einzelnen Kalkstein- bis Kalkmergelsteinbänken. In der oberen Hälfte führt er Ostracoden-Schilllagen und *Lingula*. Das vollständige Aussetzen der Ceratiten, das Fehlen mariner Muscheln und das z. T. reiche Vorkommen von „*Estheria minuta*“ (SCHALCH 1893, THÜRACH 1896: 21, 1902: 8 f., WAGNER 1913) spricht für eine Aussüßung des Beckens.

Der Glaukonitkalk (GLK) (früher auch als Bairdienkalk bezeichnet) ist in WSL-H ein knapp 2 m mächtiger Dolomit mit lagenweiser Schillführung. In TB4 ist er 1,7 m mächtig und überwiegend kalkig ausgebildet. Der unterste Abschnitt zeigt im Bohrkern eine knauerige Ausbildung und Schichtverbiegungen bis 25°, was auf eine „Gekrösealk-“ (Seismit-?) Fazies (WAGNER 1913: 155 ff.) schließen lässt. Darüber folgen teilweise schillführende Kalke, die ge-

gen oben mit Dolomitlagen wechseln. Abgeschlossen wird der Glaukonitkalk von einem 0,45 m mächtigen arenitischen Schillkalk, der neben Muschelschalen Ostracoden, Vertebratenreste, verdrückte (glaukonitische?) „Grünpillen“ (HELING & BEYER 1992) führt und zuoberst in einen Dolomitstein übergeht. Diese Bank, die stets durch Schillführung, Glaukonit und z. T. „bonebedartige Anhäufungen von Knochen- und Fischresten“ (SCHALCH 1893) gekennzeichnet ist, bildet die Oberkante des Oberen Muschelkalks.

Die Grenze zum Keuper ist mit dem Wechsel von abbauwürdigen Kalksteinen zu den tonigen und dolomitischen Abraumschichten des Lettenkeupers definiert (SCHALCH 1893, WAGNER 1913) und sowohl in den Bohrkernen als auch in den Logs leicht zu erkennen. Als Grenzfläche wurde von der Stratigraphischen Subkommission Perm-Trias die Basis des sog. Grenzbonebeds festgelegt, das i. d. R. dem Glaukonitkalk auflagert. In den Bohrungen WSL-H und TB4 wurden in den untersten 5 cm des hangenden Vitriolschiefers 1–3 dünne Bonebedlagen festgestellt, die in TB4 von einem cm-starken Sandsteinbänkchen begleitet werden. Es ist jedoch zweifelhaft, ob es sich hierbei um das Grenzbonebed im Sinne QUENSTEDTS (1880) und WAGNERS (1913) handelt. Die Tatsache, dass diese Bonebedlagen jeweils durch wenige mm Tonstein vom Glaukonitkalk getrennt sind, lässt eher vermuten, dass wir es hier mit einem Bonebed innerhalb des Vitriolschiefers zu tun haben. Es ist eher wahrscheinlich, dass das Grenzbonebed hier in verdünnter Form durch die Dachbank des Glaukonitkalks vertreten wird, die gegen den Beckenrand infolge zunehmender Kondensation (vgl. WURSTER 1964: 116 f., REIF 1971) bzw. verringerter Kalkproduktion und/oder zunehmender Kalklösung schließlich in das fränkische Grenzbonebed übergeht.

## 6.4 Unterer Keuper (ku), Lettenkeuper- (Erfurt-) Formation (kuL)

Übertageprofile beschreiben THÜRACH (1896) und FRANK (1931) von Bl. 6719 Sinsheim (ehem. Sandsteinbrüche Grombach und Schmollenmühle), THÜRACH (1902) und BRUNNER & BRUDER (1981) von Bl. 6818 Kraichtal (ehemaliger mo-Steinbruch Gochsheim) und BRUNNER (1973) von Bl. 6918 Eppingen (mo-Steinbrüche Richen und Gemmingen) sowie FRANK (1931) und BRUNNER (1973) von Bl. 6720 Bad Rappenau (ehem. mo-Steinbrüche



Untergimpfern, Hüffenhardt, Bonfeld und Fürfeld). Bohrprofile existieren von der Bundesbahn-Neubaustrecke auf den Blättern 6817, 6818 und 6918 (BRUNNER 1980, PÖSCHL 1978). Die beiden Kernbohrungen WSL-H (Abb. 7.2) und TB4, auf die sich die folgende Beschreibung stützt, erschließen auf Bl. 6718 Wiesloch den gesamten Unterkeuper.

Die Mächtigkeit des Unterkeupers erreicht im Kraichgau Werte >30 m, bei Bruchsal 31 m, bei Gemmingen 32 m und in den Bohrungen TB4, KB10 und WSL-H 33–34 m. In den untersuchten Tiefbohrungen wurden Werte von 32–34,5 m ermittelt (Tab.4). Gegliedert wird der Unterkeuper in einen unteren und einen oberen Abschnitt (ku1, ku2), insgesamt werden sieben Formationsglieder unterschieden.

### 6.4.1 Unterer Lettenkeuper (ku1)

#### Basisschichten (B)

Sie erreichen eine Mächtigkeit von 4,55 m (TB4) und sind durch einen zweimaligen Wechsel von Ton- und Karbonat-Horizonten gekennzeichnet. Der unterste Tonhorizont, der sog. *Vitriolschiefer* (VS) besteht aus 1,1–1,3 m mächtigen, dunkelgrauen, schiefrigen Tonsteinen–Tonmergelsteinen. Wenig über der Basis und am Dach stellen sich auch tonige Dolomite ein. Gelegentlich ist eine feine Laminierung durch hellere, mm-starke, pyritische Siltfasern zu erkennen, die z. T. Vertebratensand und verdrückte Grünpillen führen. Auf den Schichtflächen findet man gelegentlich *Lingula*-Schalen, Fischschuppen, Ostracoden-Abdrücke, mm-breite Grabgänge und durch Querplattung entstandene Lineationen. THÜRACH 1902 erwähnt außerdem das häufige Vorkommen von „Bairdien“ und „*Estheria minuta*“. An der Basis kommen 1–3 dünne (bis 5 mm starke), z. T. feinsandige Bonebedlagen vor, die jedoch in beiden Bohrungen vom Glaukonitkalk im Liegenden durch wenige mm Tonstein getrennt sind (s. o.).

Die *Blaubank* (Bk) ist 1,43 m (WSL-H) bzw. 1,68 m (TB4) mächtig und überwiegend dolomitisch ausgebildet. Nur die Basisbank ist in TB4 ein biodetritischer Kalkstein. Etwa in der Mitte ist die Bank durch einen Mergelstein zweigeteilt. Der untere Abschnitt ist durch Schilllagen (Muscheln, Ostracoden) und Bonebeds gekennzeichnet. In der Bohrung TB4 ist dieser untere Abschnitt nochmals durch eine dunkelgraue, 6 cm starke Tonsteinlage geteilt, in der neben Vertebratenresten

auch *Lingula* und Grünpillen vorkommen. Der obere Abschnitt der *Blaubank* besteht überwiegend aus sterilen Dolomiten. In WSL-H tritt darin ein 18 cm starker sandkörniger, poröser, Dolomitstein mit Fischschuppen und pyritischen Muschelschemen auf, bei dem es sich primär um einen Schillkalk gehandelt haben dürfte. Auf Klüften kommen Pyrit und Zinkblende vor. In TB4 ist ein 42 cm mächtiger hellgrauer, wolkiger bis mosaikartiger Gips mit dunkelgrauen Mergelsteinfasern ausgebildet, der vermutlich aus einer Gipskruste in einem Sabkha-Milieu hervorgegangen ist.

Bei den folgenden *Dolomitischen Mergelschiefern* (DMS) handelt es sich wieder um einen schiefrigen Tonstein. Auf manchen Schichtflächen tritt feiner Biodetritus in Form von Ostracoden, Fischresten, Koprolithen und „*Estherien*“ auf. Neben mm-starken Fucoiden kommen bis 4 mm breite Grabgänge vor, die ebenfalls Biodetritus enthalten. In der unteren Hälfte sind die Schichtflächen z. T. übersät von rundlichen, offenbar flachgedrückten Gebilden von 0,2–0,8 mm Durchmesser. Sie wurden vorläufig als „Tonooide“ bezeichnet, jedoch ist ihre Entstehung bisher ungeklärt. ZELLER (1908: 25) beschreibt in den DMS aus dem Strohgäu vermutlich die gleichen Gebilde als rundliche, plattgedrückte Bairdien, „die bei der Zerdrückung ein konzentrisches Aussehen gewonnen haben“. Nach eigenen Beobachtungen treten sie sowohl in den Dolomitischen Mergelschiefern als auch im Estherienton 1 regelmäßig auf. Nach oben geht der Tonstein in einen dolomitischen Mergelstein mit Dolomitbänken über, wodurch die Grenze zu den Unteren Dolomiten nicht immer eindeutig zu ziehen ist.

Die *Unteren Dolomite* (UDO) bestehen aus einem unten bräunlichen, porösen, gegen oben grauen, dichten Dolomit. In TB4 tritt anstelle des porösen Dolomits eine 10 cm starke Gipslage auf. Im Gegensatz zur Schillführung in manchen Profilen (BRUNNER 1973) finden sich nur in TB4 fragliche pyritische Muschelschemen.

#### Estherienton (ES)

Dieser Tonhorizont mit einer Mächtigkeit bis zu 5 m wird durch zwei 60–70 cm mächtige, teilweise tonige Dolomitlagen (Dolomit 1 und Dolomit 2) untergliedert. Die schiefrigen Tonsteinhorizonte führen Conchostraken und Ostracoden vereinzelt oder in (meist getrennten) Pflastern und gelegentlich *Lingula*. Neben pyritischen Fucoiden findet man auch Biodetritus-führende Grabgänge. In

WSL-H kommen sowohl im ES1 als auch im ES2 die bereits erwähnten „Tonooide“ vor. Der Hinweis von THÜRACH (1902, Bl. 6818 Kraichtal) auf „einzelne Lagen voll von Brut von *Estheria*“ im ES1 dürfte vermutlich den gleichen Problematika gelten. Feine helle, kalkige Siltlagen oder -flasern, die z. T. bläulichgrün gefärbte Grünpillen enthalten, sind insbesondere im ES2 und ES3 vertreten.

Kennzeichnend für den ES3 ist feines kohliges (z. T. pyritisches) Pflanzenhäcksel, das nach oben gröber wird und Reste von Schachtelhalmen, Sporophylle von *Annalepis zeileri* sowie vertikale humose Wurzelspuren enthält. In TB4 sind die obersten 60 cm, in WSL-H die obersten 5 cm ungeschichtet und durchsetzt von unregelmäßigen, vermutlich pedogenen Harnischen. Die kohliges Pflanzenreste verschwinden in TB4 in den obersten 23 cm wieder, vermutlich infolge Oxidation. Dies sind Anzeichen für eine erstmalige Emersion im Lettenkeuper, wenn man von der mosaikartigen Gipskruste im oberen Abschnitt der Blaubank absieht. GRAUVOGEL-STAMM & DURINGER (1983) und DURINGER (1987) beschreiben aus dem Profil von Wasselonne in der Zabern-Senke (Frankreich, Elsass) den gleichen pflanzenführenden Bodenhorizont. In Baden-Württemberg ist er offenbar nur in wenigen Profilen ausgebildet (vgl. WURM et al. 1997: 113) bzw. von der nachfolgenden Erosion verschont worden.

#### Hauptsandsteinschichten (HSS)

Die Hauptsandsteinschichten werden eingeleitet durch eine Erosionsphase, die jedoch in der „Normalfazies“ allenfalls an einer verringerten Mächtigkeit des Estherientons und dem Fehlen des oben genannten Bodenhorizonts festgestellt werden kann. In den Bohrungen TB4 und WSL-H sind die Hauptsandsteinschichten in „Normalfazies“ mit Mächtigkeiten von 4,4 bzw. 4,8 m ausgebildet. Von den Estherienschiefern unterscheiden sie sich durch einen etwas höheren Schluffanteil und einen Feinsandgehalt, der von unten nach oben meist erst allmählich zunimmt. Die Grenze zum Estherienton ist daher insbesondere bei fehlendem Bodenhorizont nur schwer auszumachen. Gelegentlich wird sie jedoch markiert durch ein geringmächtiges Aufarbeitungsbonebed (TB4). Charakteristisch für die dunkelgrauen, feinsandigen Schlufftonsteine sind helle < 1 mm- bis cm-dünne, Siltflasern- und -lagen. Diese Laminierung ist häufig durch Bioturbation gestört. Im untersten Abschnitt kommen vereinzelt biodebitrische Lagen mit Estherien, Ostracoden, Fischschuppen und Koprolithen vor. Eingeschaltet fin-

den sich nach oben zunehmend fein- bis schrägschichtete, teils bioturbate Feinsandsteine. In WSL-H schließen sie sich etwa 1,7 m über der Untergrenze zu einem 1,7 m mächtigen, z. T. schwach dolomitischen Sandsteinhorizont zusammen. Darin kommen Rippelschichtung, sandgefüllte Grabgänge und Entwässerungsrisse vor. Häufig ist kohliges Pflanzenhäcksel, gelegentlich finden sich auch sanderfüllte Wurzelröhren. Etwa 0,6 bzw. 0,8 m unter der Obergrenze tritt ein schwarzgrauer, ungeschichteter Schlufftonstein mit kohliges Pflanzenresten und schwarzen Wurzelspuren auf.

Über diesem Wurzelhorizont folgen noch 0,6–0,8 m feinsandige Schlufftonsteine mit einzelnen Sandsteinbänkchen und -flasern, die meist intensiv durchwühlt sind. In TB4 wurden darin auch Grünpillen beobachtet. Genetisch dürfte es sich hierbei bereits um die Einleitung einer neuen randmarinen Überflutung handeln. Die von BENECKE & COHEN (1881) bereits im Liegenden der ALBERTI-Bank erwähnte Muschellage (s. u.) mag diesem Niveau angehören.

Neben der Normalfazies tritt auch im Kraichgau die Flutfazies auf, die in z. T. bis auf die Basisschichten reichenden Erosionsrinnen abgelagert wurde. Der darin vorkommende Werksandstein wurde früher in Mächtigkeiten bis 9 m in mehreren Steinbrüchen abgebaut (s. die jeweiligen Erläuterungen zur GK 25). Die am besten untersuchten Profile sind die von Grombach und der Schmollenmühle bei Sinsheim (BENECKE & COHEN 1881: 430 f., THÜRACH 1896: 23 f., FRANK 1931: 477 f., BRUNNER 1973: Abb. 17). Die Mächtigkeit des abbauwürdigen Sandsteins wird dort mit 7–9 m angegeben, die Mächtigkeit der gesamten Hauptsandsteinschichten (bis zur Basis der ALBERTI-Bank) beträgt an der Schmollenmühle nach BENECKE & COHEN (1881) und FRANK (1931) mindestens 13 m. In der Bohrung LGB-1 betragen nach Kernbeschreibung SPS + HSS zusammen knapp 15 m. Die Sandsteinfazies reicht hier bis auf den DL1 hinunter.

#### ALBERTI-Schichten (ABS)

Der 4,1–4,4 m mächtige Horizont beginnt mit einer karbonatischen Lage, der ALBERTI-Bank (Ab), die einen hochstehenden Meeresspiegel anzeigt. Im Stromberg und Kraichgau tritt diese in zwei unterschiedlichen Fazies auf: als mikritischer Dolomitstein (vornehmlich über HSS-Normalfazies) und als muschelführender, glaukonitischer Karbonatsandstein (meist über bzw. innerhalb der HSS-Flutfazies). In WSL-H folgt über einem 10 cm-starken



dolomitischen, Glaukonit-führenden Sandstein ein mikritischer Dolomitstein von 0,5 m mit einzelnen dünnen Feinsandlagen, die gleichfalls (glaukonitische) Grünpillen führen. Neben 1–5 mm kleinen Kalzitdrusen wurden in der oberen Hälfte einzelne mm- bis cm-dicke Gipslagen beobachtet. In TB4 besteht der 0,7 m mächtige Horizont dagegen aus einem dolomitischen bis kalkigen Feinsandstein, mit Grünpillen bis 0,4 mm Größe und einzelnen Muschelschemen. Im Profil Schmollenmühle (Flutfazies) führt der ebenfalls dolomitische, Glaukonit-führende Sandstein nach THÜRACH (1896: 24) die Muscheln *Myophoria goldfussi*, *M. struckmanni*, *M. intermedia*, *Gervillia socialis*, *G. subcostata*, *Anoplophora* sp., *Corbula* sp. sowie Gastropoden und Vertebratenreste. Nach BENECKE & COHEN (1881: 431) tritt eine erste muschelführende Bank bereits in den liegenden 2 m mächtigen „sandigen, grauen Mergeln“ auf.

Das Nebeneinander beider Fazies kann man sich so vorstellen, dass die ehemaligen Flussrinnen und Flussmündungen zu Ästuaren oder Prielen umgewandelt wurden, in denen sich marine Bedingungen mit intensiver Sandumlagerung einstellen konnten, während sich auf den ehemaligen, evtl. noch durch Uferdämme abgetrennten Überflutungsebenen unter höher salinaren Bedingungen frühdiagenetischer Dolomit und z. T. auch Gips absetzte.

Die Sandigen Pflanzenschiefer (SPS) erreichen eine Mächtigkeit von 3,4 m (TB4) bzw. 3,8 m (WSL-H). Im Profil Schmollenmühle sind es 4,2 m (FRANK 1931). Sie setzen mit einem geringmächtigen, laminierten, lagenweise bioturbaten Schlufftonstein ein, der Estherien führt. Darüber folgen sandige Schlufftonsteine mit Pflanzenresten und meist bioturbaten Feinsandsteinlagen bis 0,7 m Dicke, die im untersten Abschnitt noch Feinschichtung zeigen und glaukonitische Grünpillen enthalten. Bereits 35 cm über der ALBERTI-Bank stellen sich die ersten teils kohligen, teils sanderfüllten Wurzelröhren ein. Nach oben verliert sich die Feinschichtung. Es treten ungeschichtete, sandige und z. T. kohlige Schlufftonsteine mit Wurzelspuren auf. In TB4 ist 1,8 m über der ALBERTI-Bank (= 1,3 m unter der Anthrakonitbank) ein 0,3 m dicker, überwiegend kalkiger Horizont mit weißlichen Feinschichtlagen eingeschaltet, die hauptsächlich aus Ostracodenschälchen bestehen. An seiner Basis ist eine bonebedartige Anreicherung von Fischresten ausgebildet. Bei dieser als „Sinsheim-Bank“ bezeichneten Lage dürfte es sich um eine lakustrine Bildung handeln, die nicht durchgehend vorkommt.

Gelegentlich sind auch die Sandigen Pflanzenschiefer in Rinnenfazies ausgebildet, wobei offenbar die ehemaligen Hauptsandstein-Rinnen wieder aktiviert wurden. In diesen Fällen fehlt meist die ALBERTI-Bank, sie ist entweder nicht (deutlich) ausgebildet oder erodiert. Die beiden Sandsteine lagern in diesen Fällen unmittelbar aufeinander und sind nicht mehr zu unterscheiden, wie z. B. in den Profilen Fürfeld und Gemmingen-Richen (FRANK 1931, BRUNNER 1973, vgl. auch BRUNNER 1980: Abb. 2). Die erste Bank über der Sandsteinfazies ist in diesen Fällen nicht die ALBERTI-Bank, sondern die (untere) Anthrakonitbank (s. u.), was gelegentlich übersehen wurde, wie z. B. im Profil Ilsfeld bei PÖPPELREITER (1999).

## 6.4.2 Oberer Lettenkeuper (ku2)

### Anoplophoraschichten (AP)

Unter diesem Begriff werden die 6,8 m messenden Schichten von der Anthrakonitbank bis zu den Oberen Grauen Mergeln zusammengefasst. Die einzelnen Horizonte sind durch Übergänge und laterale Wechsel gekennzeichnet, so dass sie nicht immer exakt gegeneinander abgegrenzt werden können.

Der 1,4 m (WSL-H) bis 1,9 m (Grombach, FRANK 1931) mächtige Horizont der Anthrakonitbank (HAK) besteht aus zwei Dolomitbänken, denen ein tonig-sandiger Horizont, der den Sandigen Pflanzenschiefern ähnelt, zwischengeschaltet ist. Dies ist vermutlich der Grund dafür, dass FRANK (1931) in den Profilen Grombach (Bl. 6719), Fürfeld (Bl. 6720) und Untergimpfern (Bl. 6720) diese Zwischenschicht einschließlich der unteren Bank noch zu den Sandigen Pflanzenschiefern rechnet. Auch ZELLER (1908: 30) hatte Schwierigkeiten, die ALBERTI-Bank und die beiden Anthrakonitbänke im Profil Grombach richtig einzuordnen. In anderen Aufschlüssen und Bohrungen mag die untere Bank zu Verwechslungen mit der ALBERTI-Bank (z. B. bei mächtiger Flutfazies, in der die ALBERTI-Bank oft fehlt) oder zur Bezeichnung einer zweiten ALBERTI-Bank Anlass gegeben haben.

Die Basis des HAK ist jedoch in der Regel an einer geringmächtigen, plattigen, kalkigen und z. T. sandigen Schlufftonsteinlage unmittelbar im Liegenden der unteren Anthrakonitbank zu erkennen. Dieser „Liegendton“ lässt sich weit nach S verfolgen und ist durch das Vorkommen von glaukonitischen Bonebedlagen und marinen Muscheln, gelegentlich ganzen *Placunopsis*-Biohermen (AIGNER & ETZOLD 1999: 52), gekennzeichnet. In TB4 ist der Liegendton

8 cm stark und enthält ein Bonebed mit zahlreichen Ganoidschuppen, Zähnchen und Koprolithen sowie verdrückten Grünpillen. Aus diesem Bonebed konnte R. BÖTTCHER (SMNS) folgende Fischreste identifizieren: Zähnchen von Knorpelfischen: *Hybodus plicatilis*, *Acrodus lateralis*, *Polyacrodus* sp., *Lissodus nodosus*, Zähnchen von Knochenfischen: *Saurichthys* sp., Ganoidschuppen (*Gyrolepis* sp. u.a.), Zähnchen von Actinopterygiern sowie Elemente von Coelacanthiden-Flossenstrahlen (Quastenflosser). In WSL-H dürfte dem Liegendton ein bräunlichgrauer Dolomitstein mit Feinsandlagen und abschließender Tonsteinlage entsprechen.

Die „Anthrakonitbank 1“ ist ein ca. 55 cm dicker, bräunlichgrauer, geschichteter Dolomitstein, der in WSL-H im untersten Abschnitt (durch Malachit?) blaugrün gesprenkelt ist und *Lingula*-Feinschill sowie Vertebratenreste führt. In den Profilen Schmollenmühle und Grombach ist die Bank 40–80 cm mächtig und enthält nach FRANK (1931: 478) neben „*Estheria minuta*“ und *Lingula tenuissima* verschiedene Myophorien. Im Profil Grombach keilt die Bank nach FRANK (1931: 479) teilweise aus. Die darüber folgende 36–55 cm mächtige Zwischenschicht setzt sich in TB4 und WSL-H aus wechselnden (Schluff-) Tonsteinen mit Feinsandlagen und (Dolomit-) Mergelsteinen zusammen und führt neben Pflanzenhäcksel, Estherien-Pflaster und *Lingula* im untersten Abschnitt der WSL-H verdrückte Grünpillen. In TB4 kommen auch kohlige Wurzelspuren vor. Sie ähnelt so in ihrer Ausbildung stark den Sandigen Pflanzenschiefern. Abgeschlossen wird der Horizont durch eine massive „Anthrakonitbank 2“ von 34 cm bzw. 38 cm Dicke. Im Profil Grombach erreicht sie nach FRANK (1931: 479) eine Mächtigkeit von 90 cm und enthält dort eine reichhaltige, eingeschränkt-marine Muschelfauna.

Die rund 1,4–1,5 m mächtigen Unteren Grauen Mergel (UGM) bestehen aus feingeschichteten, dunkelgrauen Schlufftonsteinen mit feinen, hellen, kalkigen, meist bioturbaten Feinstsandsteinlagen oder -fläsen und führen z.T. Pflanzenhäcksel. In WSL-H kommen Dolomitsteinbänke und im unteren Abschnitt auch bis 16 cm dicke Feinsandsteinlagen vor, die man evtl. noch zum HAK rechnen kann (s. Abb. 7.2).

Der 2,4–2,5 m mächtige Anoplophoradolomit (Ad) (inkl. Anoplophorasandstein) setzt sich aus Dolomitlagen, Sandsteinen (in TB4 mit Pflanzen und Wurzelspuren) und Schlufftonsteinen zusammen, die sich jedoch zwischen den beiden Bohrungen nicht parallelisieren lassen. Möglicherweise wurden in

TB4 Bohrkerne vertauscht (s. Profilbeschreibung), so dass dort eine klare Untergliederung nicht möglich ist. Die Dolomite im unteren Abschnitt (Unterer Anoplophoradolomit) sind z.T. sandig und enthalten Muschelreste und (glaukonitische?) Grünpillen. Der Anoplophorasandstein setzt sich aus tonflaserigen Feinsandsteinen und Schlufftonsteinen mit Pflanzenhäcksel zusammen. In TB4 kommen auch Wurzelröhren vor. Der Obere Anoplophoradolomit ist in WSL-H ein 0,75 m mächtiger, bräunlichgrauer bis schwarzgrauer Dolomitstein mit feinen Sandlagen und Tonsteinfugen, die gelegentlich *Lingula*-Reste und Estherien-Pflaster enthalten.

Die 1,4–1,5 m mächtigen Oberen Grauen Mergel (OGM) sind im unteren Abschnitt durch feine Silt-/Feinsandlagen bzw. -linsen laminiert und führen vereinzelt *Lingula*, Estherien sowie kohliges Pflanzenhäcksel. Nach oben gehen die dunkelgrauen schieferigen Tonsteine in überwiegend ungeschichtete grünlichgraue Tonmergelsteine über. Der Horizont wird oben durch einen massigen, grünstichigen Dolomitstein abgeschlossen, der in TB4 pedogene Harnische erkennen lässt und als Krustendolomit gedeutet wird.

Die Anoplophoraschichten lassen somit vier transgressiv-regressive Zyklen erkennen:

- 1) „Anthrakonitbank 1“–„Zwischenschicht“,
- 2) „Anthrakonitbank 2“–Untere Graue Mergel,
- 3) Unterer Anoplophoradolomit–Anoplophorasandstein und
- 4) Oberer Anoplophoradolomit

#### Lingulaschichten (LI)

Der 3,8 m (TB4) bis 4,6 m (WSL-H) mächtige Horizont setzt sich zusammen aus einem unteren und einem oberen Dolomit und dem zwischengeschalteten Lingulasandstein. Im GR-Log ist er durch eine Doppelspitze geringer Strahlungsintensität fast immer gut zu erkennen.

Der Untere Linguladolomit (Ldu) wird bis 2,4 m mächtig und ist durch meist dünne, dunkelgraue Ton- und Mergelsteinfugen gut gebankt. Eine dickere, bis 25 cm starke Tonsteinlage tritt etwa 0,3 m unter der Obergrenze auf. Die Tonsteinfugen enthalten z.T. *Lingula*- und Estherien-Pflaster, Fischreste und (selten) Grünpillen. Nur gelegentlich treten in den Dolomitbänken Kalzitdrusen bis 3 cm Durchmesser auf. In TB4 sind die untersten 0,8 m lagenweise bioturbat.



Die darüber folgende Wechsellagerung von Feinsandsteinen, Dolomiten und z. T. dolomitischen Mergelsteinen kann man als Verzahnungsbereich zwischen den Ausläufern des *Lingulasandsteins* (LIS) bzw. des Oberen Sandsteins in bayerisch Franken und der Dolomitfazies im SW betrachten. Die Schlufftonsteine an der Basis führen in WSL-H „Estherien“, *Lingula*, Vertebratensand und Grünpillen. Zum Teil kommen auch in den Sandsteinen Grünpillen vor (TB4), zuoberst treten kohlige Pflanzenreste auf. Über diesen sandigen Schichten unterschiedlicher Mächtigkeit (TB4: 0,95 m, WSL-H: 1,60 m) folgt ein kompakter 0,6 m mächtiger, grauer bis schwarzbrauner, geklüfteter Dolomit mit welligen Mergelfugen, die z. T. Vertebratenreste und Grünpillen enthalten. Dieser Dolomit entspricht dem Oberen Linguladolomit, mit dem ein zweiter transgressiver Zyklus in den Lingulaschichten beginnt (ETZOLD & SCHWEIZER 2005). Darüber wurde in TB4 ein 0,28 m großer Hohlraum mit Resten von eingedicktem Schweröl angetroffen. Der Hohlraum dürfte durch Auslaugung von Gips entstanden sein. In der Bohrung KB10 ist im selben Niveau ein 0,4 m mächtiger unreiner Gips erhalten. Stratigraphisch ist das Sulfat am Top des Linguladolomits mit dem Böhrlingen-Gipshorizont im südlichen Baden-Württemberg gleichzusetzen.

Im Kraichgau wurde früher der Linguladolomit – wie in Baden üblich – als Grenzdolomit angesehen. Die Grünen Mergel darüber rechnete man bereits zum Gipskeuper und bezeichnete sie als „Grundgipsschichten ohne Quarzbrekzie“ (FRANK 1930b: 31, 1931: 499). Diese Grenzziehung wird offenbar in anderen Keuperregionen noch heute angewandt. So dürfte die 3,85 m mächtige „Grenzdolomitregion“, die LAEMMLEN (1996) aus dem Fuldaer Graben beschreibt, eher dem Linguladolomit als den fränkischen Grenzdolomit entsprechen. Der darin enthaltene Feinsandstein, der mit dem Lingulasandstein gleichgesetzt werden kann, unterstützt diese Deutung.

#### Grenzsichten (GRE)

Grüne Mergel und Grenzdolomit werden als Grenzsichten zusammengefasst und erreichen in den beiden Referenzbohrungen eine Mächtigkeit von ca. 4,7 m. Die Grünen Mergel (GRM) bestehen überwiegend aus ungeschichteten, grauen bis grünlichgrauen, dolomitischen Mergelsteinen, die z. T. in knollige, tonige Dolomite übergehen. In TB4 kommen unten (über einer dm-starken, knolligen Dolomitlage) 0,65 m laminierte, mittel- bis dunkelgraue Mergelsteine vor, die vereinzelt

Muschelabdrücke, Estherien, Bactryllien und Grabgänge enthalten. Die darüber folgenden 2,85 m messenden, grünlichgrauen, zuoberst leicht blaviolett gefleckten Mergelsteine sind ungeschichtet und enthalten gelegentlich 1–5 cm-große Gipslinsen bzw. Kalzitdrusen und pedogene Harnische. Daneben treten vereinzelt mehr oder weniger vertikale, schwarze, humose Schlieren auf, die als Wurzelspuren gedeutet werden. Die Grünen Mergel lassen somit entgegen PÖPPELREITER (1999), der die Entschichtung durch Bioturbation deutet, über einem transgressiven einen deutlich regressiven Halbzyklus erkennen.

Der insgesamt 0,7–1 m mächtige Grenzdolomit (Gd) tritt in zwei Fazies auf: unten wenige dm als mikritischer Dolomit, darüber 0,55–0,80 m als poröser, fossilführender Oolith mit dolomitischer, in TB4 zuoberst auch sulfatischer Matrix. In ausgeaugten Profilen sind die dolomitischen, 0,2–0,6 mm großen Ooide innen oft hohl. In WSL-H ist der Oolith stellenweise zu einem lockeren Dolomitsand zerfallen. An Muscheln konnte in TB4 *Costatoria goldfussi* identifiziert werden. In den Bohrungen bei Knittlingen (s. u.) kommen flache Dolomit-Gerölle und Vertebratenreste vor. Im Lösungsrückstand einer Probe wurde Quarzsand bis maximal 1 mm Korngröße festgestellt. Die oolithische Fazies scheint für den westlichen und südwestlichen Kraichgau charakteristisch zu sein und wurde bisher insbesondere auf den Blättern 6717 Waghäusel (LGB-1), 6817 Bruchsal, 6818 Kraichtal, 6917 Weingarten, 6918 Bretten, 7018 Pforzheim-Nord und 7019 Mühlacker nachgewiesen (LUTZ & ETZOLD 2003: 73, FRANK 1931: 500, SCHNARRENBERGER 1903: 10, THÜRACH 1907: 11, BRILL 1929: 26, BRUNNER 1980: 211 f., PÖSCHL 1978, Anh. 7, WURM et al. 1997: 108). Die größte Mächtigkeit des Grenzdolomits im Kraichgau wurde bisher mit 1,9 m in der Bohrung P29 bei Knittlingen (LGRB Archiv-Nr. 6918/311) festgestellt, wobei auf die Oolithfazies 1,4 m entfallen. Nach NE scheint die Oolithfazies auszuweichen. Sie fehlt bereits im Profil Gemmingen auf Bl. 6819 Eppingen (ETZOLD & SCHWEIZER 2005, Abb. 2).

Verwechslungsmöglichkeiten können sich u. U. mit der Muschelbank 1 in den Grundgipsschichten (km1) ergeben, die gelegentlich als oolithischer Gips ausgebildet ist, so z. B. in einer weiteren Bohrung bei Knittlingen (LGRB-Archiv-Nr. 6918/310) oder bei Mühlacker (WURM et al. 1997: 107). Weder in WSL-H noch in TB10 konnte jedoch ein zweiter oolithischer Gips bzw. entsprechende Auslaugungsresiduen in den Grundgipsschichten festgestellt werden.

Im GR-Log der Bohrung LBQ bildet der Grenz-dolomit eine erste Spitze geringer Strahlung an der Basis der Grundgipsschichten. Auch in den Widerstandslogs der Tiefbohrungen ist meist eine separate Spitze ausgebildet. Oft ist diese jedoch nicht deutlich ausgebildet oder sie verschmilzt mit den darüber folgenden Sulfatspitzen. Dies ist ein Grund dafür, warum die Grenze zwischen den leitflächenstratigraphisch definierten Keuperfolgen k1 und k2 im Dach der Grünen Mergel gezogen wird (vgl. NITSCH 1996: 244 ff., LUTZ & ETZOLD 2003: 73, LUTZ 2005).

Erwähnt sei an dieser Stelle das Auftreten von Schweröl als Imprägnierungen und besonders auf Klüften in den Bohrungen WSL-H und TB4. Die Vorkommen beschränken sich auf die Grünen Mergel, den Linguladolomit, die Unteren Dolomite (nur TB4), die Blaubank und den untersten Glaukonitkalk (nur TB4). Während in der WSL-H nur geringfügige Imprägnierungen und Reste auf Klüften beobachtet wurden, ist in TB4 das Öl z. T. aus den Klüften in die Kernkisten ausgelaufen, wo es zu einer asphaltartigen Masse eingedickt ist. Diese Restöle muss man vermutlich in Zusammenhang mit dem Erdölfeld Rot (Bl. 6717 Waghäusel) im Oberrheingraben sehen, in dem die Öl- und Gasführung i.W. auf den Unterkeuper beschränkt ist. Nach SCHAD (1962) können die Kohlenwasserstoffe im Feld Rot aus benachbarten Tertiärschollen hergeleitet werden.

## 6.5 Gipskeuper-(Grabfeld-) Formation (km1)

Die Gipskeuper-Formation wird durch die sich überlappenden Bohrungen RAU-2 (Abb. 6) und WSL-H (Abb. 7.1) erschlossen. Zusätzlich durchteuft die Bohrung RAU-1 (Abb. 5.2) den Oberen Gipskeuper bis in die Unteren Bunten Estherien-schichten. Wegen des tiefliegenden Gipsspiegels (RAU-1: 111 m, RAU-2: 57,3 m, WSL-H: vollständig ausgelaugt) liegen z. T. nur Auslaugungsprofile vor, in denen eine Abgrenzung der einzelnen Horizonte erschwert ist. Im Unteren Gipskeuper kann diese Lücke durch die Bohrung Sinsheim-KB10, die neu interpretiert wurde, geschlossen werden (s. Kurzprofil Kap. 5.2 und Abb. 3.2).

Im ausgelaugten Gebirge ist das Schichtgefüge stark aufgelockert und durchsetzt von Faserkalkzit (aus Fasergips hervorgegangen) sowohl auf La-

gerfugen als auch Klüften und Rissen. Dies gilt auch für die höheren Sulfat-führenden Schichten in der Bunten Mergel-Formation und im Unteren Stubensandstein. Kennzeichnend sind Gipsauslaugungsresiduen (GAR), die aus Quarzschluff und/oder Dolomitschluff und tonigen Verunreinigungen bestehen und oft von Sekundärkalkzit durchsetzt und verkittet sind. Teilweise ist auch gröberer kristalliner Quarz daran beteiligt („Quarzbrekzien“ THÜRACHS). Die Mächtigkeit der ausgelaugten Sulfatschichten ist entsprechend reduziert (s. u.).

In den Teufenbereichen, in denen das Sulfat zu Gips hydratisiert ist, nimmt die Mächtigkeit gegenüber der Anhydritausbildung deutlich zu (s. u.). Diese Bereiche sind oft intensiv von Fasergips auf Lagerfugen, Rissen und Klüften durchsetzt, die allein schon eine Mächtigkeitszunahme verursachen. Gegenüber dem weißen Fasergips fallen bis mehrere cm-dicke, rosa-farbene Fasergipsrisse auf, die in der tieferen Anhydritfazies ebenfalls aus Anhydrit bestehen und oft durch die Kompaktion ptymatisch gefältelt sind. Sie werden als frühdiaagenetische Bildungen angesehen.

Angaben zur Gesamtmächtigkeit sind in oberflächennahen Profilen problematisch, da sich durch die Hydratation des Anhydrits und die nachfolgende Gipslösung durch vadose Wässer die Mächtigkeitswerte stark verändern. So ist in RAU-2 der Gips bis in den Mittleren Gipskeuper, in WSL-H die gesamte Gipskeuper-Formation ausgelaugt. Eine Kombination beider Bohrungen ergibt daher nur eine Gesamtmächtigkeit von 125 m. Um vergleichbare Mächtigkeitswerte zu erhalten, sollte man sich deshalb auf die intakte Anhydritfazies beziehen oder die ursprüngliche Mächtigkeit durch entsprechende Korrekturen oder Ergänzungen (NITSCH 1996: 133 ff.) abschätzen. Um auch eine Mächtigkeitsreduktion durch das Einschneiden des Schilfsandsteins auszuschließen, ist es sinnvoll Gipskeuper- und Schilfsandstein-Formation als Einheit zu betrachten. In der Erdölbohrung Stettfeld-1 erreichen km1 + km2 mit 168 m (138 m + 30 m) die größte Mächtigkeit. Nach N verringern sich die Werte auf 145 m (135 m + 10 m) in ROT-5 und 138,5 m (125,5 m + 13 m) in WSL-1 (Tab. 4), wobei der zuletzt genannte Wert durch Kleintektonik im Unteren Gipskeuper um einige Meter reduziert sein dürfte. Im Kraichgau ist ursprünglich mit ähnlichen oder allenfalls leicht erhöhten Mächtigkeiten (entsprechend der allgemeinen Mächtigkeitszunahme nach NE) zu rechnen.

Mit Hilfe von zwei Leithorizonten, dem Weinsberg-Horizont (mit der Bleiglanzbank) und der Engelhofen-Platte oder Corbulabank, die schon THÜRACH (1889)



von Franken ausgehend bis nach Lothringen nachweisen konnte, wird die Gipskeuper-Formation in einen unteren, einen mittleren und einen oberen Abschnitt gegliedert.

### 6.5.1 Unterer Gipskeuper (km1u)

Dieser Abschnitt setzt sich aus den Grundgips-schichten, dem Bochingen-Horizont und den Dunkelroten Mergeln zusammen. Die Mächtigkeit beträgt in der vollständig ausgelaugten Bohrung WSL-H 40,6 m und in der Bohrung TB4, in der die Gipsauslaugung bis in die obersten Grundgips-schichten reicht, 64,9 m. In KB10, in der das Sulfat noch fast vollständig intakt, aber bereits zu Gips hydratisiert ist, erreicht die Mächtigkeit einen Wert von 72,9 m. In den Tiefbohrungen, in denen das Sulfat noch als Anhydrit vorliegt, beträgt die größte Mächtigkeit in der Bohrung Stettfeld-1 dagegen nur 58,5 m und nimmt von dort aus nach N auf 46 m in ROT-5 ab (Tab. 4). Unter der Annahme, dass in den Bohrungen Stettfeld-1 und KB10 in etwa die größten Mächtigkeiten in der Beckenachse angetroffen wurden, muss man davon ausgehen, dass die Mächtigkeitsdifferenz von 14 m i. W. auf die Umwandlung von Anhydrit in Gips zurückzuführen ist.

#### Grundgipsschichten (GI)

Die in WSL-H vollständig ausgelaugte, 7,35 m mächtige Schichtenfolge besteht aus einem überwiegend kalkigen, z. T. laminierten Gemisch aus GAR-Schluff und feinkörnigen Ton- und Mergelsteinen von mittel-/hellgrauer bis grünlichgrauer Farbe. In den Vergleichsbohrungen KB10 und TB4 ist das entsprechende geschlossene Gipslager 20,5 m mächtig. Der mehr oder weniger gebänderte, kompakte „Felsengips“ erreicht ca. 6,6 m. In KB10 sind darin drei Dolomitsteinlagen eingeschaltet, die weder Muschelreste noch Ooide erkennen lassen. Darüber folgt „Plattengips“ mit dünnen, grünlichgrauen Tonsteinlagen, rote Farben fehlen. Die geschlossene Sulfatabfolge endet oben mit einer wellig verfalteten Gipslage. In den benachbarten Tiefbohrungen hat der entsprechende Anhydrit, der in den Logs gut zu erkennen ist, eine deutlich geringere Mächtigkeit

#### Bochingen-Horizont (BH)

Dieses insgesamt sulfatarme Intervall ist in dem ausgelaugten Profil WSL-H 11 m mächtig und setzt sich aus drei Abschnitten zusammen. Der untere besteht aus 5,8 m bunten (rotvioletten und

dunkel- bis grünlichgrauen) Tonsteinen mit einzelnen GAR-Schlufflagen. Darüber folgen 1,2 m dunkelgraue, dolomitische Tonmergelsteine mit hellgrauen, kalkigen GAR-Schlufflagen. Diese schließen mit einem tonigen Dolomitsteinbänkchen ab, in dem Muschelreste und Fischschuppen festgestellt werden konnten (Bochingen-Bank?). Der dritte, etwa 4 m mächtige Abschnitt besteht aus dunkelgrauen, schluffigen, z. T. deutlich laminierten, dolomitischen Tonmergelsteinen, die wenig GAR in flachen Linsen und dünnen Lagen enthalten.

In Gipsausbildung (KB10) erreicht der BH eine Mächtigkeit von über 16 m. Der untere, bunte, bis 9 m mächtige Abschnitt enthält dünne Gipslinsen und -lagen, die max. 25 cm mächtig sind. Darüber folgen 3 m überwiegend graue, dolomitische Tonsteine mit geschichteten Gipsbänken bis 0,6 m und einer abschließenden gipshaltigen Dolomitsteinbank (Bochingen-Bank?). Die oberen 4,5 m mächtigen Tonsteine sind dunkelgrau bis graugrün gefärbt. Lediglich 0,6 m unter der Obergrenze wurde eine 35 cm starke, violettstichige Lage beobachtet. Es dürfte sich hierbei um das „Violette Grenzlager“ (BACHMANN 1974) handeln. In den übrigen Bohrungen sind violette Farben in diesem Niveau offenbar nicht entwickelt ist und scheinen auch sonst im Kraichgau weitgehend zu fehlen. WURM et al. (1997: 78) haben daher im Stromberg eine höhere grauviolette Lage für das „Violette Grenzlager“ gehalten (s. u.).

In den Logs der Tiefbohrungen ist der sulfatarme Bochingen-Horizont zwischen den GI- und den DRM-Sulfaten gut zu erkennen. Er ist außerdem charakterisiert durch eine ca. 2,5 m mächtige Sulfat-Doppelspitze, die regelmäßig über der Mitte des Horizonts auftritt und von LUTZ & ETZOLD (2003) als (km1-)u.sf2 bezeichnet wurde. Sie dürfte dem o. g. mittleren Abschnitt entsprechen, der mit der Bochingen-Bank (?) abschließt. Die Mächtigkeit des BH beträgt in den Tiefbohrungen LBQ 15,5 m und Stettfeld-1 15 m.

In den ausgelaugten Gipskeuper-Profilen, die WURM et al. (1997) aus dem Stromberg beschrieben, wurde die Abgrenzung des BH nach Farben vorgenommen. Einerseits wurden die roten und violetten Mergelsteine im unteren Abschnitt noch zu den Grundgips-schichten, andererseits die Sulfatbänke bzw. Gipsresiduen an der Basis der DRM, die im Kraichgau und Stromberg noch keine roten Farben enthalten, zum BH gerechnet. Im Gegensatz dazu erscheint es uns sinnvoller, die Grenzen des BH mit dem Aussetzen bzw. dem Einsetzen der Sulfatfazies zu ziehen (s. u.).

## Dunkelrote Mergel (DRM)

Der Horizont hat seinen Namen nach den vor allem im ausgelaugten Zustand vorherrschenden rotbraunen bis rotvioletten Schlufftonsteinen und dolomitischen Tonmergelsteinen. Er erreicht in ausgelaugtem Zustand (WSL-H) eine Mächtigkeit von 22 m. In KB 10 (Gipsausbildung) beträgt die Mächtigkeit 35,6 m. In Anhydritausbildung wird die größte Mächtigkeit mit jeweils 27,5 m in STF-1 und LBQ erreicht. Die Bohrung RAU-2 musste aus technischen Gründen bei einer Teufe von 109,7 m eingestellt werden. Sie hat daher von den DRM nur die oberen 22 m in Anhydritausbildung erbohrt.

Die nicht ausgelaugten Profile enthalten im unteren Abschnitt überwiegend plattige Sulfate, die als Entringen-Sulfat (LGRB 2005) zusammengefasst werden. Der Horizont ist durch eine scharfe Untergrenze, jedoch einen faziellen Übergang zu den überwiegend dunkelrotvioletten Tonsteinen mit Sulfatknollen im Hangenden gekennzeichnet. In KB10 beginnt er mit einem 4,5 m mächtigen Paket weißer Plattengipse, erst darüber setzen die für das Entringen-Sulfat in Württemberg charakteristischen rotvioletten und karminroten Farbbänder ein (Abb. 3.2). Offenbar verschwinden an der Basis des Sulfatlagers die roten Farben zum Beckentieferen hin, eine Tendenz, die sich bereits im Fehlen roter Farben in den Grundgipschichten des Kraichgaus zeigte. Im Gegensatz zu WURM et al. (1997) wird daher hier die Untergrenze nicht mit der Farbgränze sondern mit dem Einsetzen der Sulfatfazies gezogen (vgl. LUTZ & ETZOLD 2003: 66). In den GR- und R-Logs der Tiefbohrungen tritt dieser Sulfathorizont, der von LUTZ & ETZOLD (2003) im Oberrheingraben als „u.sf3“ bezeichnet wurde, mit Mächtigkeiten von 8–11 m deutlich in Erscheinung (vgl. auch GR-Log der Bohrung LBQ in Abb. 3.2).

Darüber nimmt der Sulfatanteil stark ab und die GR-Strahlung erreicht wenig unter der Bleiglanzbank ein Maximum. Von den „Grauen Horizonten“ WALZENBACHS (1991) wird in der ausgelaugten Bohrung WSL-H der „Mittlere Graue Horizont“ 13,6 m unter dem Weisberg-Horizont vermutet. In den intakten Bohrungen RAU-2 und KB10 liegt dieser Horizont 15,4 und 17,15 m unter dem WEH. Ein „Oberer Grauer Horizont“ wurde in RAU-2 etwa 4 m unter dem WEH festgestellt.

Bei näherer Betrachtung (RAU-2) zeigt sich, dass die DRM aus lakustrinen, transgressiv-regressiven Sedimentationszyklen (vgl. NITSCH 1996) aufgebaut sind, deren Mächtigkeit zwischen 0,4 und 4,5 m

schwankt, wobei Amalgamierungen nicht auszuschließen sind. An der Basis dieser Kleinzyklen, die mit scharfer Untergrenze beginnen, treten geschichtete Sulfate und/oder graue und rote Schlufftonsteine in oft mm- bis cm- feiner Wechselschichtung auf. Darin eingelagert finden sich oft verkieselte, 0,2–1 mm starke Quarz-Siltlagen mit Steinsalzkristallmarken in mm- bis cm-Größe, wie sie bereits von THÜRACH (1896, 1902) auf den Blättern Sinsheim und Kraichtal beschrieben wurden. Nach oben verliert sich die Schichtung. Es folgen polygonal zerfallende, meist graubraune bis rotviolette Schlufftonsteinen mit Hinweisen auf Paläoböden (Trockenrisse, Tepee-Strukturen, pedogene Harnische und Sulfatknollen oder mosaikartigen Sulfatkrusten). Unter dem Binokular lassen die rot-grünen Mischfarben meist eine feine Marmorierung oder Sprenkelung erkennen, die auf die Bildung von Rissbrekzien durch Austrocknung zurückzuführen ist. Ähnliche transgressiv-regressive Kleinzyklen wurden von HAUSCHKE (1987, 1989) und HAUSCHKE & RÖHL (1988) im Gipskeuper des Lippischen Berglands näher untersucht und als Playasee-Playa-Kleinzyklen gedeutet. In RAU-2 wurden in dem erbohrten Abschnitt der DRM (obere 22 m) 15 Sedimentationszyklen gezählt. Der Anteil der geschichteten Fazies nimmt nach oben ab und beträgt insgesamt etwa 22%.

## 6.5.2 Mittlerer Gipskeuper (km1m)

Der mittlere Abschnitt des Gipskeupers setzt sich aus dem Weinsberg-Horizont (WEH) und dem Mittleren Gipshorizont (MGH) zusammen. Er wird in einer Mächtigkeit von 48–49 m in RAU-2 und KB10 erschlossen. Die Schichtenfolge ist jedoch in RAU-2 etwa zur Hälfte, in KB10 vollständig ausgelaugt, so dass uns aus diesem Abschnitt kein ungestörter Bohrkern zur Verfügung steht. In anhydritischer Ausbildung der benachbarten Tiefbohrungen wurden Mächtigkeiten von 55,5 m (STF-1) bis 50 m (WSL-1) ermittelt (Tab. 4).

### Weinsberg-Horizont (WEH)

Über den leuchtend roten Farben der DRM folgen graue Farbtöne. Dieser auffallende Farbwechsel wenig unter der Bleiglanzbank wird im Allgemeinen für die Grenzziehung km1u/m herangezogen. Die Farbgränze entspricht jedoch nicht genau der Faziesgränze. Unmittelbar unter der Bleiglanzbank lässt sich auch in ausgelaugten Profilen eine grünlichgraue Reduktionszone erkennen, die genetisch noch zu den DRM zu rechnen ist. In den hier



bearbeiteten Bohrungen hat sie eine Mächtigkeit von 0,2–0,8 m und ist gekennzeichnet durch Schichtungslosigkeit, pedogene Harnische und knollige Sulfate sowie einen Übergang zu den roten Schlufftonsteinen im Liegenden. Erst darüber folgt mit scharfer Grenze der dunkelgraue Weinsberg-Horizont in einer Mächtigkeit bis 0,9 m.

Der WEH ist heterogen aufgebaut, er setzt sich aus der Bleiglanzbank bzw. seinen Vertretungen und den sie begleitenden dunkelgrauen bis schwarzgrauen, laminierten, dolomitischen Mergelsteinen und Schlufftonsteinen zusammen. Die Laminierung kommt durch sehr feine, helle Siltlagen zustande, auf denen gelegentlich Steinsalzkristallmarken zu erkennen sind. Die Bleiglanzbank wird in den beiden Forschungsbohrungen RAU-2 und WSL-H von etwa 1–6 cm großen, dunkelgrauen bis beige Dolomitsteinknollen vertreten. In RAU-2 kommt darunter auch ein fossilfreies, toniges, feinlaminiertes Dolomitsteinbänkchen von 6 cm Stärke vor. Daneben treten bis cm-dicke, z. T. entherolithisch verfälschte Anhydritlagen auf. Bezeichnend für die Basis des Transgressionshorizonts sind dünne, helle Sandlagen mit Quarzkörnern bis 0,4 mm Größe (vgl. ETZOLD & SCHWEIZER 2005). Die Obergrenze des WEH ist unscharf und wird dort gezogen, wo die laminierten dunkelgrauen Mergelsteine in ungeschichtete, grünlichgraue Schlufftonsteine mit pedogenen Harnischen und Sulfatknollen übergehen. Der WEH entspricht somit dem transgressiven Abschnitt eines Kleinzyklus, der in diesem Fall marin beeinflusst ist. Eine Fossilführung wurde in den Bohrungen nicht beobachtet und ist nach WEINELT (1955: 59) in der „Beckeninneren Zone“ auch nicht zu erwarten. Als nur 7 cm starkes, steriles Steinmergelbänkchen wurde die Bleiglanzbank auch bei Sinsheim beobachtet (THÜRACH 1896: 28). Erst auf den südlich angrenzenden Kartenblättern (z. B. bei Eppingen, Bl. 6819) zeigt sich die Bank in ihrer typischen Fazies mit marinen Muscheln, Bleiglanz und groben Quarzkörnern (THÜRACH 1901: 34, SCHNARRENBURGER 1903, FRANK 1930b, SCHWEIZER & KRAATZ 1982: 54).

In den geophysikalischen Logs der Tiefbohrungen ist der WEH nicht so leicht auszumachen. Im GR-Log der LBQ ist er wenige Meter über dem Strahlungsmaximum in den obersten DRM an dem ersten kleinen Minimum zu erkennen. Eine Orientierung bietet auch die erste kräftige „Sulfatspitze“ im Mittleren Gipshorizont etwa 7 m über dem WEH. In gleicher Position wurde der Horizont auch in den Rheintalbohrungen anhand der Widerstandskurven identifiziert (LUTZ & ETZOLD 2003).

### Mittlerer Gipshorizont (MGH)

Der Mittlere Gipshorizont setzt sich aus z. T. dolomitischen, grauen, gegen oben zunehmend roten Schlufftonsteinen und teils geschichteten, teils knolligen Sulfaten zusammen, die im Kraichgau meist tiefgründig ausgelaugt sind. Auch in RAU-2, die den Horizont vollständig erschließt, ist der Gips in den oberen 20 m ausgelaugt. Zur Orientierung insbesondere in ausgelaugten Profilen hat BRUNNER (1988) eine Gliederung in vier „Komplexe“ nach Leitbänken vorgenommen. Da von den diesen allenfalls die Nenzenheim-Bank 1,5 m und die Enzlar-Bank 8,7 m unter der Corbulabank vermutet werden können, ist eine Korrelation mit der BRUNNERSchen Gliederung, wie sie z. B. im Raum Heilbronn von BRUNNER & HINKELBEIN (2000) vorgenommen wurde, nur teilweise möglich. Deutlich zu erkennen ist jedoch eine Farbgliederung in vier Abschnitte, die für die Orientierung in dem >50 m mächtigen Horizont hilfreich sein mag (s. Abb. 6).

Der unterste etwa 15 m mächtige Abschnitt 1 besteht aus überwiegend dunkelgrauen Schlufftonsteinen, in die sich nach oben z. T. grauviolette und schließlich rote Lagen einschalten. Der Sulfatanteil beschränkt sich auf Sulfatknollen-Lagen und Sulfatbänke bis wenige dm Dicke. Lediglich rd. 7 m über dem WEH tritt ein geschichteter Anhydrit in einer Mächtigkeit von 0,6 m auf, der auch in den Logs gut zu erkennen ist und mit weiteren begleitenden Sulfatlagen dem „m.sf1“ in LUTZ & ETZOLD (2003) entspricht. In der Bohrung RAU-2 lassen sich hier z. T. ähnliche transgressiv/regressive Kleinzyklen mit den entsprechenden Gefügen erkennen, wie wir sie bereits aus den DRM beschrieben haben. In den geschichteten Partien kommen darin gleichfalls mm–cm starke, kieselige Siltsteinplättchen mit Steinsalzkristallmarken vor (vgl. auch THÜRACH 1902).

Darüber folgen wieder graue Schlufftonsteine, die mit einer Meter-mächtigen roten Lage abschließen. Dieser Abschnitt 2 ist 13,5 m mächtig und besonders im Mittelteil durch zahlreiche Sulfatbänke gekennzeichnet. Hier wurde bei 64,5 m Teufe in einer gekröseartig deformierten Gipslage ein deutlicher Salzgeschmack festgestellt. Wie die geringfügigen Salzvorkommen auf Bl. 6818 Kraichtal (THÜRACH 1902) dürfte dies ein Hinweis sein auf einen Ausläufer der in Lothringen und in der Champagne mehrere Zehner Meter mächtigen Salzlager im Mittleren und Oberen Gipskeuper (s. u.).

Der Abschnitt 3 besteht aus einem 11 m mächtigen, mehr oder weniger geschlossenen Sulfatlager, das in RAU-2 größtenteils ausgelaugt ist und aus aschgrauen, meist feingeschichteten, kalkigen Residualschluffen zusammengesetzt ist. Die früher ausgebeuteten Gipsvorkommen von Sulzfeld auf Bl. 6819 Eppingen (SCHNARRENBARGER 1903), ebenso wie die im Stromberg und Heuchelberg (VOLLRATH 1929: 24), dürften diesem Sulfathorizont angehören. In den Tiefbohrungen sind die Abschnitte 2 und 3 durch zahlreiche Sulfatspitzen gekennzeichnet („m.sf2“ in LUTZ & ETZOLD 2003). Der Farbumschlag zu den überwiegend roten Farben im Hangenden erfolgt bereits in den obersten Lagen des Abschnitts 3, etwa 2 m unter der Enzlar-Bank.

Den Abschluss des MGH bildet der vorwiegend rot gefärbte Abschnitt 4, der mit der 10 cm starken Enzlar-Bank (?) beginnt und an der Grenze zur Corbulabank endet und somit den Komplexen 3–4 BRUNNERS (1988) entspricht. Er hat in RAU-2 eine Mächtigkeit von 8,8 m und weist deutlich verringerte Gehalte an Sulfaten bzw. Gipsresiduen auf, was sich in den GR- und R-Logs in einer deutlichen Zunahme der Ausschläge bemerkbar macht. Etwa 1,5 m unter der Obergrenze fällt ein 0,75 m mächtiger, grauer bis grünlichgrauer, rot gefleckter Dolomitstein bis Dolomitmergelstein auf, der scherbildig zerfällt und vereinzelt Trockenrisse erkennen lässt. Dem Niveau nach dürfte es sich hierbei um die Nenzenheim-Bank handeln (vgl. BRUNNER 1988, NITSCH 1996). Beachtenswert ist 0,4 m unter der Engelhofen-Platte das Vorkommen von sehr feinen kohligem Flittern und vertikalen humosen Schlieren, die als Wurzelspuren gedeutet werden und den regressiven Charakter dieses Abschnitts unterstreichen.

### 6.5.3 Oberer Gipskeuper (km1o)

Der Obere Gipskeuper (= Estherienschichten) umfasst die Unteren Bunten, die Grauen und die Oberen Bunten Estherienschichten (UBE, GES, OBE) und wird durch RAU-2 vollständig, durch RAU-1 bis in die Unteren Bunten Estherienschichten hinein erschlossen (Abb. 5.2–6.1). In beiden Bohrungen sind die Oberen Bunten Estherienschichten an der Basis des Schilfsandsteins allenfalls geringfügig gekappt. Die Mächtigkeit des km1o beträgt in der ausgelaugten Schichtenfolge der Bohrung RAU-2 35 m. In den Tiefbohrungen STF-1, MGM-1 und ROT-5, in denen der Schilfsandstein

in Normalfazies vorliegt, beträgt die Mächtigkeit 37–41,5 m. In Wiesloch-1 erreicht sie 33,5 m (bei 13 m km<sup>2</sup>), in LBQ 32,5 m (bei 18 m km<sup>2</sup>) und in Stettfeld-1 nur 22 m (bei 32 m km<sup>2</sup>) (s. Tab. 4).

#### Untere Bunte Estherien-schichten (UBE)

Der 15,1 m mächtige Horizont wird eingeleitet durch die Corbulabank oder Engelhofen-Platte. Diese hat in RAU-2 eine Mächtigkeit von 1,0 m und setzt sich zusammen aus einem dolomitischen, grauen bis grünlichgrauen Mergelstein (unten) und einem 15 cm starken, hellbräunlichgrauen, siltigen bis feinsandigen Dolomitstein (oben). THÜRACH (1896: 29) spricht von einem „thonigen, dichten Sandstein, der in dünnen, 1–4 cm starken Platten und Scherben bricht“. In den Bohrkernen erkennt man eine charakteristische Feinschichtung, die durch dünne Silt- bis Feinsandlagen hervorgerufen wird, jedoch durch Grabgänge und Trockenrisse mehr oder weniger stark gestört ist. Über einer 1,0 m mächtigen Einschaltung bunter Schlufftonsteine mit Einlagerungen von GAR-Schluff, folgt darüber ein 0,45 m starker, siltiger, feinglimmeriger, dunkelgrauer Dolomitmergelstein, der vermutlich ein Äquivalent der Acrodusbank darstellt. Der ganze von BRUNNER (1988) als AC-Horizont bezeichnete Abschnitt hat somit hier eine Mächtigkeit von 2,45 m.

Im Hangenden folgen bunte, überwiegend rotbraune, lagenweise auch dunkelgraue Schlufftonsteine, die häufig von GAR-Schluff- bzw. Sulfatlagen und -knollen durchsetzt sind. In der oberen Hälfte enthalten sie einige Leitbänke, die für die überregionale Korrelation von Bedeutung sein mögen: Etwa 6–7 m unter der Obergrenze tritt ein bis 10 cm starker, bräunlichgrauer Dolomitstein auf, bei dem es sich möglicherweise um die Malachitbank 2 handelt, wie sie im Raum Heilbronn festgestellt wurde (BRUNNER & HINKELBEIN 2000: Abb. 23). In RAU-1 zeugt eine wolkige Textur von Bioturbation und in RAU-2 belegen Intraklasten zumindest lokale Aufarbeitungsvorgänge. Etwa 3,5 m höher (ca. 3 m unter der Obergrenze) findet sich eine mittelgraue, gegen unten tonige Dolomitsteinbank, die man mit der „Schicht a“ (= Modiolabank?) in THÜRACHS (1889) Profil Horrheim (Bl. 7019) parallelisieren kann. Sie ist unregelmäßig wellig geschichtet und zeigt z. T. eine knollige, vermutlich durch Grabgänge erzeugte Textur. Weitere 1,2–1,5 m darüber (etwa 1–1,5 m unter der Obergrenze) folgt ein rotbrauner bis graugrüner, dolomitischer Schlufftonstein von durchschnittlich 0,3 m Dicke, der sich durch hellgraue



Silt- bis Feinsandlagen oder -linsen auszeichnet, die – wie in der Corbulabank – teilweise durch Grabgänge und fragliche Trockenrisse gestört sind. Es handelt sich hierbei um die *Estherienbank* WEIGELINS (1913), die im mittleren und südlichen Württemberg in gleicher Position auftritt. Ob die genannten Leitbänke tatsächlich durchziehen oder in ungefähr gleicher Position immer wieder auftreten, wie NITSCH (1997) und NITSCH et al. (im Druck) annehmen, kann erst durch ein engeres Netz von Profilen geklärt werden.

#### Graue Estheriensichten (GES)

Der in den beiden Forschungsbohrungen 17–18 m mächtige Schlufftonsteinhorizont zeigt durchgehend eine graue bis dunkelgraue, an der Basis und in der oberen Hälfte z. T. auch schwarzgraue Färbung. Nicht selten kommen hellgraue, feinglimmerige Silt-Laminae vor, die gelegentlich „Estherien“ führen. Einen nicht unbedeutenden Anteil haben Gipsresiduen bzw. geschichtete oder knollige Sulfatlagen, die sich in den Logs der Tiefbohrungen insbesondere durch drei kräftige „Sulfat-Spitzen“ („o.sf2“) bemerkbar machen. Nach THÜRACH (1902: 12) wurde früher bei Odenheim auf Bl. 6818 Kraichtal „in unterirdischen Gruben Salz (als Salztou oder auch in reineren Lagen) gewonnen“. Es handelt sich hierbei um die östlichsten Ausläufer der Salzlager in Lothringen und der Champagne (COUREL et al. 1980, Vol. II: Tr. 1–2, MARCHAL 1983).

Etwa 6 m über der Untergrenze tritt ein 0,7 m mächtiger Horizont mit siltigen bis feinsandigen, dolomitischen Bänken und dunkelgrauen tonigen Zwischenlagen auf. Die 5–35 cm starken Bänke zeigen z. T. Schrägschichtung und Bioturbationsgefüge. Als Besonderheit fanden sich in RAU-1 vivianitische Vertebratenreste und fragliche Muschelanschnitte. Der Horizont, der neuerdings auch als Bönningheim-Horizont bezeichnet wird (NITSCH et al., im Druck), umfasst die Äquivalente der Anatinabank, die im Kraichgau als dünn-schichtiger, dolomitischer Feinsandstein mit Mergellagen beschrieben wird und neben „*Estheria laxitexta*“ schlecht erhaltene *Anatina*-ähnliche Muscheln und Fischreste enthält (BENECKE & COHEN 1881: 441, THÜRACH 1896, 1902, 1904, SCHNARRENBARGER 1903, WEIGELIN 1913: 650, CARLÉ & LINCK 1949). Insgesamt dürfte es sich um eine euryhaline Fauna handeln, die von LINCK (1972) vom Stromberg mitgeteilte „marine“ Muschelfauna wird bezweifelt (BACHMANN & BRUNNER 1998: 40, NITSCH 1996). Erwähnenswert ist etwa 5 m über der Anatinabank in RAU-1 ein dunkelgrauer, durch

helle Siltlagen lamierter, dolomitischer Schlufftonstein mit einzelnen „Estherien“, fraglichen Muschelresten und sehr feinem kohligem Pflanzenhäcksel.

Über der Anatinabank folgen noch einige weitere, meist tonige bis siltige, graue Dolomitsteinbänke von 5–30 cm Dicke, die in der RAU-2 hellgelbgrau verfärbt sind. Im GR-Log der RAU-2 zeigen die Anatinabank und zwei weitere, jeweils 2 m darüber folgende Dolomithorizonte hohe Ausschläge. Der untere und, weniger ausgeprägt der mittlere dieser drei Ausschläge sind auch im Log der RAU-1 erkennbar.

#### Obere Bunte Estheriensichten (OBE)

Den Abschluss der Estheriensichten bilden in beiden Rauenberg-Bohrungen wieder bunte, überwiegend dunkelrotbraune bis grau-violette, untergeordnet dunkel- bis grünlichgraue Schlufftonsteine, was darauf hinweist, dass hier eine Abtragung im Liegenden der Schilfsandstein-Formation nur in geringem Umfang stattgefunden hat. Diesen Schichten ist oft ein schwacher Feinsand- und Glimmergehalt eigen, jedoch fehlen Sandsteinbänke, die auf eine Verzahnung mit dem Schilfsandstein schließen lassen könnten. Häufig sind Einlagerungen von schluffigen, z. T. brekziösen, kalzitischen Gipsauslaugungsresiduen. Gelegentlich kommen pedogene Harnische und gelbe Dolomitknollen vor, die in RAU-1 an der Oberkante der OBE eine kompakte Dolomitkruste bilden.

Die Mächtigkeit beträgt in RAU-2 1,9 m und in RAU-1 2,8 m. Nach THÜRACH (1901: 36) sind die OBE bei Rauenberg „durch alte Erosion theilweise abgetragen und nurmehr 1,5 m mächtig“. Auf den Kartenblättern 6718 Wiesloch, 6719 Sinshem und 6818 Kraichtal erwähnt THÜRACH (1904, 1896, 1902) Mächtigkeiten von 4–5,3 m. Im Stromberg wurden Mächtigkeiten bis 7,4 m nachgewiesen (WURM et al. 1997: 75). In den Bohrungen mit erhöhten km<sup>2</sup>-Mächtigkeiten fehlen die OBE.

## 6.6 Schilfsandstein-(Stuttgart-) Formation (km<sup>2</sup>)

Diese Formation setzt sich aus dem Schilfsandstein (i. e. S) und den hangenden Dunklen Mergeln zusammen. Der Schilfsandstein tritt in zwei unterschiedlichen Ausbildungen auf, der Flutfazies, die ehemalige, in die Estheriensichten eingeschnittene Rinnen ausfüllt und der geringmächtigen tonig-sandigen

Normalfazies in den Arealen dazwischen. THÜRACH (1888: 132 f., 140, 1904: 14) hatte für die Rinnenfazies bereits eine Deutung, die heute wieder aktuell ist und die man mit dem Schlagwort „incised valley fills“ übersetzen könnte. WEIGELIN (1913: 651) und FRANK (1929, 1930b) deuten dagegen die feinsandigen Lagen in den Estheriensichten als Anzeichen einer Verzahnung mit der Flutfazies des km<sup>2</sup> (vgl. auch KÖPPEN 1997), die aber bisher nirgends belegt werden konnte. Zur km<sup>2</sup>-Normalfazies besteht ihrer Ansicht nach ein lückenloser Übergang. Doch muss man aus den unterschiedlichen Mächtigkeiten der OBE (s.o.) und der scharfen Grenze zur Sand- und Glaukonit-führenden Basis des km<sup>2</sup> schließen, dass auch hier eine, wenn auch geringere erosive Lücke als in den Rinnen existiert und die ehemalige Landoberfläche nicht mehr erhalten ist.

### 6.6.1 Schilfsandstein (km<sup>2</sup>s)

Auf Bl. 6718 Wiesloch ist die Flut- oder Rinnenfazies insbesondere im SE, im weiteren Umkreis des Eichelbergs bei Waldangelloch verbreitet. Sie bildet dort eine ausgedehnte Schilfsandsteinplatte, die von WURSTER (1964) als „Stromknoten“ gedeutet wird. Kleinere Vorkommen hat WURSTER (1964, Beil. 1, SCHWEIZER & KRAATZ 1982: Abb. 11) bei Rauenberg, bei Horrenberg und Eichersheim kartiert (vgl. BENECKE & COHEN 1881: 444). Bis 33 m mächtiger Schilfsandstein (ohne Dunkle Mergel) wurde auch im angrenzenden Oberrheingraben im Feld Weiher (Bl. 6817) erbohrt, wo der km<sup>2</sup> als Ölträger wirtschaftliche Bedeutung erlangt hatte. Die Gesteinsfazies innerhalb dieser Großrinne wechselt jedoch so stark, dass nach WIRTH (1951: 676) ein System darin nicht zu erkennen war und keine Prognosen für die Exploration gemacht werden konnten (vgl. auch WURSTER 1964:78). Rinnenfazies mit km<sup>2</sup>-Gesamtmächtigkeiten von 32 m bzw. 40 m wurde auch in den Bohrungen Stettfeld-1 (Bl. 6817 Bruchsal) und Rot-2 (Bl. 6717 Waghäusel) erbohrt (LUTZ & ETZOLD 2003: Abb. 4). Die Bohrung RAU-2 setzt im Schilfsandstein an und durchteuft gerade noch die untersten 2,5 m eines verwitterten, hellbraunen Fein- (bis Mittel-) Sandsteins mit (glaukonitischen?) „Grünpillen“ (s. HELING & BEYER 1992). Da die OBE noch vorhanden, aber bereits reduziert sind, dürfte es sich hier um eine beginnende Rinnenbildung handeln.

Die Bohrung RAU-1 (Abb. 5.2) erschließt dagegen die gesamte Schilfsandstein-Formation in Normalfazies in einer Mächtigkeit von 11,3 m.

Ähnlich geringe Mächtigkeiten wurden auch in den Tiefbohrungen LGB-1 (12,5 m), MGB-1 (11 m), ROT-5 (10 m) und Wiesloch-1 (13 m) ermittelt. In RAU-1 wird die Untergrenze durch einen ockergelben Dolomit mit Feinsandlagen und dunkelgrünen Grünpillen-Anreicherungen angezeigt. Darüber folgt ein feinsandiger Schlufftonstein mit Aufarbeitungserscheinungen und nochmals ein wenige cm starker Dolomit. Der ganze nur 0,15 m mächtige Horizont, der mit scharfer Grenze den OBE auflagert, dürfte THÜRACHS „Übergangsschicht s“ (1888: 130) entsprechen.

Die Schichtenfolge darüber ist dreiteilig aufgebaut: Es folgt zunächst eine 3,8 m mächtige Wechselagerung von zuunterst olivgrünen, bald jedoch auch rotvioletten bis rotbraunen, tonig-schluffigen Feinsandsteinen und sandigen, grauen bis grau violetten, gegen oben dunkel-rotvioletten Schlufftonsteinen, die als eine 1. Schilfsandstein-Schüttung anzusehen ist. In den sandigen Lagen kommen auch hier noch Grünpillen vor. Pflanzenhäcksel ist selten. In den oberen 2 m wurden Rissbrekzien und pedogene Harnische beobachtet. Darauf lagert mit scharfer Grenze eine 15 cm starke, bräunlichgraue Dolomitbank mit Kalzitdrusen und ein grünlichgrauer Schlufftonstein, der zuoberst unregelmäßige Dolomitknollen führt. Dieses 0,7 m mächtige graue Intervall entspricht dem lakustrinen Gaidorf-Horizont (vgl. ETZOLD & SCHWEIZER 2005). Der dritte Abschnitt stellt eine 2. Schilfsandstein-Schüttung dar, die wieder aus einer Wechsellagerung von feinsandigen Schlufftonsteinen und tonig-schluffigen Feinsandsteinen mit grau-grünen bis grau violetten und rotbraunen Farben besteht. Auch in diesen Sandlagen kommen an der Basis gelegentlich dunkelgrüne (glaukonitische?) Grünpillen vor. Schwarzgraue, humose, z. T. vertikale Schlieren werden als Wurzelreste gedeutet. Rissbrekzien, dolomitische Knollen und pedogene Harnische sprechen für häufiges Trockenfallen. Eine Bemerkung THÜRACHS (1888: 140, 1901: 39), wonach im Kraichgau zwischen dem Schilfsandstein und dem Hauptsteinmergel „Auswaschungen der unterlagernden Schichten stattgefunden (haben), wodurch sogar die Schichten des Schilfsandsteins an einzelnen Orten noch mehrere Meter tief abgetragen worden sind“, lässt darauf schließen, dass auch im 2. Schilfsandstein noch Rinnenbildungen vorkommen, wie sie innerhalb der Flutfazies nicht selten zu beobachten sind (s. a. SCHNARRENBARGER 1903: 17).

Die Schilfsandstein-Formation in Normalfazies lässt hier, wie an manchen anderen Orten auch (vgl. ETZOLD & SCHWEIZER 2005: Abb. 5) mind.



zwei Zyklen erkennen: Über der Diskordanz an der Basis, die eine Erosionsphase mit einem Durchtransport der Sandfracht bis in die Schelfgebiete der Tethys anzeigt (KÖPPEN 1997, DITTRICH 1989), wurden mit steigendem Meeresspiegel die Täler verfüllt und bei Überflutungen schließlich auch in den Zwischenarealen ein 1. Schilfsandstein abgelagert. Dabei dürfte die „Übergangsschicht s“ mit Dolomit- und glaukonitischen Sandlagen an der Basis einen Meeresspiegel-Hochstand anzeigen, während die folgenden Schichten mit Trockenrissen und Wurzelböden wieder einen Meeresspiegelabfall erkennen lassen. Mit dem Gaildorf-Horizont, der von einem hochstehenden Grundwasserspiegel und lakustrinen Bildungen zeugt, beginnt ein 2. Zyklus, der mit glaukonitführenden Sanden an der Basis des 2. Schilfsandsteins kulminiert und mit pedogenen Bildungen endet, die bis in die Dunklen Mergel hineinreichen.

### 6.6.2 Dunkle Mergel (DM)

Ohne scharfe Grenze geht der 2. Schilfsandstein über in die 3,8 m mächtigen Dunklen Mergel, die aus feinsandigen, grünlichgrauen bis rotbraunen Schlufftonsteinen zusammengesetzt sind. Charakteristisch für diesen Horizont sind neben mm-dünnen Wurzelspuren vereinzelt Kalzitdrusen und GAR-Schlufflagen. Im Stromberg tritt nahe der Obergrenze gelegentlich eine 20–30 cm mächtige Sandsteinbank (VOLLRATH 1929: 26), oder wie im Profil Horrheim (Bl. 7019) eine 1,5 m mächtige Wechsellagerung von dunkelrotbraunen, feinsandigen Tonsteinen und rotbraunen, tonigen Feinsandsteinen auf (THÜRACH 1889: 12, LAEMMLEN 1954: 56, 122, BRENNER 1978: Profil 26), die eine 3. Sandschüttung innerhalb der Stuttgart-Formation andeuten. THÜRACH (1989) sah darin ein Äquivalent der „Freihunger Schichten“, die heute mit dem Ansbach-Sandstein gleichgesetzt werden (BACHMANN & GWINNER 1998:45, ETZOLD & SCHWEIZER 2005).

## 6.7 Bunte Mergel-(Weser-) Formation (km3)

Die Bunten Mergel im Kraichgau gehören i. W. der Steinmergelkeuper-Fazies an, die als eine Playa-Bildung gedeutet wird (REINHARDT 2000: 45 ff.). Die Untergrenze ist die Basis des BEAU-

MONT-Horizonts bzw. BEAUMONT-Sulfats. Die Obergrenze an der Basis der Stubensandstein-Formation entspricht einer beckenweiten Diskordanzfläche (D4).

Da der Kieselsandstein auf Bl. 6718 Wiesloch ausgekilt ist, entfällt die übliche Untergliederung mit Hilfe dieses vindelizischen Sandsteins. Anhand zweier markanter Sulfathorizonte bzw. ihrer Auslaugungsresiduen, kann man jedoch auch im Kraichgau die Bunten Mergel in drei Subformationen (Untere, Mittlere und Obere Bunte Mergel) unterteilen. Die „Mittleren Bunten Mergel“ werden dabei im Liegenden durch das Lehrberg-Sulfat und im Hangenden durch das Heldburg-Sulfat begrenzt (LUTZ & ETZOLD 2003). Sie entsprechen somit annähernd den Kieselsandsteinletten BRENNERS (1973, 1978) ohne die Lehrbergschichten. Die Grenzziehung BRENNERS (1973, 1978, s. a. NAGEL 1990) zwischen den „Kieselsandstein- und Stubensandstein-Schichten“ anhand der Doppelbank „3sFI + II“ ist für die lithostratigraphische Gliederung nicht geeignet, da es sich um eine leitflächenstratigraphische Grenze handelt, die zudem in der Praxis kaum zu identifizieren oder gar zu kartieren ist (ETZOLD & SCHWEIZER 2005, ROCKENBAUCH 1987).

Die Bohrung RAU-1 (Abb. 5) durchteuft die Bunte Mergel-Formation vollständig, allerdings in ausgelagter Form. Insgesamt ist das Gebirge stark aufgelockert und besonders im mittleren und oberen Abschnitt neben Gipsauslaugungsresiduen von zahlreichen weißen Kalzitrisen durchzogen, bei denen es sich um ehemalige Fasergipsrisse handeln dürfte. Zu nennen ist außerdem einer der wenigen Tagesaufschlüsse auf Bl. 6718 Wiesloch, 2 km E Mühlhausen (R 34 81 840, H 54 57 200), in dem die Schichtenfolge von der Roten Wand bis ins Hangende der Lehrbergschichten aufgeschlossen war (NAGEL 1990: Profil 6, SEEGIS 1997: Aufschluss 48).

Die Gesamtmächtigkeit beträgt in RAU-1 57,2 m. In den Tiefbohrungen (Tab. 4) werden (jeweils in Anhydritfazies) 57–64 m erreicht. Nach der alten badischen Gliederung entsprechen die „Roten Mergel“ bzw. die „Rote Wand“ der Bunten Mergel-Formation und den Roten Basisletten des Unteren Stubensandsteins. WIRTH (1951) gibt für dieses Schichtpaket, dessen Oberkante „durch den auffälligen Farbumschlag auch aus den Spülproben klar zu bestimmen ist“ für das Ölfeld Weiher (Bl. 6817 Bruchsal) eine Mächtigkeit von 70–80 m an.

## 6.7.1 Untere Bunte Mergel (km3u) (= Steigerwald-Formation)

Die Unteren Bunten Mergel beginnen mit dem BEAUMONT-Horizont, der überwiegend in der Fazies des BEAUMONT-Sulfats vertreten ist. Darüber folgen die Rote Wand und die Lehrberg-Schichten, die mit dem Lehrberg-Sulfat den km3u nach oben abschließen. Die Mächtigkeit beträgt in ausgelagtem Zustand (RAU-1) 26 m. In den benachbarten Tiefbohrungen werden 27–30 m erreicht.

### BEAUMONT-Horizont (BMH)

Der in der Bohrung RAU-1 knapp 2 m mächtige BEAUMONT-Horizont besteht aus schluffigen, überwiegend brekziösen, buntfarbigen Gipsauslaugungsresiduen. Nur an der Basis tritt ein 5 cm starkes, gelbbraunes Dolomitsteinbänkchen auf, das in einer Mächtigkeit bis max. 50 cm sowohl im Kraichgau als auch im Stromberg und bis in den Schwäbisch-Fränkischen Wald hinein verbreitet ist und dem Hauptsteinmergel oder BEAUMONT-Dolomit entspricht (THÜRACH 1889: 12, 1896: 32, 1901:39, 1902: 16, LAEMMLEN 1954: 121, ROCKENBAUCH 1987: 105). Weniger Beachtung fanden bisher die Auslaugungsresiduen im Hangenden des Dolomitbänkchens, die meist den Dunklen Mergeln oder dem „Berggips“ zugerechnet wurden. In den Logs der Tiefbohrungen ist in dieser Position stets eine markante „Sulfatspitze“ von 2,5–3 m zu erkennen (vgl. Abb. 3.1), die als BEAUMONT-Sulfat gedeutet wird. Rechnet man die sich nach oben anschließenden schwächeren Sulfatspitzen noch dazu, ergeben sich Mächtigkeiten von 5–7 m (Tab. 4).

Etwa südlich einer Linie Karlsruhe–Donaueschingen verzahnt sich das BEAUMONT-Sulfat mit der Fazies des Hauptsteinmergels oder BEAUMONT-Dolomits, der zwischen dem Hochrhein und dem südlichem Lothringen Mächtigkeiten von mehreren Metern erreicht (BENECKE 1877: 633 ff., THÜRACH 1889: 11, RICOUR 1962, NAGEL 1990: Abb. 6) und seinerseits im Schweizer Tafeljura in den Gansingen-Dolomit, einen fossilführenden Karbonatsand, übergeht. Diese drei Faziesbereiche werden unter dem Begriff BEAUMONT-Horizont zusammengefasst (LUTZ & ETZOLD 2003, ETZOLD & SCHWEIZER 2005) und als Ablagerungen infolge einer randmarinen Ingression über die Burgundische Pforte gedeutet. Das Dolomitbänkchen, das im nördlichen Baden-Württemberg an der Basis des BEAUMONT-Sulfats (nicht durchgehend) verbreitet ist, stellt einen weit nach N reichenden Ausläufer der Hauptsteinmergel-Fazies zu Beginn der Ingression dar.

### Rote Wand (RO)

Die in der Bohrung RAU-1 knapp 15 m mächtige Rote Wand besteht aus überwiegend ziegelroten, z. T. schwach feinsandigen und glimmerigen Schlufftonsteinen. Der Karbonatgehalt ist gering und scheint hauptsächlich auf feine Haarrisse beschränkt zu sei. Eingelagert findet man (meist nur cm-starke) grünliche bis blass-rotbraune Lagen und Linsen mit GAR-Schluff. Die von THÜRACH (1902: 16, 1904: 15) erwähnten Sandsteinbänkchen mit Steinsalzmarken wurden im Bohrkern nicht beobachtet. Als einziger – offenbar durchgehender – Steinmergel tritt 0,85 m unter der Obergrenze eine 7 cm starke tonige, grünlichgraue Dolomitsteinlage auf, die nach SEEGIS (1997: 30, 307) früher mit der Lehrbergbank 1 verwechselt wurde.

### Lehrberg-Schichten (LE)

Nach der baden-württembergischen Gliederung (LGRB 2005) umfassen die Lehrberg-Schichten die Lehrberg-Bänke 1–3 mit den dazwischen geschalteten Lehrberg-Tonen 1–2 sowie den darüber folgenden Lehrberg-Ton 3, der bis zur Basis des Kieselsandsteins reicht und BRENNERS (1973, 1978) „Zone 3sB“ entspricht (ETZOLD & SCHWEIZER 2005: Tab. 2). Anstelle der Lehrberg-Bank 3, die bereits im Stromberg auskeilt (SEEGIS 1993) und des Lehrberg-Tons 3 kann man sich im Kraichgau und anschließenden Oberrheingraben am Lehrberg-Sulfat (LUTZ & ETZOLD 2003) orientieren, mit dem die Lehrberg-Schichten abschließen (s. u.).

In der Bohrung RAU-1 sind die Lehrberg-Schichten 9,4 m mächtig und bestehen überwiegend aus ziegelroten, schwach feinsandigen Schlufftonsteinen. Von der Roten Wand unterscheiden sich die Lehrberg-Tone nur dadurch, dass sie jeweils im Liegenden und Hangenden der Lehrberg-Bänke hellgraugrün gebleicht sind. Die Basis ist als Lehrberg-Bank 1 definiert, die als 10 cm starke, hellbeige, z. T. grünstichige, harte Dolomitsteinbank mit leichtem Schluff-/Feinsandgehalt in Erscheinung tritt. 1,8 m darüber folgt die Lehrberg-Bank 2 in einer Stärke von 30 cm. Der hellgrünlichgraue, schluffige, feinglimmerige, harte Dolomitmergelstein ist oben von dunkelrotbraunen Trockenrissen durchsetzt und geht in der unteren Hälfte in einen grünlichgrauen, schwach feinsandigen, dolomitischen Mergelstein über.

Darüber folgen nochmals 6,5 m ziegelrote Schlufftonsteine (Lehrberg-Ton 2), in die sich vereinzelt dünne GAR-Lagen und -Knoten einschalten. 0,85 m



über der Lehrberg-Bank 2 (= 17,5 m über dem BEAUMONT-Horizont) tritt darin ein 0,45 m starker, feinsandiger, dunkelrotbrauner Schlufftonstein auf, der vereinzelt grünlichgraue dolomitische Feinsandsteinplättchen mit Steinsalzkristallmarken und sanderfüllten Grabgängen enthält. Aus dem oben genannten Aufschluss E Mühlhausen beschreibt auch NAGEL (1990: 134, 159) in gleicher Position, 1,15 m über der Lehrberg-Bank 2 (revidiert nach SEEGIS 1997) „harte Feinsandlagen“. (Die kalkige Grobsandlage darin erwies sich nach SEEGIS 1997: 32 als GAR-Lage). Vermutlich handelt es sich um das gleiche Niveau, aus dem THÜRACH (1896, 1904) 15–20 m über dem BEAUMONT-Horizont „eine 10–25 cm starke Lage eines hellgrauen, öfters quarzitisches Sandsteins beschreibt, welche oben und unten mit einem hellgrauen Steinmergel innig verwachsen ist“. Er bezeichnet diesen Sandstein im Kraichgau mit S1 und setzt ihn mit dem Kieselsandstein im Stromberg gleich, der dort allerdings deutlich höher, mind. 30 m über dem BEAUMONT-Horizont vorkommt (s. u.).

Die Lehrberg-Bank 3 ist im Kraichgau nicht ausgebildet, sie keilt nach SEEGIS (1997: 31) bereits im Stromberg aus. Im Hangenden des Lehrberg-Tons 2 folgen ziegelrote, feimbekziöse, weiche Gipsresiduen, die in RAU-1 eine Mächtigkeit von 1 m aufweisen und weißliche Quarzester enthalten. Entsprechende Gipsresiduen werden von NAGEL (1990: 133) und SEEGIS (1997) auch aus dem o. g. Profil von Mühlhausen und vom Stromberg beschrieben.

In den geophysikalischen Logs der Tiefbohrungen sind die Lehrbergbänke nicht auszumachen. Jedoch erkennt man in den obersten Metern des km3u eine deutliche Zunahme der elektrischen Widerstände (bzw. in LBQ eine Verringerung der Gammastrahlung). Den Abschluss dieses Sulfatintervalls, das LUTZ & ETZOLD (2003) als *Lehrberg-Sulfat* bezeichnet haben, bildet ein 2–3 m mächtiger Anhydrit (s. Tab. 4), der mit scharfer Grenze gegen die hangenden Mittleren Bunten Mergeln abgesetzt ist. Das Auskeilen der Lehrbergbank 3 im Stromberg könnte mit einem Übergang der karbonatischen Randfazies in eine zentrale Sulfatfazies im Beckeninnern zusammenhängen (ETZOLD & SCHWEIZER 2005).

## 6.7.2 Mittlere Bunte Mergel (km3m)

Die Mittleren Bunten Mergel entsprechen annähernd den Kieselsandsteinletten BRENNERS (1973, 1978) ohne die Lehrberg-Schichten, also seinen „Zonen 3sC–F“. Sie werden im Liegenden durch

das Lehrberg-Sulfat und im Hangenden durch das Heldburg-Sulfat bzw. ihren Auslaugungsrückständen begrenzt. Die Mächtigkeit beträgt in dem oben genannten Tagesaufschluss bei Mühlhausen nach der Aufnahme von NAGEL (1990: 158) 15 m, in der Bohrung RAU-1 16,35 m. In den benachbarten Tiefbohrungen sind nach Auswertung der geophysikalischen Logs Mächtigkeiten von 14–16 m zu verzeichnen.

Die Untergrenze ist scharf und mit einem Umschlag von ziegelroten zu dunkelrotbraunen, teilweise rotvioletten Schlufftonsteinen verbunden. Sie entspricht vermutlich der D3-Diskordanz (vgl. REINHARDT 2000), die nach der STD 2002 eine Schichtlücke von 2 Mio. a. beinhaltet. Gelegentlich treten graugrüne Lagen und Flecken auf (besonders 3–6 m über der Basis), die oft mit dem Vorkommen von GAR-Schluff verknüpft sind.

In den untersten 2 m sind die Tonsteine in der RAU-1 mehr oder weniger in situ in cm- bis dm-große Komponenten zerlegt und durch weißen Kalzit verbacken. Diese monomikte Brekzie bildet einen etwas widerständigeren, z. T. kartierbaren Horizont (ROCKENBAUCH 1987) und wird nach einer ehemaligen Tongrube am südlichen Stromberg (BRENNER 1978: Profil 22, ROCKENBAUCH 1987: Abb. 7, SEEGIS 1997: Aufschluss 49) als *Hamburg-Brekzie* (LGRB 2003) bezeichnet. Eine ähnliche Brekzie tritt auch an der Basis der Stubensandstein-Formation auf (s. Kap. 6.8.1). Nach GERWECK (1981), ROCKENBAUCH (1987: 110) und REINHARDT (2000: 78 ff.) handelt es sich hierbei um eogenetische Auslaugungsbrekzien (s. u.). Der eigentliche, mit weichem GAR-Schluff durchsetzte Auslaugungshorizont des Lehrberg-Sulfats liegt jedoch unmittelbar darunter. Die monomikte Brekzie darüber ist deutlich von diesem zu trennen und vermutlich durch Nachsacken oder Verstoß bei der Gipsauslaugung entstanden. Die Hamburg-Brekzie gehört demnach nicht, wie zunächst vermutet, den Lehrberg-Schichten (LGRB 2005), sondern bereits den Mittleren Bunten Mergeln an.

Im oberen Drittel treten vereinzelt bis 20 cm starke Steinmergelbänke auf, die BRENNERS „Zonen 3sE und 3sF“ entsprechen mögen. Im Gegensatz zum Aufschluss bei Mühlhausen (NAGEL 1990: 134, 158) konnte die Doppelbank (3sFI + II) in der Bohrung RAU-1 nicht einwandfrei identifiziert werden. Die Obergrenze der Mittleren Bunten Mergel wurde deshalb an die Farbgrünze von überwiegend dunkelrotbraunen (unten) zu graugrünen, rotbraunen und violetten Farbtönen (oben) gelegt, die mit

einer Zunahme von GAR-Schluff einhergeht. In den Logs der Tiefbohrungen bilden die Mittleren Bunten Mergel zwischen Lehrberg- und Heldburg-Sulfat ein gut erkennbares Intervall mit relativ starken GR-Ausschlägen (vgl. LBQ in Abb. 3.1) und niedrigen Widerständen (LUTZ & ETZOLD 2003).

Der 1. Kieselsandstein (Ks1), der im östlichen Stromberg auf Bl. 6920 bei Cleeborn 1–2 m über dem Auslaugungshorizont des Lehrberg-Sulfats (= etwa 30 m über dem BEAUMONT-Horizont) noch in einer Mächtigkeit von 0,8–1,2 m auftritt (THÜRACH 1889: 40, CARLÉ & LINK 1949: Abb. 9, LAEMMLEN 1954: 54, 133, BRENNER 1978, Profil 16) keilt nach ROCKENBAUCH (1987: 107) noch im Stromberg nach W aus. Er kann bei Hohenhaslach als 10 cm starke Sandsteinbank, 2 m über den Sulfatresiduen, zum letzten Mal sicher nachgewiesen werden (BRENNER in BACHMANN et al. 1977). Nach der alten badischen Gliederung tritt jedoch der S1-Sandstein, den THÜRACH (1896: 32) mit den Ausläufern des Kieselsandsteins im Stromberg gleichsetzt, noch auf den Blättern 6719 Sinsheim und 6818 Kraichtal auf (vgl. SCHWEIZER & KRAATZ 1982: Abb. 12). Da der Abstand zum BEAUMONT-Horizont dort mit 15–20 m deutlich geringer ist als im Stromberg, muss man annehmen, dass der S1-Sandstein im Kraichgau nicht dem Kieselsandstein des Strombergs entspricht, sondern einer tieferen sandigen Lage wenig über der Lehrberg-Bank 2 (s.o.). Das Niveau des Kieselsandsteins ist in der Bohrung RAU-1 eher in den grünen Lagen, 3–6 m über dem Auslaugungshorizont des Lehrbergsulfats zu suchen.

Die Zunahme der roten Farben gegen das Beckeninnere (vgl. auch LAEMMLEN 1954: 139) unterstreicht den Playa-Charakter zzt. des Kieselsandsteins, im Gegensatz zu den Grundgipsschichten oder dem Sulfat an der Basis der DRM, wo ein Verschwinden der roten Farben ein perennierendes Gewässer im Beckeninnern anzeigt.

### 6.7.3 Obere Bunte Mergel (km3o) (= Mainhardt-Formation)

Die Oberen Bunten Mergel sind durch einen lebhaften Wechsel von graugrünen, rot- oder violettbraunen, gelegentlich auch dunkelgrauen bis grau-violetten Schlufftonsteinen, hellen, meist brekziösen bis meterdicken GAR-Schlufflagen und etwa ein Dutzend hellbeigen Steinmergelbänken von 5–20 cm

Dicke gekennzeichnet. Den Abschluss bildet ein knapp 1 m mächtiger, z. T. brekziöser, polymikter Gipsauslaugungshorizont. Die ausgelagte, stark aufgelockerte und z. T. brekziierte Schichtenfolge ist häufig von Kalzitrisen durchsetzt und hat in der Bohrung RAU-1 eine Mächtigkeit von 14,75 m.

In den Logs der benachbarten Tiefbohrungen sind zahlreiche „Sulfat-Spitzen“ zu erkennen, die in der Tendenz von unten nach oben stärker werden. In Anlehnung an die „Heldburger Stufe“ THÜRACHS (1889: 42) wurden deshalb die Oberen Bunten Mergel von LUTZ & ETZOLD (2003) im Oberrheingraben als Heldburg-Sulfat bezeichnet. Die Mächtigkeit beträgt in den Tiefbohrungen bei Anhydritausbildung 16–18,5 m. Die Grenze zur Stubensandstein-Formation ist scharf und durch eine starke Zunahme der GR-Strahlung und Abnahme der Widerstände gekennzeichnet.

An dieser sowohl lithostratigraphisch als auch log-stratigraphisch markanten Grenze wird die beckenweit verfolgbare „Altkimmerische Hauptdiskordanz“ oder Keuperdiskordanz D4 (BEUTLER 1979, 2005) vermutet, die am Hochrhein bis auf den BEAUMONT-Horizont hinuntergreift (ETZOLD & SCHWEIZER 2005) und nach der STD 2002 eine Schichtlücke von schätzungsweise 7 Mio. a. beinhaltet. In Frankreich entspricht ihr eine Diskordanz innerhalb der „Marnes irisées supérieures“ (BOURQUIN & GUILLOCHEAU 1996). Sie trennt nach BOURQUIN et al. (1997: 638) eine durch Sulfate geprägte (Sabkha-) Fazies im Liegenden, die i. W. den Mergeln von Chanville entsprechen dürfte, von einer durch Dolomite geprägten (Sabkha-) Fazies im Hangenden, der „Zone argilo-dolomitique“ und reicht im Osten des Pariser Beckens bei Nancy gleichfalls bis auf den BEAUMONT-Dolomit hinunter (s. a. NAGEL 1990: 135).

## 6.8 Stubensandstein- (Löwenstein-) Formation (km4)

Die Stubensandstein-Formation wird durch die Bohrung MAL-1 (Abb. 4) vollständig und durch Bohrung RAU-1 (Abb. 5.1) ab dem Ochsenbach-Horizont durchteuft. Der km4-Abschnitt der Bohrung MAL-1 wurde auch von REINHARDT (2000) bearbeitet und von HORNUNG (1999) in „baselevel“-Zyklen untergliedert. Ein kombiniertes Übertageprofil, das annähernd den gesamten km4 umfasst, wurde bereits von THÜRACH bei Rothenberg und Rauenberg aufgenommen (1889: Profil 68 und 1901: Profil 10 und 11). Eine stratigraphische Deutung dieses



Profils mit einem Vergleich der Mächtigkeiten mit der Bohrung MAL-1 ist in Tab. 5 wiedergegeben. NAGEL (1990) beschreibt aus dem Unteren und Mittleren Stubensandstein des Kraichgau 7 Über-tage-Profile, von denen jedoch die Nr. 2 und 5 stratigraphisch nicht eingeordnet werden können, da sie vermutlich tektonisch gestört sind (s.u.).

Die Untergrenze des km4 wird über dem Heldburg-Sulfat an der Diskordanz D4, die Obergrenze über dem Malschenberg-Sandstein an der Basis des marinen Mittelrhäts (Diskordanz D6) gezogen. Die Mächtigkeit beträgt in MAL-1 103,45 m. In den untersuchten Tiefbohrungen nimmt die Mächtigkeit von 105,5 m in STF-1 und LGB-1 nach N bis auf 98 m in der WSL-1 ab (Tab. 4). Im Kraichgau ist der überwiegende Teil dieser Formation bereits in Steinmergelkeuperfazies ausgebildet. Solange jedoch die Sandsteine noch erkennbar und die Grenzen kartierbar sind, wird sie wie im übrigen

Baden-Württemberg als Stubensandstein-(Löwenstein-)Formation bezeichnet und entsprechend gegliedert. Wie üblich wird der km4 in drei Abschnitte unterteilt.

### 6.8.1 Unterer Stubensandstein (km4u)

Der in MAL-1 28 m mächtige Untere Stubensandstein ist im Kraichgau farblich deutlich zweigeteilt in die Roten Basisletten, die den 1. Stubensandstein (genauer den s1.1) einschließen und die grauen Rauenberg-Schichten, die mit dem Ochsenbach-Horizont abschließen. Zwischen den beiden Abschnitten verläuft die insbesondere historisch gesehen wichtige Grenze zwischen THÜRACHS (1902, 1904) „Roten Mergeln“ (= Rote Wand bis Rote Basisletten) und seinem „Oberen Steinmergelkeuper“ (s. Tab. 1), die in den alten Erdöl- und Thermalwasserbohrungen oft den einzigen Anhaltspunkt im höheren Mittelkeuper darstellt.

Tab. 5: THÜRACHS kombiniertes Profil durch die Stubensandstein-Formation bei Rothenburg und Rauenberg – neu gedeutet, mit einem Vergleich der Mächtigkeiten in der MAL-1.

Table 5: THÜRACHS combined profile of the Stubensandstein-Formation at Rothenburg and Rauenberg – re interpreted and compared to the thicknesses in MAL-1.

Schicht-Nr.	Mächtigkeiten	Stratigraphie nach THÜRACH 1889/1901	Deutung	Mächtigkeiten in MAL-1
1.–3.	> 2,5 m	rhätischer Sandstein	km4o.s4 (MBS)	7,50 m
4.–7.	23,0 m		km4o.t3	32,75 m
8.–11.	ca. 3,4 m	? Ob. Semionotensandstein	km4o.s3	7,05 m
12.	6–7 m		km4m.t2 + K2	4,40 m
13.	0,61 m	? Ob. Semionotensandstein	km4m.s2.3	0,45 m
14.–39.	20,9 m		km4m.tz2.1–2	20,95 m
40.–42.	ca. 0,8 m		km4m.s2.1	1,20 m
41.	1,0–1,1 m		km4m.BAL	1,15 m
43.	0,4–0,8 m	Oolithische Bank	km4u.O (obere)	0,95 m
44.–54.	ca. 9,5 m		km4u.RM (ohne O)	15,10 m
55.	2,5 m		km4u.RBL2 (obere)	4,45 m
56.	0,72 m	weisser Sandstein	km4u.s1.1	2,35 m
57.–64.	ca. 8,6 m		km4u.RBL1 (untere)	5,15 m
65.	> 1 m		km3o	> 7,35 m

## Rote Basisletten (RBL)

Über den Auslaugungsresiduen des Heldburg-Sulfats setzen mit scharfer Grenze dunkel-rotbraune, ungeschichtete, mehr oder weniger dolomitische, z. T. schwach feinsandige Schlufftonsteine ein, die – einem Vorschlag LAEMMLENS (1954: 145 f.) folgend – bereits zur Stubensandstein-Formation gerechnet werden (entgegen BRENNER 1977, 1978: 212).

In RAU-1 ist an der Basis eine knapp 2 m mächtige, monomikte, durch weißen Kalzit, nach ROCKENBAUCH (1987: Abb. 7) auch durch Quarzkristalle, zementierte Verstürzbrekzie ausgebildet, die der Hamberg-Brekzie ähnelt (s. Kap. 6.7.2). In MAL-1 zeigt nur eine 15 cm dicke Lage 1 m über der Basis ähnliche Kalzit-verheilte Risse. Da sich im Liegenden beider Brekzien jeweils ein Sulfatlager (Lehrberg- bzw. Heldburg-Sulfat) befindet, muss man als Ursache einen Versturz oder ein Nachsacken bei der Gipsauslaugung im Untergrund annehmen. Das Heldburg-Sulfat mit seinen meist weichen, oft feinkristallinen Gipsauslaugungsresiduen ist dabei stratigraphisch klar zu trennen von der hangenden Verstürzbrekzie, die bereits dem km4 angehört. Bereits THÜRACH (1902: 16) erwähnt bei Tiefenbach auf Bl. 6818 Kraichtal einen „1/2–1 m mächtigen Breccienkalk voll eckiger Mergelbrocken“. Im Stromberg bildet die Brekzie einen über weite Strecken durchgehenden Horizont, der zur Kartierung der Untergrenze der Stubensandstein-Formation herangezogen wurde (GERWECK 1981, ROCKENBAUCH 1987). Nach einem Aufschluss am SW-Rand des Strombergs (ROCKENBAUCH 1987: Abb. 8, Aufschluss km4/3) wird sie als *Tiefenbach-Brekzie* bezeichnet (LGRB 2005). Die beiden Autoren deuten sie als eine eogenetische Gipsauslaugungsbrekzie, wobei nicht ganz klar wird, wie weit hierbei der Auslaugungshorizont im Liegenden und die Verstürzbrekzie im Hangenden auseinandergehalten wurden. REINHARDT (2000: 78 ff.) vermutet dagegen als Ursache eine Auslaugung von Salzkrusten bei Flutung des Playa-Sees. Da aber weder die Logs der intakten Bohrprofile im Oberrheingraben, noch das Schichtenverzeichnis der gekernten Bohrung Itag-Baden-6 (LAEMMLEN 1954) Hinweise auf einen eogenetischen Auslaugungshorizont oder eine entsprechende fossile Verstürzbrekzie geben, wird sowohl für die Hambach- als auch die Tiefenbach-Brekzie ein jüngerer Alter angenommen.

Etwa 5 m über der Basis tritt ein ca. 0,9–2,3 m mächtiger, graugrüner, feinsandiger, laminiertes

schwach dolomitischer Schlufftonstein mit bis zu 70 cm dicken, hell- (grünlich-) grau gefärbten Fein- bis Mittelsandsteinbänken auf. Es handelt sich hierbei um den 1. *Stubensandstein* (s1), genauer um den Sandstein s1.1 (= S2 der alten badischen Gliederung). Sowohl die Schlufftonsteine als auch die Sandsteine sind bioturbat durchwühlt. Gelegentlich kommen Fischschuppen, Conchostraken und die sanderfüllten Vertikalröhren von *Cylindricum grande* vor. THÜRACH (1889: 41, 67, 1901: 32) erwähnt in seinem Profil 58 bei Malschenberg (vgl. BRENNER 1973: 126) zwei bis 0,6 m dicke, z. T. quarzitisches Feinsandsteinbänke. Im Stromberg sind in die Roten Basisletten auch graue und grüne Mergelsteinlagen und teilweise kieselige Sandsteinbänke eingeschaltet. Etwa 12 m über der Untergrenze folgt dort ein bis 6 m (gegen W nur noch 2 m) mächtiger, karbonatisch gebundener Sandsteinhorizont, der früher als Fleins oder Werksteinbank in zahlreichen Steinbrüchen abgebaut wurde (LINCK 1938, VOLLRATH 1929, ROCKENBAUCH 1987: 110, Abb. 8).

In den Schichtenbeschreibungen der Tiefbohrungen im Oberrheingraben wird dieser Sandstein nur in einer Bohrung zwischen Karlsruhe und Bruchsal als 0,3 m mächtiger, kreuzgeschichteter Feinsandstein erwähnt (LUTZ & ETZOLD 2003: 86). Jedoch ist in den Logs der untersuchten Tiefbohrungen über der Mitte der RBL jeweils eine kleine Widerstandsspitze zu erkennen, die dem 1. Stubensandstein entsprechen dürfte. Ein deutlicher Ausschlag ist in gleicher Position auch im GR-Log der LBQ zu erkennen (Abb. 3.1).

Darüber folgen rd. 5 m mächtige, überwiegend dunkel-rotbraun gefärbte Schlufftonsteine und Dolomitmergelsteine, die aufgrund ihrer Farbe und Schichtungslosigkeit gleichfalls noch zu den Roten Basisletten gerechnet werden. Im Gegensatz zum unteren Abschnitt enthalten sie häufiger grünliche Flecken und Lagen. Gelegentlich kommen auch Rissbrekzien, pedogene Harnische und durch Auslaugung von Gipsknollen entstandene Kalzitnester vor. Die Obergrenze wird ca. 1 m über der letzten roten bzw. violetten Lage an der Basis der ersten Dolomitbank der Rauenberg-Schichten gezogen.

## Rauenberg-Schichten (RM)

Die Rauenberg-Schichten sind durch die Bohrungen MAL-1 (Abb. 4.2) und RAU-1 (Abb. 5.1) erschlossen. Sie erhielten ihren Namen nach der Bohrung RAU-1 (LGRB 2003), die an der Oberkante der Schichtenfolge im Niveau der Ochsenbach-Bank einsetzt. Als Typlokalität mag THÜRACHS (1901) Profilpunkt 11



SW Rauenberg dienen, wo die Schichten zwar nicht mehr aufgeschlossen, aber oberflächennah zugänglich sind. Die Mächtigkeit beträgt in den ausgelaugten Bohrprofilen MAL-1 und RAU-1 16 m bzw. 15 m. In den Logs der benachbarten Tiefbohrungen ist der Horizont durch erhöhte Widerstände und geringe GR-Ausschläge („Sulfat-Spitzen“) gekennzeichnet. Die Mächtigkeit erreicht dort Werte von 18–23,5 m.

Die Rauenberg-Schichten zeigen ausschließlich graue bis grünlichgraue Farben. Die dolomitischen Schlufftonsteine und Mergelsteine sind i. A. feingeschichtet und lagenweise oft feinglimmerig bis feinsandig. Eingeschaltet sind zahlreiche Gipsresiduen und Steinmergelbänke von 5–40 cm (in MAL-1 bis 1,2 m) Dicke. Besonders unterhalb des Ochsenbach-Horizonts treten dünne, max. bis 10 cm starke, feinsandige Lagen auf. Es dürfte sich um die Ausläufer einer zweiten Sandschüttung (km4. s1.2) handeln, die im Stromberg Mächtigkeiten bis 3 m erreicht (ROCKENBAUCH 1987, Abb. 8). In MAL-1 fällt 2,5 m unter dem Ochsenbach-Horizont ein Dolomitstein mit mm- bis cm-starken, bioturbat gestörten Feinsandlagen ins Auge. Die Bank ist z. T. drusig bis kavernös ausgebildet und enthält Negative von Steinsalzkristallen. Im Übrigen sind Steinsalzkristallmarken selten und wurden in MAL-1 nur an einer Stelle beobachtet (REINHARDT 2000: 80).

Abgeschlossen werden die Rauenberg-Schichten durch den Ochsenbach-Horizont (OH) bzw. die „Ochsenbach-Bank“ des Strombergs, die im Kraichgau früher als „Oolithische Bank ω“ bezeichnet wurde. Dieser fossilführende Leithorizont ist vom Stromberg bis nach Lothringen verbreitet, wo er als „Dolomie supérieure“ (LEVALLOIS 1850, zit. in MÉGNIEN 1980) bzw. Oberer Steinmergel (BENECKE 1877) oder „Dolomie de deux metres“ (MÉGNIEN 1980) bezeichnet wird. Im Kraichgau handelt es sich z. T. um einen 3,5 m mächtigen Horizont mit zwei schillhaltigen Dolomitbänken, die durch grünlichgraue dolomitische Mergelsteine und Schlufftonsteine getrennt sind (SCHWEIZER & KRAATZ 1982: 64). Die untere in MAL-1 nur 0,2 m mächtige Bank ist z. T. arenitisch ausgebildet und führt lagenweise Feinschill. Gelegentlich kommen cm-große mikritische Dolomitintraklasten und Gipslöcher, selten Fischschuppen vor. In RAU-1 tritt in vergleichbarer Position eine 60 cm starke Dolomitbank auf, die bis auf einzelne Fischschuppen fossilfrei ist. Ob es sich jedoch um die gleiche Bank handelt ist fraglich. Die in MAL-1 2,4 m mächtigen Zwischenschichten enthalten wenige, z. T. poröse bis kavernöse Dolomitsteinbänke bis 25 cm Dicke. Die obere Ochsenbachbank wird knapp 1 m mächtig und

ist durch eine graue Mergelsteinfuge zweigeteilt. Sie ist überwiegend als poröser, oolithischer Schilldolomit ausgebildet und enthält z. T. mikritische Intraklasten bis cm-Größe sowie stromatolithische Strukturen (vgl. REINHARDT 2000: Fig. 39). In der Bohrung RAU-1 wurden unter dem Bohransatzpunkt gerade noch 60 cm eines verwitterten, hellgelben, drusigen Dolomits mit fraglichen Algenknollen erbohrt.

Im Profil 3 (NW Mühlhausen) von NAGEL (1990: 155 f.) ist die obere Bank 0,75 m mächtig und schillführend, darunter folgen noch 0,6 m sterile, z. T. drusige Dolomitsteine mit Tonfugen. Eine fossilführende untere Ochsenbachbank ist dort nicht ausgebildet, doch folgt im Liegenden unter einer Zwischenschicht von knapp 2,5 m ein lagenweise poröser Dolomitstein von 26 cm Dicke mit Intraklasten. In seinem Profil 7 (ESE Tiefenbach) ist die obere Ochsenbachbank 0,9 m mächtig und durch 30 cm Tonstein mit Gipsresiduen zweigeteilt. Der obere Abschnitt enthält Schalenrümmer und Onkoide, der untere ist steril und führt z. T. Drusen und Intraklasten, im Dünnschliff sind auch Ooide und Ostracoden erkennbar.

Im Stromberg wird die Ochsenbachbank meist von zwei (oder mehreren) bis zu einigen dm mächtigen Bänken gebildet, die i. A. durch 1–1,2 m grüngraue Tonsteine getrennt sind (BACHMANN & BRUNNER 1998: 49). Im seinem Profil 19 (Gündelbach) gibt LANG (1909: 126) eine Mächtigkeit von insgesamt 2,5 m an. Nach ROCKENBAUCH (1987: 110) ist der Horizont nur 0,5 m mächtig. Die Schill- und Ooidführung beschränkt sich meist auf die untere oder die obere Bank, seltener sind beide Bänke schillführend, wie in dem o. g. Profil Gündelbach. Charakteristisch ist das Vorkommen von Baryt, gelegentlich treten wie im Kraichgau Intraklasten auf, die der Bank ein „konglomeratisches“ Aussehen verleihen können (BRENNER 1978: 116). Als biogene Komponenten kommen nach BLUNK & SCHWEIZER (1983) neben Muschelschill Schnecken-Schalen, Ostracoden, Stromatolithe sowie Onkoide und Fischreste vor. Aufgrund der Fauna und Fazies soll es sich um eine rein lakustrine Bildung handeln (s. auch CARLÉ & LINCK 1949). Nach SEEGIS (1997: 171) spricht jedoch das Vorkommen der Muscheln „*Perna*“ *keuperina* (entgegen WARTH 1994) und *Bakevellia* cf. *gansingensis* und des Ostracoden *Rhombocythere* sp. für marine Einflüsse.

Im Gegensatz zu den Roten Basisletten, die eine typische Playabildung mit zum Beckeninnern zunehmend roten Farben darstellen, lassen die zum Beckeninnern zunehmend grauen Farben in den Rauenberg-Schichten zumindest auf ein perennieren-

des Gewässer im Becken schließen. Die Tatsache, dass die Dolomitbänke zum Kraichgautrog ebenso wie zum Pariser Becken (NAGEL 1990, Abb. 8) eher zu- als abnehmen, spricht gegen lakustrine Karbonatbildungen nach dem „Ochsenaugen-Muster“, wie sie z. B. für den Lehrberg-See typisch sind (SEEGIS 1997). Eher scheinen hier randmarine Sabkha-ähnliche Sedimentationsbedingungen bei einem gegen Ende der Rauenberg-Schichten hochstehenden Meeresspiegel geherrscht zu haben, wie sie auch für den Steinmergelkeuper in Lothringen angenommen werden (BOCK et al. 1987: 224, BOURQUIN et al. 1997). REINHARDT (2000) und REINHARDT & RICKEN (2000) schließen aufgrund geochemischer Signaturen (Zunahme der schweren Sauerstoffisotope im Ochsenbach-Horizont und fehlende Kovarianz der stabilen Sauerstoff- und Kohlenstoff-Isotope) im Profil MAL-1 auf zeitweilige Verbindungen zur Tethys.

## 6.8.2 Mittlerer Stubensandstein (km4m)

Der mittlere, in MAL-1 28 m mächtige Abschnitt der Stubensandstein-Formation umfasst den 2. Stubensandstein (s2) und die Hangendletten 2 (t2) mit dem Krustenkalk 2 (K2). Von den drei vindelizischen Sandschüttungen des s2 erreichen den Kraichgau der s2.1 und s2.3, die dem S3 und S4 der alten badischen Gliederung entsprechen (vgl. Kap. 4).

### 2. Stubensandstein (s2)

Über der obersten Ochsenbach-Bank folgen zunächst 1,15 m mächtige, grünlichgraue, teilweise rötliche, dolomitische Tonmergelsteine, die sogenannten Basisletten des km4m, die im GR-Log eine deutliche Spitze verursachen. Eine ungeschichtete wolkige Feintextur, das Vorkommen kleiner Dolomitknöllchen und pedogener Harnische lassen darauf schließen, dass sich wieder Playa-Bedingungen eingestellt haben.

Der 2. Stubensandstein setzt mit einer ersten Sandschüttung, dem Stubensandstein 2.1 (s2.1) ein. Dieser ist in MAL-1 1,2 m mächtig und beginnt mit einem 40 cm starken, gradierten, z. T. schräggeschichteten, hellgrauen Sandstein. Die Basislage ist mittel- bis grobkörnig und führt bis cm-große dolomitische Mergelsteingröße. Gegen oben wird der Sandstein feinkörnig und enthält Trockenrisse. Daran schließt sich eine Wechsellagerung von grau-grünen Tonsteinen und hellgrauen Fein-

bis Mittelsandsteinen an. Auch ein Dolomitsteinbänkchen kommt darin vor. In den Profilen 1 (E Rauenberg) und 3 (NW Mühlhausen) von NAGEL (1990) ist der s2 0,3–0,9 m mächtig. Darin wechseln verkiezelte Sandsteinbänke mit grauen Tonsteinlagen und Steinmergelbänken. In den Widerstandslogs der Tiefbohrungen ist dieser Sandstein z. T. als deutliche Spitze ausgebildet und von den Spitzen der Rauenbergschichten nicht immer klar zu trennen.

In MAL-1 folgen dem s2.1-Sandstein 4,5 m graue bis grünlichgraue, meist feingeschichtete, dolomitische Mergelsteine, z. T. mit dünnen feinsandigen Lagen, die man noch zum retrogradierenden Abschnitt des s2.1 rechnen kann. Darin treten auch einzelne tonige, teilweise bioturbate Dolomitsteinbänke bis 15 cm Dicke auf. In der untersten Dolomitbank bei 85,5 m Teufe, die dem Niveau der Herrenberg (= Rottweil-) Bank entsprechen soll, ergaben Sauerstoffisotopenmessungen von REINHARDT (2000) ähnlich schwere Werte wie im Ochsenbach-Horizont.

Die eigentlichen Zwischenletten (tz2.1 bis tz2.2) darüber erreichen eine Mächtigkeit von 16,5 m und bestehen überwiegend aus ungeschichteten rotbraunen bis rotvioletten, weniger grünlichgrauen, dolomitischen Mergelsteinen. Besonders in den unteren 4 m kommen auch einige tonige Dolomit- bis Dolomitmergelsteinbänke vor. Rissbrekzien, marmorierte Mischfarben und pedogene Harnische sprechen für häufiges Trockenfallen. Lediglich ein 1 m mächtiger, grünlichgrauer dolomitischer Mergelstein etwa 10 m unter dem s2.3 zeigt eine laminierte Schichtung und feine Siltlagen. Es könnte sich hierbei um einen letzten Ausläufer des Sandsteins s2.2 handeln.

NAGEL (1990: 134) gibt in seinen Profilen 2 und 5 bei Rauenberg und Mühlhausen unter dem badischen S4 graue bis rote und violette Tonsteine mit zahlreichen Steinmergelbänken und Gipsresiduen an. Nach einem Vergleich mit der Schichtenfolge der Bohrungen MAL-1 und RAU-1 dürfte es sich hierbei eher um die Oberen Bunten Mergel mit den Auslaugungsresiduen des Heldburg-Sulfats handeln. Eine Parallelisierung der Schichten war jedoch nicht möglich. Vermutlich ist die Schichtenfolge in den beiden NAGELschen Profilen tektonisch gestört.

Der Stubensandstein 2.3 (s2.3) ist 0,45 m stark und setzt sich zusammen aus einem 10 cm dicken, grauen bis grünlichgrauen Fein- bis Mittelsandstein an der Basis und darüber folgend grünlichgrauen, z. T. feinsandigen, geschichteten



Schlufftonsteinen. Die Feinschichtung ist z. T. bioturbat gestört. Sowohl der Sandstein als auch die Schlufftonsteine sind reich an kohligem Pflanzenhäcksel und schwarzen Vertebratenresten, darunter finden sich insbesondere Ganoidschuppen und *Ceratodus*-Schuppenfragmente. Die obersten 25 cm enthalten zahlreiche Conchostraken.

#### Hangendletten 2 (t2) und Krustenkalk 2 (k2)

Der insgesamt 4,4 m mächtige Hangendletten 2 (t2) besteht in MAL-1 abgesehen von jeweils einer graugrünen bis rotvioletten Tonmergelsteinlage im Liegenden und Hangenden überwiegend aus ungeschichteten, z. T. knolligen, rotbraunen bis rotvioletten, teilweise graugrün gefleckten, tonigen Dolomitsteinen bis Dolomitmergelsteinen. Sie sind häufig von dunkel-rotvioletten Rissen durchsetzt, die stellenweise in regelrechte Rissbrekzien übergehen. Nach SCHWEIZER (1982: 65) enthalten die 5–6 m mächtigen, roten bis violetten Mergelsteine zwischen dem S4 und S5 „knollige Steinmergellagen und lagig angeordnete Kalkknollen“.

Der einzige Horizont im Stromberg, der nach Aussehen, Genese und Mächtigkeit mit diesem eine gewisse Ähnlichkeit hat, ist das „Kalkkonglomerat“ bzw. der Krustenkalk 2 (K2), der zwischen dem 2. und dem 3. Stubensandstein ebenfalls eine Mächtigkeit von nur wenigen Metern hat (s. ROCKENBAUCH 1987: Abb. 3). Das kalzitisch verkittete, konglomeratische bis brekziöse Gestein setzt sich dort aus mm- bis cm-großen, z. T. eckigen, roten und grauen Steinmergel- und weißlichen Kalkstein-Komponenten zusammen (LINCK 1938, LAEMMLEN 1954: 164 f., BRENNER 1973: 168 f.). Es zeigt somit – im Gegensatz zu autochthonen Krustenkarbonaten – deutliche Anzeichen von Aufarbeitungserscheinungen, die vermutlich auf Umlagerungsprozesse am Rande eines temporären Playasees zurückzuführen sind. Man muss annehmen, dass die knolligen Steinmergel und Rissbrekzien zwischen den THÜRACHSchen Sandsteinen S3 und S4 im Kraichgau nichts anderes darstellen als das beckenwärtige Äquivalent des K2 im Stromberg. Diese Parallelisierung wurde schon von VOLLRATH (1928: 230) vermutet und führte schließlich zur Revision der Lithostratigraphie im Kraichgau (Kap. 4).

Die Deutung der Logs in den Tiefbohrungen ist in diesem Niveau problematisch. In der WSL-H zeigt der K2 gegenüber dem hangenden S3 ähnlich

geringe Strahlungswerte wie die Zwischenletten im Liegenden. Dagegen scheint er in der LBQ durch stärkere Ausschläge gekennzeichnet zu sein. Auch in den Widerstandslogs der untersuchten Tiefbohrungen ist der K2 nicht deutlich zu erkennen. Lediglich in der Bohrung IB6 tritt eine 2 m mächtige Doppelspitze unmittelbar unter dem s3-Sandstein auf.

### 6.8.3 Oberer Stubensandstein (km4o)

Die Schichten des Oberen Stubensandsteins umfassen den 3. Stubensandstein (= THÜRACHS S5), den Hangendletten 3 (t3) und den Malschenberg-Sandstein (früher „Bonebed- oder Rhät-sandstein“). Die Mächtigkeit beträgt in MAL-1 47,3 m. In den benachbarten Tiefbohrungen wurden 40,5–46,5 m ermittelt.

#### 3. Stubensandstein (s3)

Der 7 m mächtige Horizont besteht überwiegend aus (dunkel-) grünlichgrauen Schlufftonsteinen, in die im oberen Drittel vereinzelt Sandsteinbänke bis 30 cm Dicke eingeschaltet sind. Die mehr oder weniger dolomitischen Schlufftonsteine sind feinlaminiert und führen bis wenige mm starke Feinsandlagen oder -linsen, die z. T. bioturbat gestört sind. Im unteren Abschnitt kommen an Sandlagen gebundene Bonebeds vor, die neben Koprolithen und Ganoidschuppen nach R. BÖTTCHER (SMNS) Zahnfragmente von *Hybodus (minor?)* und *Saurichthys? sp.* enthalten (vgl. auch THÜRACH 1889: 67, 1901: 30). Gelegentlich kommen auch bis cm-große Dolomitgeröllchen, Kohlestückchen bis 3 mm und Quarzkörner bis 1 mm vor. Daneben finden sich lagenweise kohlige Pflanzenreste und Conchostraken, die von M. WARTH (SMNS) als *Euestheria (jetzt Laxitextella) dorsorecta* bestimmt wurden. Schalenfragmente mit einem Netzornament scheinen einer unbekannteren Art anzugehören. Im höheren Abschnitt (unter der obersten Sandsteinbank) ist eine 10 cm starke Lage teilweise rotviolett gefärbt. Wenig darunter treten sanderfüllte Trockenrisse auf.

Die grünlichgrauen Feinsandsteine sind dolomitisch gebunden und meist bioturbat durchwühlt. Übergänge zu einem knolligen bis brekziösen Dolomitstein werden als beginnende Krustenbildung gedeutet und vertikale, humose Schlieren als Wurzelspuren interpretiert. Abgeschlossen wird der Horizont oben durch ein 3 cm starkes, grünlich-graues, bioturbates Dolomitbänkchen, in dem (z. T. zweiklappige) Ostracodenschälchen vorkommen.

Der im Stromberg noch 20–25 m mächtige, weiße bis gelbliche 3. Stubensandstein (ROCKENBAUCH 1987: 111) mit einer verkieselten Sandsteinbank in der Mitte ist überwiegend kaolinitisch gebunden (THÜRACH 1889: 63) und wurde deshalb früher als „Stubensand“ abgebaut. Das fast vollständige Fehlen von roten Farben im Kraichgau und das Einsetzen der Sandsteinbänke erst im oberen Drittel sprechen für eine Unterbrechung der Playa-bedingungen und die Progradation des s3 in ein stehendes Gewässer, ähnlich wie es für den Malschenberg-Sandstein (s4) vermutet wird. Knollige Dolomitsteine, Wurzelspuren und Trockenrisse lassen jedoch auf ein zeitweiliges Trockenfallen schließen.

Im GR-Log (MAL-1, LBQ) machen sich die dolomitischen Sandsteine des s3 durch verringerte, die tonigen Abschnitte durch deutlich höhere Ausschläge bemerkbar. Die Deutung der Widerstandskurven in den älteren Tiefbohrungen ist unsicher. LUTZ & ETZOLD (2003) nahmen an, dass der von ihnen als Widerstandsspitze „x“ bezeichnete erste positive Ausschlag unter der recht einheitlichen t3-Kurve dem s3 entspricht. Dies scheint tatsächlich für die Bohrungen auf den Kartenblättern 6717 Waghäusel und 6718 Wiesloch zuzutreffen. Auf Bl. 6817 Bruchsal ist diese Spitze in der Bohrung STF-1 nur noch schwach ausgebildet und in der Bohrung IB6 nicht mehr zu erkennen. Statt dessen erscheint wenig tiefer (unmittelbar unter dem in IB6 gekernten s3) eine neue Widerstandsspitze „x“, die dem K2 zu entsprechen scheint (s. o.).

### Hangendletten 3 (t3)

Der „Untere“ oder „Falsche Knollenmergel“ (= t3) wurde im Stromberg früher (PAULUS & BACH 1865, THÜRACH 1889, E. FRAAS 1903) und im Kraichgau bis jetzt für den (schwäbischen) Knollenmergel (km5) gehalten (s. Kap. 4). Auch die Erstbeschreibung des Knollenmergels (DEFFNER & FRAAS 1859) bezog sich auf den t3 der Langenbrücker Senke. STETTNER (1914: 13) vermutete als erster eine Verknüpfung der „Knollenmergel THÜRACH's bei Malsch“ mit den „roten Tönen mit Mergelknollen unter dem gelben Sandstein bei Löwenstein No.4“ (s. Kap. 4).

THÜRACH (1889: 67) gibt in seinem Profil Rothenberg für die entsprechenden Schichten eine Mächtigkeit von 22 m an (Tab. 5). Tatsächlich sind es in der Bohrung MAL-1 knapp 33 m. Im Stromberg

beträgt die Mächtigkeit nach THÜRACH (1889: 63) „im Mittel nur 20 m“, nach VOLLRATH (1929: 29) 20–25 m, nach ROCKENBAUCH (1987: 112) jedoch > 30 m. In den untersuchten Tiefbohrungen werden Mächtigkeiten zwischen 29–33 m erreicht.

Der Horizont besteht aus ungeschichteten, z. T. feinknolligen, dolomitischen Mergelsteinen, von grünlichgrauer bis rotbrauner und rotvioletter Farbe. Oft handelt es sich um durch Marmorierung oder Fleckung erzeugte Mischfarben. Ein schwacher Feinsandgehalt ist nur im untersten, grünlichgrauen, 2,2 m mächtigen Abschnitt zu verzeichnen. Dolomit- oder Kalksteinknollen wie sie im schwäbischen Knollenmergel häufig anzutreffen sind, fehlen bis auf eine 5 cm große Dolomitsteinknolle bei 26,75 m Teufe. Lediglich mm-kleine Dolomitsteinknöllchen sind hin und wieder anzutreffen. Zwei tonige Dolomitsteinbänkchen bis 10 cm Dicke wurden wenig über der Mitte beobachtet. Häufig sind dunkelrotbraune oder -violette Risse, die zu Rissbrekzien überleiten können. Nicht selten kommen pedogene Harnische, vereinzelt schwarze, humose Flecken (unstrukturierte kohlige Reste) und vertikale Wurzelspuren vor. Etwa in der Mitte ist ein grauer bis grünlichgrauer 0,75 m dicker Horizont ausgebildet, der neben kohligen Resten Schuppen- und Zahnfragmente von *Ceratodus* sp., *Saurichthys* sp.? und *Lissodus* sp.? sowie Zahn- und Kieferfragmente von unbestimmbaren Amphibien enthält. BENECKE & COHEN (1881: 452) erwähnen eine „brecienartige, feste Steinmergelbank von rother, violetter bis gelber Farbe“ mit Knochenbruchstücken.

Insgesamt nehmen die roten Farben nach oben ab. Die obersten 2,5 m sind grünlichgrau entfärbt, zeigen jedoch die gleiche knollige bis brekziöse Feintextur wie die Mergelsteine im Liegenden. Bis 1,5 m unter der Obergrenze kommen neben humosen Partikeln und Wurzelspuren (glaukonitische?) Grünpillen bis 0,2 mm und Quarzkörner bis 1 mm Größe sowie Vertebratenreste und Ostracoden vor, die vermutlich über Trockenrisse zu Beginn des 4. Stubensandsteins nach unten verlagert wurden. Von den Vertebratenresten konnte folgende durch R. BÖTTCHER (SMNS) identifiziert werden: Zähnen bzw. Zahnfragmente von *Hybodus minor*, *Lissodus minimus* und *Birgeria acuminata*, Schuppenfragmente von *Ceratodus* sp. sowie Placoidschuppen. Unter den z. T. doppelklappigen Ostracoden fanden sich nach K. OPPERMANN (Halle, Berlin): *Gemmanella (Rhombocythere)* cf. *obliqua* (WILL 1969), die für die basale *elegans*-Zone der oberen *postera*-Schichten leitend ist.



### Malschenberg-Sandstein (MBS) (= 4. Stubensandstein)

Dieser früher im Kraichgau als Bonebed- oder Rhätsandstein bezeichnete Horizont wurde von DEFFNER & FRAAS (1859), BENECKE & COHEN (1881) sowie RÜGER (1992a, b) und JÜNGST (1929) ausführlich beschrieben. Nach der Neueinstufung (s. Kap. 4) handelt es sich um den 4. Stubensandstein in einer brackischen bis limnischen Fazies, die bereits im Stromberg unter der grobkörnigen, fluviatilen Fazies einsetzt. Als neuer Name wurde die Bezeichnung Malschenberg-Sandstein gewählt (LGRB 2003), nach der Bohrung MAL-1, in der er vollständig gekernt und geophysikalisch vermessen wurde. Als Typregion mag das Gebiet zwischen Malschenberg–Mühlhausen–Östringen dienen, wo er früher in zahlreichen kleinen Steinbrüchen abgebaut wurde, aus denen sich eine Reihe von Profilaufnahmen und Fundstellen herleitet (THÜRACH 1904: 17, RÜGER 1922a: Fig. 1).

Nach RÜGER (1922a) beträgt seine Mächtigkeit 6–8 m. Nur S Mühlhausen nimmt sie auf 10–11 m zu. Die Kernbohrung Mingolsheim (1968) erschloss ihn in einer Mächtigkeit von 10,4 m (HETTICH 1974). In der Bohrung MAL-1 ist er 7,2 m mächtig.

Über den Hangendletten 3 beginnt der Horizont in MAL-1 mit scharfer Grenze als Wechsellagerung von dunkelgrauen, feinsandigen, karbonatfreien Schlufftonsteinen und mittelgrauen Feinsandsteinen. Die Schlufftonsteine sind feinlaminiert und enthalten bis mm-dünne Feinsandlagen bzw. -linsen, die z. T. bioturbat verwühlt sind. In den untersten 50 cm kommen gelegentlich Vertebratenreste (darunter Zähnchen von *Birgeria acuminata*) und dunkelgrüne Glaukonitkörner vor, die bereits von RÜGER (1922a: 74) erwähnt werden. Das erste Sandsteinbänkchen darüber enthält reichlich Pyrit, feinste kohlige Flitter und schwarze Vertebratenreste, darunter Zähnchen von *Hybodus minor* und Placoidschuppen. Es entspricht RÜGERS (1922a) Bonebedlagen.

Die Sandsteine werden nach oben zunehmend kräftiger und heller in ihrer Farbe. Sie sind meist feinlaminiert, die Schichtflächen z. T. glimmerig, gelegentlich auch auch kohlig-schwarz. Schrägschichtung ist nur selten zu erkennen. In einer der obersten Schlufftonsteinlagen, 3,5 m über der Basis, wurde ein Ostracoden-Pyritsteinkern gefunden, der von K. OPPERMANN (Halle, Berlin) als *Gemmanella (Rhombocythere) cf. wicheri* bestimmt werden konnte. Etwa 2,6–3,3 m unter der Obergrenze kommt feines Pflanzenhäcksel und eine schwach

kohlige Lage vor. Ob es sich hierbei um die sogenannte Pflanzenhäcksel-schicht handelt, mit der der Sandstein nach RÜGER (1922a) i. A. nach oben abschließt, ist fraglich. In MAL-1 folgt darüber ein 2,65 m mächtiger kompakter Feinsandstein, der unten hellgelb, oben (1,4 m) weißlichgrau gefärbt ist und teils schwach kaolinitisch, teils kieselig gebunden ist.

Nach RÜGER (1922a: 11) kommen 0,5–0,7 m über der Basis regelmäßig Bonebedlagen vor, die Zähnchen von *Saurichthys*, *Lissodus*, *Termatosaurus* sowie *Gyrolepis*-Schuppen enthalten. Vereinzelt treten darin vollkommen gerundete Kieselschiefergerölle bis 2 cm Durchmesser auf, die er für Magensteine hielt. In der Kernbohrung Mingolsheim (1968) liegt 0,55 m über der Basis ein Bonebed mit Grobsandkörnern bis mm-Größe (HETTICH 1974). Wie in MAL-1 schließen sich nach RÜGER (1922a) die dünn-schichtigen, hellbraunen Sandsteine gegen oben enger zusammen. Häufig wurden Rippelmarken und Trockenrisse beobachtet. DEFFNER & FRAAS (1859) sowie RÜGER (1922a: 13 f.) erwähnen außerdem hufeisenförmige Grabgänge, bei denen es sich möglicherweise um U-Röhren von *Solemyatuba* (früher *Arenicolites*) handeln könnte. An Muschelresten finden sich lediglich die gleichen „Gurkenkern“-Abdrücke wie im s4 des Strombergs, wo sie von WARTH (1990) als *Unionites posterus* bestimmt wurden. Den Abschluss bildet i. d. R. ein ca. 1,5 m mächtiger, weißer Fein- bis Mittelsandstein, der als kieseliger Kristallsandstein ausgebildet ist und zuoberst kohliges Pflanzenhäcksel, Tongallen und Sandsteingerölle führt. Dieser als „Pflanzenhäcksel-schicht“ bezeichnete Horizont enthält nach FRENTZEN (1921) „rhätische“ Pflanzenreste wie *Schizoneura hoerensis* und *Otozamites brevifolius*. Bei Östringen kommen nach RÜGER (1922a: 20) darin auch bis 2 cm große, gut gerundete Gerölle aus Quarz, Quarziten und Kieselschiefern vor. In der Kernbohrung Mingolsheim (1968) ist der weiße Sandstein 5,8 m mächtig und enthält zuoberst mehrere Lagen mit kohligem Pflanzendetritus (HETTICH 1974).

Mit der Pflanzenhäcksel-schicht enden nach RÜGER (1922a) die meisten Profile. Lediglich in dem ehemaligen großen Steinbruch S Mühlhausen folgen darüber noch ca. 3,0 m mächtige, massive gelblichweiße Sandsteine, die z. T. Rippelmarken, Trockenrisse, U-förmigen Grabröhren und Abdrücke von *Unionites posterus* führen. Darin fallen Sandsteinkugeln bis 70 cm Durchmesser auf, die nach DEFFNER & FRAAS (1859) aus einem feinkörnigen, seidenglänzenden Sandkalk bestehen.

Die Obergrenze des Malschenberg-Sandsteins ist nach RÜGER (1922a: 14, Fig. 1–2, 1922b) messerscharf und zeigt ein ausgeprägtes Erosionsrelief mit Höhenunterschieden von 0,5 m. Deutet man die 3 m mächtigen Sandsteine über der Pflanzenhäckselschicht bei Mühlhausen als Erosionsrelikt, so kommt man auf Höhendifferenzen von > 3,5 m. RÜGER (1922a: 94, 1922b) bezeichnet das Erosionsrelief als Diskordanz, misst ihr aber keine überregionale Bedeutung zu. Nach unserer Auffassung handelt es sich um die beckenweit verfolgbare Diskordanz D6 an der Basis des marinen Mittelrhäts, die im Hangenden bereits den Knollenmergel und Teile des 4. Stubensandsteins abgeschnitten hat und die nach LUTZ & ETZOLD (2003) S Karlsruhe an der N-Flanke des Burgundischen Sporns schließlich den gesamten Malschenberg-Sandstein und Teile des t3 entfernt hat. Im Kraichgau folgt daher über dem 4. Stubensandstein (= Malschenberg-Sandstein) unter Ausfall des Knollenmergels unmittelbar die Rhätkeuper-Formation bzw. der Rhätton (Contorta- und Trileteston).

Im Oberrheingraben ist der Malschenberg-Sandstein bis Karlsruhe mit Mächtigkeiten von etwa 7–13 m in den Logs gut zu erkennen. Besonders die Obergrenze gegen den Rhätton ist scharf ausgebildet. Nach LUTZ & ETZOLD (2003) lässt die Zunahme der Sandsteine von unten nach oben und die entsprechende Trichter-Form in den Logs eine Progradation des Sandsteins in ein stehendes Gewässer erkennen. Im Stromberg entspricht der Malschenberg-Sandstein dem feinkörnigen unteren Abschnitt des 4. Stubensandsteins, der nach LAEMMLEN (1954) 3–5 m, nach WARTH (1990) etwa 6 m mächtig ist und früher als Pseudorhät oder Strombergrhät bezeichnet wurde (s. Kap. 4).

In Lothringen wurde die Diskordanz D6 an der Basis des Mittelrhäts bisher nicht beschrieben, doch dürfte sie für das Fehlen des (schwäbischen) Knollenmergels und die geringe Mächtigkeit der „Argiles bariolées dolomitiques“ bzw. der „Zone argilo-dolomitique“ (etwa Stubensandstein-Formation) mit verantwortlich sein, die mit 25–30 m angegeben wird (COUREL et al. 1980). Offen ist auch die Frage, ob und welchen Anteil der unterrhätische Malschenbergsandstein (bzw. der 4. Stubensandstein) am Rhätsandstein in Frankreich hat. Immerhin fällt auf, dass in Lothringen die marine Mittelrhätfauna erst im obersten, tonigen Abschnitt der „Sables de Mortinsart“ einsetzt (HENDRIKS 1982, BERNERS et al. 1984b: Abb. 4). Auch in den nördlichen Anschlussgebieten des Keupers bei Fulda im Leinetal und Lauterbacher Graben scheint

nach VATH (2005) und LUTZ (2005) entgegen LAEMMLEN (1996) der Knollenmergel zu fehlen und zwischen dem Unterrhät-Sandstein (= 4. Stubensandstein?) und dem marinen Mittelrhät-Tonstein eine nicht unbedeutende Schichtlücke zu klaffen. Ob diese Unterrhät-Sandsteine ausschließlich als böhmisch-vindelizische Schüttungen zu betrachten sind, ist noch nicht geklärt. Für die „Sables de Mortinsart“ scheint eine wichtige Quelle das Rheinische Massiv gewesen zu sein (HENDRIKS 1982, BERNERS et al. 1984a).

Im tieferen Teil des Malschenberg-Sandsteins sprechen das Vorkommen von Glaukonit und die Sporomorphen-Vergesellschaftung (HEUNISCH 1996, SCHULZ & HEUNISCH 2005) für marine Einflüsse. Stratigraphisch gehört der Malschenberg-Sandstein aufgrund der genannten palynologischen Untersuchungen zu den postera-Schichten WILLS (1969) bzw. in das norddeutsche Unterrhät sensu SCHOTT (1942) und zwar nach den Ostracoden-Bestimmungen Oppermanns (s. o.) in dessen obersten Abschnitt, das Unterrhät 3 oder die *elegans*-Zone (vgl. LUTZ 2005: Abb. 4.4–1).

## 6.9 Rhätkeuper-Formation (koR), Exter-Formation z. T.

Die Rhätkeuper-Formation in Baden-Württemberg umfasst ausschließlich das Mittel- und Oberrhät, also die *contorta*- und *triletes*-Schichten. Unter- und Obergrenze werden von den Diskordanzen D6 (s. o.) und D8 (Jura-Basis) gebildet. Die überregionale Exter-Formation schließt dagegen das marin beeinflusste Unterrhät (= *postera*-Schichten) mit ein. Ihre Untergrenze liegt im norddeutschen Becken an der Folgen-Grenze k5/k6, die in Süddeutschland an der Basis des 3. Stubensandsteins vermutet wird (SEELING & KELLNER 2002, LUTZ 2005), und steigt nach S diskordant bis zur Basis des Malschenberg-Sandsteins im Kraichgau an (STD 2002).

### 6.9.1 Rhätton (kot)

Im Kraichgau und anschließenden Oberrheingraben liegt die Rhätkeuper-Formation in toniger Fazies vor. Der Tübinger Rhätsandstein ist eine küstennahe Randfazies, die bereits in der Gegend Stuttgart–Herrenberg in die Tonfazies (Contortaton) übergeht (VOLLRATH 1928, BLOOS in WURM 1992: 41 ff.).



Die Bohrung MAL-1 (Abb. 4.1) setzt im Festgestein nur wenig unter der Jura-Grenze an, wie der bis 1,9 m Tiefe reichende Lias-Schutt (Fließerde?) und Lesesteine der Psilonotenbank an der Oberfläche bezeugen. Die Bohrung erschließt daher die Rhätkeuper-Formation (koR) mit einer Mächtigkeit von > 12,6 m nahezu vollständig. In der Kernbohrung Mingolsheim (1968) (HETTICH 1974) ist der Rhätton 10,9 m mächtig. Ähnliche Werte, die zwischen 8,5 und 12 m schwanken, werden auch in weiteren Bohrungen der Beckenfazies des Oberrheingrabens erreicht (LUTZ & ETZOLD 2003).

Innerhalb des Rhättons kann man lithologisch einen unteren dunkel gefärbten, z. T. sandigen und zudem fossilreichen und einen oberen, heller gefärbten, sandfreien, makroskopisch fossilleren Abschnitt unterscheiden (EHRAT 1920, RÜGER 1922a: 22). Ökostratigraphisch entsprechen die beiden Abschnitte den contorta- und triletes-Schichten, im LGRB-Symbolschlüssel werden sie als Contortata- und Trileteston bezeichnet.

#### Contortata (koC)

Dieser in MAL-1 6,3 m mächtige Horizont setzt sich aus dunkel- bis schwarzgrauen, z. T. feinsandigen, laminierten Schlufftonsteinen zusammen, die reich an Pyrit (fein verteilt und in Form von Konkretionen) sind. Die untersten 50 cm bestehen aus einer Wechsellagerung von schwarzgrauen Tonsteinen und rostbraunen Feinsandsteinen. Darüber treten nur noch vereinzelt feine Sandlagen bzw. -linsen auf. In einer Probe wurden Glaukonitkörner bis 0,2 mm festgestellt. An Fossilien fanden sich Foraminiferen und nach R. BÖTTCHER (SMNS) Placoidschuppen, Zähnen bzw. Zahnfragmente von *Birgeria acuminata*, *Hybodus minor* und *Amphibia* indet. sowie Schalen von *Lingula deitersensis*. Aufgrund der Muschelfauna (s. u.) und der Palynomorphen (HEUNISCH 1996) gehört dieser Abschnitt dem marinen Mittelrhät an.

In dem ehemaligen großen Steinbruch von Mühlhausen beträgt nach RÜGER (1922a: 21 f.) die Mächtigkeit des Rhättons 9,1 m, wovon 3,6 m auf den Contortata entfallen. Besonders im untersten Abschnitt kommen meist dünne Sandsteinlinsen bzw. -rinnen vor. Diese Sandsteinbänke können nach JÜNGST (1929) bis 40 cm mächtig werden, sie sind z. T. verkieselt und zeigen auf der Unterseite Strömungsmarken. An Fossilfunden werden aus dem Contortata insbesondere *Rhaetavicula contorta*, *Protocardium* sp., *Chlamys valoniensis*,

*Lingula deitersensis* und *Discina rhaetica* sowie Reste von Hybodontiden, *Saurichthys*, *Gyrolepis* und *Acroodus* genannt (DEFFNER & FRAAS 1859, ANDREAE 1893, RÜGER 1922a, JÜNGST 1929). ANDREAE (1893) gibt außerdem Reste von Ophiuren an. DEFFNER & FRAAS (1859) erwähnen aus einem Steinbruch vom Galgenberg zwischen Malschenberg und Rothenberg den Abdruck eines Flugfingerknochens von *Pterodactylus primus*. Nach HETTICH (1974) kommen in dem nur 3,0 m mächtigen Contortata der Kernbohrung Mingolsheim (1968) *Rhizocorallium commune* und Muschelpflaster mit *Anoplophora* sp. vor.

In den Tiefbohrungen ist eine Unterscheidung zwischen Contortata- und Trileteston anhand der Logs nicht möglich oder sehr unsicher. Aber schon bei den wenigen sicheren Daten fällt auf, dass eine höhere Mächtigkeit des Malschenberg-Sandsteins (10–11 m bei Mühlhausen und 10,4 m in der Kernbohrung Mingolsheim 1968) mit einer geringeren Mächtigkeit des Rhättons (9,1 m und 10,9 m) bzw. des Contortatons (3,0 und 3,6 m) und eine geringere Mächtigkeit des Malschenberg-Sandsteins in der MAL-1 (7,2 m) mit einer höheren Mächtigkeit des Rhättons (ca. 13 m) bzw. des Contortatons (6,3 m) korrespondiert. Als Ursache der Mächtigkeitsdifferenzen wird das durch die Diskordanz verursachte Relief im Dach des Malschenberg-Sandsteins vermutet.

#### Trileteston (kotT)

Der oberste Abschnitt der Rhätkeuper-Formation ist in MAL-1 > 6,3 m mächtig und besteht aus einem hell- bis gelblichgrauen kalkfreien Tonstein, der zuoberst steif-plastisch verwittert ist und sich speckig anfühlt. Gelegentlich ist eine ebene Feinschichtung zu erkennen. Im Gegensatz zu dem papierdünnen Aufblättern des Contortatons ist der Bruch eher muschelartig. Makroskopisch ist das Gestein vollkommen fossilfrei. Im unteren Abschnitt erkennt man unter dem Binokular sehr feine (< 0,1 mm), kohlige Reste, wie sie bereits von BUCK (1953) aus dem Stuttgarter Raum beschrieben wurden. Zwischen 2,4–2,8 m Tiefe sind die Schichtflächen z. T. erfüllt von flachgedrückten, rundlichen „Tonoiden“ mit 0,1–0,5 (selten –2) mm Durchmesser, die gelegentlich eine konzentrische Streifung zeigen und Ähnlichkeit mit den „Tonoiden“ im Unteren Lettenkeuper (Kap. 6.4.1) haben. Die Natur dieser Gebilde ist bisher unbekannt. Möglicherweise handelt es sich bei der von HETTICH (1974: 89) beschriebenen „Lage mit

Muschelbrut“ um das gleiche problematicum. Auch BERG (1961) fand im Rhätton S Freiburg konzentrisch aufgebaute linsenförmige Tonkörper in der Größenordnung von 1 mm und kleiner (s. a. GENSER 1962). Ähnliche Gebilde deutete WILL (1969: 109 f.) als Steinkerne der Dorsalklappe von *Orbiculoidea*.

Im ehemaligen Steinbruch Mühlhausen sind die Tone braungrau gefärbt und haben nach RÜGER (1922a) eine Mächtigkeit von 5,5 m. In der Kernbohrung Mingolsheim (1968) ist der Trileteston hellgrau und 7,85 m mächtig (HETTICH 1974). JÜNGST (1929: 40) konnte in einem Schurf dünne rotbraune Lagen feststellen, wie sie für die äquivalenten „Argiles de Levallois“ in Frankreich typisch sind.

In der Bohrung MAL-1 ist nach Untersuchungen von HEUNISCH (1996) im Trileteston Oberrhät in einem festländischen (limnischen) Milieu dokumentiert.

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Gesamtmächtigkeit des Keupers beträgt im Kraichgau 340–380 m. Hiervon entfallen auf den Unterkeuper 32–34 m, auf den Mittelkeuper ca. 300–336 m und auf den Oberkeuper 8–11 m. Die größte Keupermächtigkeit wird in der Erdölbohrung Stettfeld-1 mit 378,5 m angegeben.

Die Lettenkeuper- (Erfurt-) Formation erreicht 34 m und lässt sich wie üblich in Baden-Württemberg gliedern. Das Grenzbonebed, mit dem der Keuper definitionsgemäß beginnt, ist vermutlich in der Dachbank des Oberen Muschelkalks enthalten. Ein erster Emersionshorizont ist an der Oberkante des Estherientons ausgebildet. Die ALBERTI-Bank liegt teilweise als glaukonitische Sandsteinbank mit mariner Muschelfauna vor. Die Anthrakonitbank besteht aus zwei, durch sandige Tone getrennten Bänken. Innerhalb des Linguladolomits sind die Ausläufer des Lingulasandsteins (Oberer Sandstein in Bayern) zu erkennen. An der Oberkante des Linguladolomits tritt ein geringmächtiger Gipshorizont auf, der dem Böhlingen-Gipshorizont im südlichen Baden-Württemberg entspricht. Der Grenzdolomit ist durch einen mikritischen Dolomit und einen dolomitischen bis sulfatischen Oolith vertreten.

Die Gipskeuper- (Grabfeld-) Formation hat in dem z. T. ausgelagten Profil eine Mächtigkeit von ca. 125 m.

In den intakten Tiefbohrprofilen werden bei nicht eingeschnittenem Schilfsandstein (Normalfazies) Mächtigkeiten von 135–146 m erreicht. Es konnten die wichtigsten Leitbänke gefunden und die Abfolge entsprechend gegliedert werden. Die Sulfate der Grundgipsschichten und an der Basis der Dunkelroten Mergel sind frei von roten Farbtönen. Im Mittleren Gipshorizont wurden geringe Salzreste festgestellt.

Die Schilfsandstein- (Stuttgart-) Formation liegt in „Normalfazies“ vor und hat eine Mächtigkeit von 11,3 m. Sie kann mit Hilfe des Gaildorf-Horizonts in zwei Zyklen gegliedert werden. In den Tiefbohrungen des benachbarten Oberrheingrabens werden in der „Flutfazies“ z. T. Gesamtmächtigkeiten bis 40 m erreicht.

Die Bunte Mergel- (Weser-) Formation hat in ausgelagtem Zustand eine Mächtigkeit von 57 m. In den Tiefbohrungen werden 57–64 m erreicht. Sie lässt sich mit Hilfe des Lehrberg- und Heldburg-Sulfats in drei Subformationen gliedern. Die Unteren Bunten Mergel (Steigerwald-Formation) beginnen mit dem BEAUMONT-Horizont, der in sulfatischer Fazies (BEAUMONT-Sulfat) vorliegt. In den Lehrbergschichten sind nur die unteren beiden Bänke nachweisbar. Der Horizont wird oben durch das Lehrberg-Sulfat abgeschlossen, an dessen Obergrenze die Keuper-Diskordanz D3 vermutet wird. Die Mittleren Bunten Mergel entsprechen etwa den Schichten des Kieselsandsteins, dessen Ausläufer im Kraichgau ausgekeilt sind. Die Oberen Bunten Mergel (Mainhardt-Formation) sind durch zahlreiche Sulfatlagen (Heldburg-Sulfat) und Steinmergelbänke charakterisiert.

Obwohl überwiegend in Steinmergelkeuper-Fazies ausgebildet, behält die Stubensandstein- (Löwenstein-) Formation auch im Kraichgau ihre Bezeichnung, da die vindelizischen Sandsteine noch erkennbar und die Grenzen ähnlich wie im übrigen Baden-Württemberg kartierbar sind. An der Basis wird die Altkimmerische Hauptdiskordanz (D4) mit einer Schichtlücke von mehreren Mio. a angenommen. Die Mächtigkeit beträgt 103,5 m. In den benachbarten Tiefbohrungen sind es 95,5–105,5 m. Die Stratigraphie der höheren Abschnitte wurde revidiert. Danach entspricht der Malschenberg-Sandstein (früher: „Bonebedsandstein“ oder „Rhätsandstein“) dem 4. Stubensandstein und der „Knollenmergel“ im Liegenden dem Hangendletten 3 (t3). Die schwäbische Knollenmergel- (Trossingen-) Formation ist durch die Diskordanz D6 an der Basis des Contortatons (Mittelrhät) abgeschnitten. Von den vindelizischen Sandsteinen erreichen den Kraichgau der s1 (= S2-Sand-



stein der alten badischen Gliederung) mit 0,9–2,3 m, der s2.1 (= S3) mit 1,2 m, der s2.3 (= S4) mit 0,45 m, der s3 (= S5) mit 7,0 m und der s4 (Malschenberg-Sandstein) mit 7–11 m Mächtigkeit.

Während der überwiegende Teil der Bunte Mergel- (Weser-) Formation und Stubensandstein- (Löwenstein-) Formation in einem Playa-Milieu abgelagert wurde, scheinen die ausschließlich grauen Rauenberg-Schichten (einschließlich Ochsenbach-Horizont) eher dem Bildungsraum einer randmarinen Sabkha anzugehören. Die ebenfalls grauen Horizonte des 3. Stubensandsteins und des Malschenbergsandsteins lassen aufgrund der Kornvergrößerungs-Sequenzen vermuten, dass sie am Rande eines stehenden Gewässers abgelagert wurden.

An der Basis des Malschenberg-Sandsteins wurden durch palynologische Untersuchungen marine Einflüsse nachgewiesen. Stratigraphisch gehört der Malschenberg-Sandstein und möglicherweise der gesamte Obere Stubensandstein dem norddeutschen Unterrhät (postera-Schichten) an.

Über einer deutlich erkennbaren Diskordanzfläche im Dach des Malschenberg-Sandsteins (Diskordanz D6) folgt der Rhätkeuper in toniger Fazies (Rhätton). Er erreicht eine Mächtigkeit bis > 12,3 m. Der Contortaton (Mittelrhät) mit einer Mächtigkeit von 3,0–6,3 m enthält eine vollmarine Fauna. Der Trileteston (Oberrhät) mit Mächtigkeiten von 5,5 bis ca. 6,5 m ist makroskopisch fossilfrei. Aufgrund der Palynomorphen Vergesellschaftung ist ein limnisches Bildungsmilieu anzunehmen.

### Dank

Die Realisierung des Projekts verdanken wir dem RP Karlsruhe, das die Bohrmannschaft und das Bohrgerät zur Verfügung stellte. Für die reibungslose Zusammenarbeit möchten wir dem Leiter der Bodenprüfstelle, H. FRANK und seiner Bohrmannschaft herzlich danken.

Bei der Auswahl der Bohrpunkte war Dr. L. HILDENBRAND (Wiesloch) behilflich, Dr. R. FELDHOF (früher GLA Baden-Württemberg) unterstützte die logistischen Arbeiten vor Ort und half bei der Profilaufnahme. An der Aufnahme der Bohrung Malschenberg-1 ebenfalls beteiligt war Prof. Dr. V. SCHWEIZER (Heidelberg). Herrn Dr. T. WÖNIK (GGA, Hannover) verdanken wir die Durchführung der umfangreichen Bohrloch-Geophysik. Eine wertvolle Hilfe war die Bestimmung der Vertebratenreste durch Dr. R. BÖTTCHER und der Conchostraken durch Dr. M. WARTH (beide SMNS). Besonders fruchtbar waren die fachlichen Diskussionen mit Dr. M. LUTZ (Freiburg). Er sorgte zusammen mit Dr. T. SIMON (Stuttgart) auch für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Die Entwürfe der Profilzeichnungen wurden z. T. von Herrn O. SACHS (Bremerhaven) gefertigt. Die Reinzeichnungen erstellte Herr J. CROCOLL (LGRB, Freiburg). Allen danken wir herzlich für ihre Mithilfe und freundliche Unterstützung.

Für die Erlaubnis zur Veröffentlichung von Bohrungsdaten danken wir dem Rhein-Neckar-Kreis, der Gemeinde Bad Schönborn und den an den erwähnten Tiefbohrungen beteiligten Erdölfirmen sowie dem Wirtschaftsverband Erdölgewinnung.

## Literatur

- AIGNER T. & ETZOLD, A. (1999): Stratigraphie und Fazies der Trias in der Umgebung von Tübingen anhand von Tagesaufschlüssen und Bohrungen (Exkursion D am 8. April 1999). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **81**: 47–67; Stuttgart.
- ANDREAE, A. (1893): Die Brachiopoden des Rhät von Malsch. – Mitt. bad. geol. L.-Anstalt, **3** (I): 11–17 und (II): 12–17; Heidelberg.
- BACHMANN, G. H. (1974): Grundgipsschichten und Bochinger Horizont (Mittlerer Keuper) in Nordost-Württemberg. – Jh. geol. L.-Amt Baden-Württ., **16**: 79–96; Freiburg i. Br.
- & BRUNNER, H. (1998): Nordwürttemberg, Stuttgart, Heilbronn und weitere Umgebung. – Sammlung geol. Führer, **90**: 403 S.; Berlin, Stuttgart (Borntträger).
- , GWINNER, M. P. & HINKELBEIN, K., mit Beiträgen von BARTH, K. H., BRENNER, K., LINCK, O. & MÄUSSNEST, O. (1977): Geologie von Stromberg und Heuchelberg sowie Steinsberg (Kraichgau) (Exkursion D am 15. April 1977). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **59**: 45–59; Stuttgart.
- BENECKE, E. W. (1877): Über die Trias in Elsaß-Lothringen und Luxemburg. – Abh. geol. Specialkt. Elsaß-Lothringen, **1** (4): 490–829; Straßburg.
- & COHEN, E. (1881): Geognostische Beschreibung der Umgegend von Heidelberg, zugleich als Erläuterungen zur geognostischen Karte der Umgegend von Heidelberg (Section Heidelberg und Sinsheim). – 622 S.; Straßburg (K. J. Trübner).
- BERG, D. (1961): Geologie des Schwarzwaldrandes zwischen Badenweiler und Kandern. – Ber. Naturf. Ges., Freiburg i. Br., **51** (1): 5–40; Freiburg i. Br.
- BERNERS, H.-P., BOCK, H., COUREL, L., DEMONFAUCON, A., HARY, A., HENDRIKS, F., MÜLLER, E., MULLER, A., SCHRADER, E. & WAGNER, J. F. (1984 a): Vom Westrand des Germanischen Trias-Beckens zum Ostrand des Pariser Lias-Beckens: Aspekte der Sedimentationsgeschichte. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **66**: 357–395; Stuttgart.
- BOCK, H., HARY, A. & MULLER, A. (1984 b): Sandsteineinschaltungen in der Oberen Trias und im Unteren Lias am Nordostrand des Pariser Beckens (Exkursion K am 28. April 1984). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **66**: 135–142; Stuttgart.
- BEUTLER, G. (1979): Verbreitung und Charakter der altkimmerischen Hauptdiskordanz in Mitteleuropa. – Z. geol. Wiss., **7** (5): 617–632; Berlin.
- (2005): 4.3 Diskordanzen im Keuper. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV - Keuper. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **253**: 85–93; Frankfurt a. M.
- & NITSCH, E. (2005): 3 Paläogeographischer Überblick. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV - Keuper. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **253**: 15–30; Frankfurt a. M.
- BLUNK, I. & SCHWEIZER, V. (1983): Zur Mikrofazies lakustriner Dolomitbänke aus der Coburg-Folge (Keuper, Trias) des nordwestlichen Baden-Württemberg. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **65**: 191–212; Stuttgart.
- BOCK, H., MULLER, A., STEINGROBE, B. & STRICH, R. (1987): Die Ausbildung der Steinmergel-Gruppe (Obere Trias, Bunte Mergel) in der Eifeler Nord-Süd Zone und in Lothringen. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **69**: 195–227; Stuttgart.
- BOIGK, H. & SCHÖNEICH, H. (1974): Perm, Trias und älterer Jura im Bereich der südlichen Mittelmeer-Mjösen-Zone und des Rheingrabens. – In: ILLIES, J. H. & FUCHS, K. (Hrsg.): Approaches to taphrogenesis. – Int. Union Comm. Geodynamics Sci. Rep., **8**: 60–71; Stuttgart (Schweizerbart).
- BOURQUIN, S. & GUILLOCHEAU, F. (1996): Keuper stratigraphic cycles in the Paris Basin and comparison with cycles in other Peritethyan basins (German Basin and Bresse-Jura Basin). – Sed. Geol., **105**: 159–182; Amsterdam.
- BOURQUIN, S., VAIRON, J. & LE STRAT, P. (1997): Three-dimensional evolution of the Keuper of the Paris basin based on detailed isopach maps of the stratigraphic cycles: tectonic influences. – Geol. Rdsch., **86**: 670–685; Stuttgart.
- BRENNER, K. (1973): Stratigraphie und Paläogeographie des Oberen Mittelkeupers in Südwest-Deutschland. – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, N. F. **68**: 101–222; Stuttgart.
- (1978): Profile aus dem Oberen Mittelkeuper Südwest-Deutschlands. – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, N. F. **72**: 103–203; Stuttgart.
- BRENNER, K. & VILLINGER, E. (1981): Stratigraphie und Nomenklatur des südwestdeutschen Sandsteinkeupers. – Jh. geol. L.-Amt Baden-Württ., **23**: 45–86; Freiburg i. Br.



- BRILL, R. (1929): Erläuterungen zu Bl. Bauschlott (Nr. 59) [jetzt 7018]. – Geol. Specialkt. Baden 1:25000: 58 S.; Freiburg i. Br.
- BRUNNER, H. (1973): Stratigraphische und sedimentpetrographische Untersuchungen am Unteren Keuper (Lettenkeuper, Trias) im nördlichen Baden-Württemberg. – Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, N. F. **70**: 1–85; Stuttgart.
- (1980): Zur Stratigraphie des Unteren Keupers (Lettenkeuper, Trias) im nordwestlichen Baden-Württemberg. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **62**: 207–216; Stuttgart.
- (1988): Zur lithostratigraphischen Gliederung des Mittleren Gips Horizonts und des Horizonts der Acrodus/Corbulabank im nördlichen Württemberg. – In: HAGDORN, H. (Hrsg.): Neue Forschungen zur Erdgeschichte von Crailsheim. – Sonderbände Ges. Naturkde. Württ., **1**: 206–225; Stuttgart.
- BRUNNER, H. & BRUDER, J. (1981): Standardprofile des Unteren Keupers (Lettenkeuper, Trias) im nördlichen Baden-Württemberg. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **63**: 253–269; Stuttgart.
- & HINKELBEIN, K. (2000): Erläuterungen zum Blatt Heilbronn und Umgebung. – Geol. Kt. Baden-Württemberg 1:50000: 292 S.; Freiburg i. Br.
- BUCK, E. (1953): Beiträge über die Grenzschichten Rhät-Lias in Württemberg nach dem Mikrofossilfund. – N. Jb. Geol. Paläont., Abh., **97**: 257–270; Stuttgart.
- CARLÉ, W. & LINCK, O. (1949): Die Stromberg-Mulde im nordwestlichen Württemberg. – N. Jb. Mineral., Abh., **B 90**: 427–478; Stuttgart.
- COUREL, L., DURAND, M., MAGET, P., MAIAUX, C., MÉNILLET, F. & PAREYN, C.: 3 Trias. – In: MÉGNIEN, C. (Direction) (1980): Synthèse géologique du Bassin de Paris. – Vol. I: Stratigraphie et Paléogéographie. – Mém. BRGM, **101**: 466 S., Orléans.
- DEFFNER, C. & FRAAS, O. (1859): Die Jura-Ver-senkung bei Langenbrücken, geognostische Monographie. – N. Jb. Min. Geol. Paläont., 1859: 1–57, 2 Beil. (1 geol. Kt. 1:50000, 3 Profile); Stuttgart.
- DSK (2005): Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg), 2005: Stratigraphie von Deutschland IV - Keuper. Mit Beiträgen von BEUTLER, G., DITTRICH, D., DOCKTER, J., ERNST, R., ETZOLD, A., FARRENSCHON, J., FREUDENBERGER, W., HEUNISCH, C., KELBER, K.-P., KNAPP, K., LUTZ, M., NITSCH, E., OPPERMAN, K., SCHUBERT, J., SCHULZ, E., SCHWEIZER, V., SEEGIS, D., TESSIN, R., VATH, U. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **253**: 296 S.; Frankfurt a. M.
- DURINGER, P. (1987): Une mégaséquence d'émer-sion: la Lettenkohle (Trias Est de la France): Mise en évidence de marées par l'imbrication bipolaire de plaques de dessiccation. – Geol. Rundsch., **76** (2): 579–597; Stuttgart.
- EHRAT, H. (1920): Die Rhätformation und die Rhät-Liasgrenze in Schwaben. – Diss. Univ. Tübingen: 84 S.; Tübingen (Carl Hammer).
- ETZOLD, A. & SCHWEIZER, V. (2005): 5.8 Der Keuper in Baden-Württemberg. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV - Keuper. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **253**: 214–258; Frankfurt a. M.
- FRAAS, E. (1903): Begleitworte zu Atlasblatt Besigheim (Nr. 9). – 2. Aufl. - Geognost. Specialkt. Württ. 1:50000: 24 S.; Stuttgart.
- FRAAS, O. (1858): Der Bonebed-Sandstein. – Jh. Ver. vaterländ. Naturk. Württ., **13**: 332 S.; Stuttgart.
- (1865): Begleitworte zu Atlasblatt Stuttgart (Nr. 16). – Geognost. Specialkt. Württ. 1:50000: 25 S., Stuttgart.
- FRANK, M. (1929): Das stratigraphische Verhältnis zwischen Schilfsandstein und Dunklen Mergeln im mittleren Württemberg. – Mitt. geol. Abt. württ. statist. L.-Amt, **12**: 1–30; Stuttgart.
- (1930a): Beiträge zur Stratigraphie und Paläogeographie des Lias  $\alpha$  in Süddeutschland. – Mitt. geol. Abt. württ. statist. Landesamt, **13**: 242 S.; Stuttgart.
- (1930b): Stratigraphie und Bildungsgeschichte des süddeutschen Gipskeupers. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **19**: 25–77; Stuttgart.
- (1931): Zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des Unteren Keupers zwischen Mittel-württemberg und Kraichgau. – N. Jb. Min. Geol. Paläont., Beil.-Bd., **B 65**: 469–520; Stuttgart.
- (1936): Der Faziescharakter der Schichtgrenzen der süddeutschen und kalkalpinen Trias. – Cbl. Min. Geol. Paläont., Abt. B, 1936: 475–502; Stuttgart.
- (1937): Ergebnisse neuer Untersuchungen über Fazies und Bildung von Trias und Jura in Südwest-Deutschland. I. Trias. – Geol. Rundsch., **28** (6): 465–498; Stuttgart.

- FRENTZEN, K. (1921): Beiträge zur Kenntnis der fossilen Flora des südwestlichen Deutschland. – II. Die Pflanzenfossilien des Rhätsandsteins von Malsch. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N. F. **10**: 72–73; Stuttgart.
- (1922): Die Keuperflora Badens. – Verhandl. naturwiss. Ver. Karlsruhe, **28**: 1–76; Karlsruhe.
- (1932): Beiträge zur Kenntnis der fossilen Flora des südwestlichen Deutschland. IX. Revision der Rhätflora Schwabens. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., **21**: 75–94; Stuttgart.
- GENSER, H. (1962): Ausbildung und Verbreitung des Räts am Südostrand des Oberrheingrabens. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1962 (2): 49–57; Stuttgart.
- GERWECK, H. (1981): Beiträge zur Geologie des Blattes Güglingen. – Dipl.-Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart: 44 S.; Stuttgart. – [unveröff.]
- GEYER, O. F. & GWINNER, M. P. (1986): Geologie von Baden-Württemberg – 3. Aufl. – 472 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- (1991): Geologie von Baden-Württemberg – 4. Aufl. – 482 S.; Stuttgart (Schweizerbart).
- GRAUVOGEL-STAMM, L. & DURINGER, P. (1983): *Annalepis zeilleri* FLICHE 1910 emend., un organe reproducteur de Lycophyte de la Lettenkohle de l'Est de la France. Morphologie, spores in situ et paléoécologie. – Geol. Rundsch., **72**: 23–51; Stuttgart.
- GWINNER, M. P. (1980): Eine einheitliche Gliederung des Keupers (Germanische Trias) in Süddeutschland. – N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1980: 229–234; Stuttgart.
- HAMBACH, U., REINHARDT, L., WONIK, T., PORT, G., KRUMSIEK, K. & RICKEN, W. (1999): Orbital forcing in a low-latitude playa system: evidence from evolutionary spectral analyses (ESA) of geophysical and geochemical data from the Steinmergel-Keuper (Late Triassic, S-Germany). – Terra Nostra, **99/4**: 97–100; Berlin.
- HAUSCHKE, N. (1987): Knollige und tepeeartige Strukturen – Indikatoren für die frühdiagenetische Bildung von Ca-Sulfaten unter Playa-Bedingungen im Unteren Gipskeuper (km1) des Lippischen Berglandes. – N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **175** (2): 147–179; Stuttgart.
- (1989): Steinsalzkrystallmarken – Begriff, Deutung und Bedeutung für das Playa-Playasee Faziesmodell. – Z. dt. geol. Ges., **140**: 355–369; Hannover.
- & RÖHL, U. (1988): Zyklen im Oberen Muschelkalk und Keuper Ostwestfalens. – 3. Treffen deutschsprachiger Sedimentologen. Exkursionsführer zu Exkursion D am 26.05.1988: 19 S.; Bochum.
- HELING, D. & BEYER, M. (1992): Glaukonit im Schilfsandstein: Schlüssel zur kontroversen Faziesanalyse? – Jber. Mitt. oberrhein. Geol. Ver., N. F. **74**: 191–213; Stuttgart.
- HENDRIKS, F. (1982): Ein Modell der Rätsedimentation am Ostrand des Pariser Beckens. – Diss. T. H. Aachen: 294 S.; Aachen. – [unveröff.]
- HETTICH, M. (1974): Ein vollständiges Rhät/Lias-Profil aus der Langenbrückener Senke, Baden-Württemberg (Kernbohrung Mingolsheim 1968). – Geol. Jb., **A 16**: 71–105; Hannover 1974.
- HEUNISCH, C. (1996): Palynologischer Untersuchungsbericht. Forschungsbohrung Malschenberg 1/95. – 5 S.; Hannover. – [unveröff.]
- HORNUNG, J. (1999): Dynamische Stratigraphie, Reservoir- und Aquifer-Sedimentologie einer alluvialen Ebene: Der Stubensandstein in Baden-Württemberg (Obere Trias, Mittlerer Keuper). – Tübinger Geowiss. Arb., **A 56**: 156 S.; Tübingen.
- & AIGNER, T. (2002): Reservoir architecture in a terminal alluvial plain: an outcrop analogue study (Upper Triassic, Southern Germany). Part I: Sedimentology and petrophysics. – J. Petrol. Geol., **25** (1): 3–30; Part II: Cyclicity, controls and models. – J. Petrol. Geol., **25** (2): 151–178.; Beaconsfield, UK.
- JÜNGST, H. (1929): Zur vergleichenden Stratigraphie des Rät zwischen Harz und Elsaß. – Habil.-Schrift TH Darmstadt: 65 S.; Darmstadt (Roetherdruck).
- KEMPF, O., HINDERER, M. & HORNUNG, J. (2002): Sediment budget of the upper Middle Keuper in SW Germany. – Zbl. Geol. Paläont. Teil I, 2002 (3–4): 257–270; Stuttgart.
- KÖPPEN, A. (1997): Faziesentwicklung in der frühen Obertrias Mitteleuropas – ein sequenzstratigraphischer Vergleich. – Gaea heidelbergensis, **2**: 1–233; Heidelberg.
- LAEMMLEN, M. (1954). Beiträge zur Stratigraphie und Petrographie des oberen Mittelkeupers und Räts von Nord-Württemberg-Baden. – Diss. TH Stuttgart: 312 S.; Stuttgart. – [unveröff.]



- (1996): Die Keuper-Lithostratigraphie bei Fulda mit einem Einblick in den Bau des Fuldaer Grabens. – *Geol. Jb.*, A **145**: 3–66; Hannover.
- LANG, R. (1909): Der mittlere Keuper im südlichen Württemberg (Teil 1). – *Jh. Ver. vaterl. Naturkde. Württ.*, **65**: 77–131; Stuttgart.
- (1919): Zur Stratigraphie des Keupers in Südwestdeutschland. – *Jh. Ver. Vaterl. Naturkde. Württ.*, **75**: 185–208; Stuttgart.
- LGRB (2005): Symbolschlüssel Geologie Baden-Württemberg. Verzeichnis Geologischer Einheiten. – Internet: [www.lgrb.uni-freiburg.de/Produkte/Regelwerke](http://www.lgrb.uni-freiburg.de/Produkte/Regelwerke), Freiburg i. Br. (Reg.-Präs. Freiburg, Abt. 9, L.-Amt f. Geol. Rohst. Bergb.) – [Bearb.: VILLINGER, E.].
- LINCK, O. (1938): Schichtenfolge und Entstehung des Stubensandsteins im Stromberg. – *Aus der Heimat*, **51** (7–8): 177–198; Öhringen.
- (1972): Die marine Fauna des süddeutschen Oberen Gipskeupers, insbesondere der sogenannten Anatinabank (Trias, Karn, Mittl. Keuper, km1) und deren Bedeutung. – *Jh. geol. L.-Amt Baden-Württ.*, **14**: 145–253; Freiburg i. Br.
- LUTZ, M. (2005): 4.4 Leitflächen-(Allo-)Stratigraphie und ihre Anwendung im Keuper. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV-Keuper. – *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, **253**: 94–105; Frankfurt a. M.
- & ETZOLD, A. (2003): Der Keuper im Untergrund des Oberrheingrabens in Baden. – *Jh. L.-Amt Geol., Rohst. u. Bergb. Baden-Württ.*, **39**: 55–110; Freiburg i. Br.
- MARCHAL, C. (1983): Le gîte salifère Keuperien de Lorraine–Campagne et les formations associées. Etude géométrique - Implications génétiques. – *Sciences de la Terre, Mém.* **44**: 139 S.; Nancy.
- MÉGNIEU, F. (1980): Lexique des noms de Formation. – In: Mégnieu, C. (Dir.): Synthèse géologique du Bassin de Paris. – *Mém. B. R. G. M.*, **103**; Orléans.
- NAGEL, R. (1990): Stratigraphie und Paläogeographie im höheren Mittelkeuper Südwestdeutschlands und angrenzender Gebiete. – *Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, N. F.* **85**: 111–171; Stuttgart.
- NITSCH, E. (1996): Fazies, Diagenese und Stratigraphie der Grabfeld-Gruppe Süddeutschlands (Keuper, Trias). – *Diss. Univ. Köln*: VII + 304 S.; Rottenburg (Heydt).
- (1997): Zyklusstratigraphie der Grabfeld-Formation (unterer Mittelkeuper, Obertrias) in Süddeutschland. – *Freiberger Forschungshefte*, **C 468**: 245–257; Freiberg.
- , BEUTLER, G., ETZOLD, A., HAUSCHKE, N. & LAASS, M. (im Druck): Feinstratigraphische Korrelation der Grabfeld-Formation (Keuper, Trias) zwischen Hochrhein und Ostsee.
- PAULUS, E. & BACH, H. (1865): Begleitworte zu den Atlasblättern Besigheim & Maulbronn (Nr. 9 u. 8). – *Geognost. Specialkt. Württ. 1:50 000*: 26 S.; Stuttgart.
- PÖPPELREITER, M. (1999): Controls on epeiric successions exemplified with the mixed siliciclastic-carbonate Lower Keuper (Ladinian, German Basin). – *Tübinger Geowiss. Arb.*, **A 51**: 126 S.; Tübingen.
- PÖSCHL, W. (1978): Fazies und Geochemie des Unteren Keupers in Südwestdeutschland. – *Diss. Univ. Heidelberg*: 265+194 S.; Heidelberg. – [unveröff.]
- QUENSTEDT, A. v. (1874): Begleitworte zu Atlasblatt Löwenstein (Nr. 10) – 1. Aufl. – *Geognost. Specialkt. Württ. 1:50 000*: 26 S.; Stuttgart.
- (1880): Begleitworte zu Atlasblatt Hall (Nr. 11). – *Geognost. Specialkt. Württ. 1:50 000*: 40 S.; Stuttgart.
- REIF, W.-E. (1971): Zur Genese des Muschelkalk-Keuper-Grenzbeneds in Südwestdeutschland. – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **139** (3): 369–404; Stuttgart.
- REINHARDT, L. (2000): Dynamic stratigraphy and geochemistry of the Steinmergel-Keuper playa system: a record of Pangaeon megamonsoon cyclicity (Triassic, Middle Keuper, Southern Germany). – *Diss. Univ. Köln*: 185 S.; Köln. – (publiz. 2002 in: *Edit. Wiss., Reihe Geowiss.*), **73**: 173 S.; Marburg (Tectum-Verlag).
- & RICKEN, W. (2000): Climate cycles documented in a playa system: comparison of geochemical signatures derived from subbasins (Triassic, Middle Keuper, German Basin). – *Zbl. Geol. Paläont., Teil I*, 1999 (3–4): 315–340; Stuttgart. – (erschieden auch 1999 in: *Palaeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, **161**: 205–227)
- RICOUR, J. (1962): Contribution à une révision du Trias Français. – *Mém. serv. Cte. géol. dét. France*, 1962: 471 S.; Paris.

- ROCKENBAUCH, K. (1987): Geologie des Mittleren Keupers (Obere Trias) im Strom- und Heuchelberg (Baden-Württemberg). – Jh. geol. L.-Amt Baden-Württ., **29**: 91–123; Freiburg i. Br.
- RÜGER, L. (1922a): Die Rhät-Lias  $\alpha$ -Anlagerungen der Langenbrückener Senke. – Mitt. u. Arb. geol.-paläont. Inst. Univ. Heidelberg, N. F. **70**: 111 S.; Heidelberg.
- (1922b): Über Discordanzen in den Rhät-Lias  $\alpha$ -Ablagerungen der Langenbrückener Senke. – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **11**: 27–29; Stuttgart.
- (1924): Versuch einer Palaeogeographie der süddeutschen Länder an der Trias-Jura-Wende. – Mitt. u. Arb. geol.-paläont. Inst. Univ. Heidelberg, N. F. **95**: 184 S.; Heidelberg. – [Habilschr., erschienen auch in: Verh. naturhistor.-med. Ver. Heidelberg, N. F. **15** (2), Heidelberg.]
- SALFELD, H. (1907): Fossile Landpflanzenreste der Rät- und Juraformation Südwest-Deutschlands. – Palaeontographica, B, **54**: 163–204; Stuttgart.
- SAUER, K. (1977): Die Thermal-Sole-Bohrungen in Bad Schönborn (Landkreis Karlsruhe, Baden-Württemberg). – Ber. naturforsch. Ges. Freiburg., **67**: 297–305; Freiburg i. Br.
- (1978): Die Schwefel- und Soleprovinz der Kraichgau-Senke in Nordbaden (Baden-Württemberg, Regierungsbezirk Karlsruhe). – Heilbad u. Kurort, **30** (1): 16–26; Gütersloh.
- SCHAD, A. (1962): Voraussetzungen für die Bildung von Erdöllagerstätten. – Abh. geol. L.-Amt Baden-Württ., **5**: 29–40; Freiburg i. Br.
- SCHALCH, F. (1893): Gliederung des oberen Buntsandsteins, Muschelkalks und unteren Keupers nach den Aufnahmen auf Sektion Mosbach und Rappenu. – Mitt. Großh. Bad. Geol. Landesanstalt, **2**: 498–612; Heidelberg (Carl Winter).
- SCHNARRENBERGER, C. (1903): Erläuterungen zu Blatt Eppingen (Nr. 48, jetzt 6819). – 1. Aufl. – Geol. Specialkt. Baden: 28 S.; Heidelberg.
- SCHOTT, W. (1942): Die Gliederung im nordwestdeutschen Rätbecken. – Ber. Reichsamt Bodenforsch., 1942: 61–77; Wien.
- SCHULZ, E. & HEUNISCH, C. (2005): 4.1.3 Palynostratigraphische Gliederungsmöglichkeiten des deutschen Keupers. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV - Keuper. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **253**: 43–49; Frankfurt a. M.
- SCHWEIZER, V. & KRAATZ, R. (1982): Kraichgau und südlicher Odenwald. – Sammlg. geol. Führer, **72**: XII + 203 S.; Stuttgart (Borntraeger).
- SEEGIS, D. (1997): Die Lehrbergschichten im Mittleren Keuper von Süddeutschland – Stratigraphie, Petrographie, Paläontologie, Genese. – Diss. Univ. Stuttgart: 382 S.; Remshalden (Hennecke).
- SEELING, M. & KELLNER, A. (2002): Sequenzstratigraphie des Nor und Rhät im Nordwestdeutschen Becken unter Berücksichtigung Süddeutschlands. – Z. dt. geol. Ges., **153** (1): 93–114; Stuttgart.
- STD (2002): Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2002. – Potsdam (Deutsche Stratigraphische Kommission). – [mit Beiheft: 16 S.]
- STETTNER, G. (1914): Einige Keuperprofile aus der Gegend von Heilbronn. – Jh. Ver. vaterländ. Naturkde. Württ., **70**: 1–33; Stuttgart.
- (1921): Zur Stratigraphie des Keupers in Südwestdeutschland. – Jh. Ver. vaterländ. Naturkde. Württ., **77**: 62–65; Stuttgart.
- THÜRACH, H. (1888): Uebersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken im Vergleiche zu den benachbarten Gegenden (Teil 1). – Geognost. Jh., **1**: 75–162; Kassel.
- (1889): Übersicht über die Gliederung des Keupers im nördlichen Franken im Vergleiche zu den benachbarten Gegenden (Teil 2). – Geognost. Jh., **2**: 1–90; Kassel.
- (1896): Erläuterungen zu Blatt Sinsheim (Nr. 42) [heute 6719]. – Geol. Specialkt. Baden 1:25000: 70 S.; Heidelberg.
- (1901): Beiträge zur Kenntnis des Keupers in Süddeutschland. – Geognost. Jh., **13**: 7–53; München.
- (1902): Erläuterungen zu Blatt Odenheim (Nr. 47, heute 6818 Kraichtal). – Geol. Specialkt. Baden 1:25000: 38 S.; Heidelberg.
- (1904): Erläuterungen zu Blatt Wiesloch (Nr. 41, heute 6718). – Geol. Specialkt. Baden 1:25000: 48 S.; Heidelberg.
- (1907): Erläuterungen zu Blatt Bruchsal (Nr. 46, heute 6817). – Geol. Specialkt. Baden 1:25000: 51 S.; Heidelberg.
- VATH, U. (2005): 5.5 Der Keuper in Nordost-Hessen. – In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.): Stratigraphie von Deutschland IV - Keuper. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, **253**: 179–191; Frankfurt a. M.



- VOLLRATH, P. (1928): Beiträge zur vergleichenden Stratigraphie und Bildungsgeschichte des mittleren und oberen Keupers in Südwestdeutschland. – N. Jb. Min. Geol. Paläont., Beil.-Bd., Abt. B, **60**: 195–306; Stuttgart.
- (1929): Begleitworte zu Atlasblatt Besigheim (Nr. 9) – 3. neu bearb. Aufl. – Geognost. Spezialkt. Württ. 1:50 000: 54 S.; Stuttgart.
- WAGNER, G. (1913): Beiträge zur Stratigraphie und Bildungsgeschichte des Oberen Muschelkalks und der Unteren Lettenkohle in Franken. – Geol. paläont. Abh., N. F. **12**: 275–451; Jena.
- WALZENBACH, J. (1991): Mineralöle in Locker- und Festgesteinen. Untersuchungen zur Durchlässigkeit, Saugspannung und Kapillarität. – Schr.-R. angew. Geol. Karlsruhe, **12**: 1–152; Karlsruhe.
- WARTH, M. (1990): Die Muscheln aus der Sandsteinfazies des Stubensandsteins (Trias, Nor, Mittelkeuper, km4) im Stromberg (Baden-Württemberg). – Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. **72**: 341–357; Stuttgart.
- (1994): Vorkommen von „Perna“ keuperina BLANKENHORN (Lamellibranchiata) in der Rottweiler Bank (Stubensandstein, Nor, Trias) von Baden-Württemberg (SW Germany). – Stuttgarter Beitr. Naturk., B, **212**: 13 S.; Stuttgart.
- WEIGELIN, M. (1913): Der untere Keuper im westlichen Württemberg. – N. Jb. Miner. Geol. Paläont., Beil.-Bd. B **35**: 628–688; Stuttgart.
- WEINELT, W. (1955): Beiträge zur Paläogeographie und Lithogenese der Bleiglanz-Bank des Mittleren Keupers im Raume zwischen Klettgau und Coburg. – Diss. Univ. Würzburg: 121 S.; Würzburg. – [unveröff.]
- WILL, H.-J. (1969): Untersuchungen zur Stratigraphie und Genese des Oberkeupers in Nordwestdeutschland. – Beih. geol. Jb., **54**: 240 S.; Hannover.
- WIRTH, E. (1951): Die Erdölvorkommen von Bruchsal in Baden. – Geol. Jb., **65** (für 1949): 657–706; Hannover.
- (1962): Die geologischen Ergebnisse der Erdöl-exploration in der Rheinebene zwischen Offenburg und Lahr. – Erdöl u. Kohle, Erdgas, Petrochemie, **15** (9): 684–692; Hamburg.
- WURM, F. – mit Beiträgen von BLOOS, G., KOBLER, H.-U., LEIBER, J. & MÜLLER, S. (1992): Erläuterungen zu Blatt 7319 Gärtringen – 3. neu bearb. Aufl. – Geol. Kt. Baden-Württ. 1:25000: 165 S.; Stuttgart.
- , FRANZ, M. SEUFERT, G. & ETZOLD, A. (1997): Die Schichtenfolge des Unter- und Mittelkeupers (ku–km3) im Südwesten der Strombergmulde (Baden-Württemberg). – Jh. geol. L.-Amt Baden-Württ., **36**: 65–116; Freiburg i. Br.
- WURSTER, P. (1964): Geologie des Schilfsandsteins. – Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg, **33**: 140 S.; Hamburg.
- ZELLER, F. (1908): Beiträge zur Kenntnis der Lettenkohle und des Keupers in Schwaben. – N. Jb. Min. Geol. Paläont., Beil.-Bd. **25**: 1–134; Stuttgart.
- ZIEGLER, P. A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe. 2. Aufl. – Maatschappij Shell Intern. Petrol.: 239 S.; Den Haag.