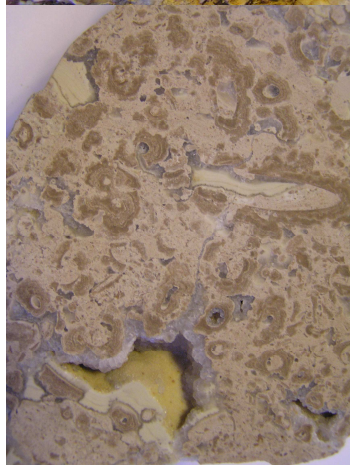


documenta

n a t u r a e n o . 1 6 8

München 2008

JOHANNES BAIER



**Über die
Tertiärbildungen
im Ulmer Raum**



DOCUMENTA NATURAE

Nr. 168 2008

ISBN-13: 978-3-86544-168-3 ISSN 0723-8428
ISBN-10: 3-86544-168-8

**Herausgeber der Zeitschrift Documenta naturae im
Verlag (Publishing House) Documenta naturae - München (Munich)**

Dr. Hans-Joachim Gregor, Daxerstr. 21, D-82140 Olching
Dr. Heinz J. Unger, Nußbaumstraße 13, D-85435 Altenerding

Vertrieb: Dipl.-Ing. Herbert Goslowsky, Joh.-Seb.-Bach-Weg 2, 85238 Petershausen,
e-mail: goslowsky@documenta-naturae.de

Die Zeitschrift erscheint in zwangloser Folge mit Themen aus den Gebieten
Geologie, Paläontologie (Lagerstättenkunde, Paläophytologie, Stratigraphie usw.),
Botanik, Anthropologie, Domestikationsforschung, Vor- und Frühgeschichte u.a.

Die Zeitschrift ist Mitteilungsorgan der Paläobotanisch-Biostratigraphischen Arbeitsgruppe
(PBA) im Heimatmuseum Günzburg und im Naturmuseum, Im Thäle 3,
D-86152 Augsburg

Die Sonderbände behandeln unterschiedliche Themen aus den Gebieten Kunst, antike
Nahrungsmittel, Natur-Reiseführer oder sind Neuauflagen alter wissenschaftlicher Werke
oder spezielle paläontologische Bestimmungsbände für ausgewählte Regionen.

Für die einzelnen Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich,
für die Gesamtgestaltung die Herausgeber.

©copyright 2008 Documenta Verlag. Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist
urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb des Urheberrechtsgesetzes
bedarf der Zustimmung des Verlages. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen jeder
Art, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und für Einspeicherungen in elektronische
Systeme.

Gestaltung und Layout: Juliane Gregor und Hans-Joachim Gregor

Umschlagbild: Verschiedene Gesteinstypen aus der Ulmer Gegend: Turritellen- und
Bohrmuschelkalk (oben), Onkoide und vulkanische Bombe (unten)

www.palaeo-bavarian-geological-survey.de; www.documenta-naturae.de

München 2008

Documenta naturae	168	S.1-31	2 Abb.	2 Tab.	4 Taf.	München	2008
-------------------	-----	--------	--------	--------	--------	---------	------

Über die Tertiärbildungen im Ulmer Raum

J. BAIER

Zusammenfassung

Die Stadt Ulm befindet sich am Nordrand des nordalpinen Molassebeckens. Die vorliegende Abhandlung beschreibt die tertiäre Geologie des Ulmer Raums. Es werden dabei folgende Themen behandelt: Alttertiär (z. B. Bohnerz), Untere Süßwassermolasse, Obere Meeresmolasse (z. B. Erminger Turritellenplatte), Obere Brackwassermolasse (z. B. Grimmelfingen Schichten), Obere Süßwassermolasse, Uracher Vulkangebiet, Nördlinger Ries Impakt-Krater, Steinheimer Becken sowie die postmolassische Zeit.

Summary

The town of Ulm is situated in the northern part of the North Alpine Foreland Basin (NAFB). This paper describes the Tertiary geology of Ulm area. The following topics are discussed: Early Tertiary (e. g. pisolithic iron ore), Lower Freshwater molasse, Upper Marine Molasse (e. g. Turritellenplatte of Ermingen), Upper Brackish Molasse (e. g. Grimmelfingen beds), Upper Freshwater Molasse, Urach volcanic field, Ries impact crater, Steinheim impact crater and the time after Molasse period.

Anschrift des Verfassers:

BAIER, Johannes. Dr., Jakob-Kaiser-Weg 5, 79618 Rheinfelden;
e-mail: Baier-johannes@web.de

Zum Geleit

„Zum Studium der schwäbischen Tertiärablagerungen gibt es keinen günstigeren Ort als die Stadt Ulm a. D.“. Mit diesem Satz leitete A. Moos (1925) seine Arbeit „Beiträge zur Geologie des Tertiärs im Gebiet zwischen Ulm a. D. und Donauwörth“ ein, deren Worte bis heute Gültigkeit besitzen. Viele neue Erkenntnisse sind in den letzten Jahrzehnten hinzugekommen und haben zum besseren Verständnis der Ulmer Geologie beigetragen, die im Folgenden vorgestellt werden. Dabei mußte auch die Geologie der weiteren Umgebung mit einbezogen werden, da ohne deren Kenntnis viele Fragen offen bleiben müssten. Es sei an dieser Stelle betont, dass viele Unstimmigkeiten in dieser Abhandlung nur angedeutet werden bzw. unerwähnt bleiben. Dem Leser wird demnach eine vereinfachte Version der gegenwärtigen Vorstellungen gegeben. Mit Hilfe der angeführten Literaturstellen soll es dem fachlich ambitionierten Leser erleichtert werden, zusätzliche Informationen in der Primärliteratur zu finden.

Möge die vorliegende Arbeit einem großen Leserkreis die Augen für die schöne Ulmer Gegend öffnen und zu eigenen geologischen Exkursionen im Ulmer Raum anregen!

Johannes Baier

Inhalt	Seite
Zum Geleit	2
1. Einführung	3
2. Alttertiär	3
2.1 Bolustone	3
2.2 Bohnerz	5
3. Die Molasse	6
3.1 Untere Süßwassermolasse (tUS)	6
3.2 Obere Meeresmolasse (tOM)	7
3.3 Brackwassermolasse (tBM)	8
3.4 Obere Süßwassermolasse (tOS)	10
4. Der Schwäbische Vulkan	11
5. Meteoritenkrater	12
5.1 Nördlinger Ries	12
5.2 Steinheimer Becken	14
6. Die Zeit nach der Molasse	14
Literatur	16
Geologische Karten	22
Exkursionsführer	22
Tafelerklärungen	23

1. Einführung

Die ältesten Schichten, die im Ulmer Raum aufgeschlossen sind, stellen die Ablagerungen des oberen Juras (Malm) dar. Zu dieser Zeit befand sich in unserem Raum ein Meer (Tethys), dessen Ablagerungen die heutige Schwäbische Alb aufbauen. Diese marinen Sedimente wurden in den letzten Jahren ausführlich untersucht. Dabei standen neben der Paläontologie die damals herrschenden Sedimentationsbedingungen und die Genese der Sedimente im Vordergrund (u. a. KOCH & SENOWBARI-DARYAN 2000, BAIER & SCHWEIGERT 2001, BAIER 2003, PAWELLEK & AIGNER 2003a, 2003b, SCHWEIGERT & FRANZ 2004, THEWALT & DÖRFNER 2004, RUF et al. 2005), wobei mehrere Detailfragen bis heute ungeklärt blieben. Mit der Thermalwasserbohrung „Donautherme Neu-Ulm“ (R: 3573101, H: 5361248) wurde ein Einblick in den tieferen Untergrund des Ulmer Raumes ermöglicht (FRANZ et al. 2001), auf den hier ebenfalls nicht näher eingegangen werden soll.

Nachdem sich die Tethys in der ausgehenden Jurazeit, spätestens in der beginnenden Kreidezeit aus dem Bereich der Schwäbischen Alb zurückgezogen hatte, begann eine Zeit der festländischen Erosion, Abtragung und flächenhaften Kalklösung, bis die Juraablagerungen im Tertiär von neuen Sedimenten (Molasse) überlagert und vor weiterer Abtragung geschützt wurden (siehe Kap. 3).

2. Alttertiär

Das Alttertiär ist in unserem Raum auf Spaltenfüllungen beschränkt. Hierbei stellen die Bolustone (Kapitel 2.1) sowie das sogenannte Bohnerz (Kapitel 2.2) die wichtigsten Erscheinungsformen dar (Taf. 1/1-2). Die Schwermineralführung der alttertiären Spaltenfüllungen zeichnet sich durch hohe Zirkon- und Rutil-Gehalte aus, die verwitterungsbeständig sind. Diese sind - neben idiomorphen Quarzkristallen - Indizien für einen alttertiären Beitrag in Mischsedimenten, die in Spaltenfüllungen des Ulmer Raums angetroffen wurden (u. a. BAIER et al. 2004a; vgl. Tab. 1-2: ST-3).

2.1 Bolustone

Nach heutiger Vorstellung wurden die anstehenden Kalke des oberen Juras unter den wechselfeuchten (sub-)tropischen Bedingungen des Alttertiärs abgetragen, wobei die Kalke weggelöst wurden und sich deren illitisch-glimmerhaltigen Lösungsrückstände in Karsttaschen anhäuften. Diese SiO_2 -reichen Illit-Tone verwitterten unter Wegfuhr von Kieselsäure zum SiO_2 -ärmeren Boluston, dessen Hauptbestandteil Kaolinit ist. In manchen alttertiären Karstspalten konnte auch Hydrargillit ($\gamma\text{-Al}(\text{OH})_3$) nachgewiesen werden, was auf eine ähnliche Entstehungsgeschichte deutet wie man es für die südeuropäischen Bauxit-Vorkommen annimmt. Der vorhandene Hydrargillit deutet zusätzlich darauf hin, dass die Mineralumwandlung nicht nur durch einen Schichtabbau erfolgte, sondern dass der Illit bis zu den kleinsten Bausteinen aufgelöst wurde (SEEGER 1963). Die dabei freigesetzte Kieselsäure wurde - so wird allgemein angenommen - in Form von doppelendigen Quarzkristallen an anderer Stelle wieder ausgeschieden (Tab. 2: ST-3). Derartige Kristalle werden demnach als ein Fällungsprodukt gedeutet, die während der lateritischen Verwitterung entstanden (HOFMANN 1967, 1991). Unter Laborbedingungen konnten gleichartige idiomorphe Quarze unter ähnlichen Voraussetzungen synthetisiert werden (HARDER & FLEHMIG 1970), was die oben beschriebene Deutung der Quarzneubildungen stützt. Die idiomorphen Quarze könnten allerdings auch teilweise aus den oberjurassischen Kalken herausgewittert worden sein, in denen ebenfalls idiomorphe Doppelenderquarze vorkommen (u. a. BAIER 2003).

Probe	Granat	Epidot	Zoisit	Staurolith	Andalusit	Disthen	Apatit	Zirkon	Rutil	Titanit	Monazit	Turmalin	Topas	Hornblende	Biotit
ST-1	7	70	+	9	2	4	4	4	4	-	-	3	-	-	+
ST-2	7	65	4	5	4	3	8	6	4	+	-	+	+	-	-
ST-3	3	4	-	+	-	4	4	50	36	-	-	+	-	-	-
tOM	2	65	2	4	+	4	3	10	5	+	-	7	+	-	-
GR-1	45	10	-	48	2 ⁽¹⁾	11	-	9	17	-	-	4	-	-	-
GR-2	77	-	-	23	1 ⁽¹⁾	5	2	38	27	-	3	+	-	-	-
GR-3	77	33	-	10		5	13	10	21	-	-	8	-	-	-
KI-1	89 ⁽²⁾	-	-	88	-	6	- ⁽³⁾	6	+	-	-	-	+	+	-
KI-2	87	4	-	52	-	29	- ⁽³⁾	6	8	-	-	+	-	-	-
tOS-1	76	30	6	23		4	21	2	9	-	-	4	-	-	-
tOS-2	67	62	2	7	1	1	7	11	6	-		3	-	-	-

Tab. 1: Schwermineralassoziationen von typischen Sandproben des Ulmer Raums und der näheren Umgebung.

Granat in % aller durchsichtigen Schwerminerale, übrige in % aller Schwerminerale ohne Granat. - (+): selten; (-): nicht nachgewiesen; (ST-1,2,3): Spaltenfüllungen aus BAIER et al. (2004a); (tOM): tOM aus BAIER et al. (2004a); (GR-1,2): Grimmelfingen-Schichten aus BAIER et al. (2004a); (GR-3): Grimmelfingen-Schichten aus der neuen Sandgrube SCHWER (R: 3566130, H: 5358370); (KI-1): Kirchberg-Schichten aus BAIER et al. (2002); (KI-2): Kirchberg-Schichten aus BAIER & HOFMANN (2003); (tOS-1): tOS aus einem Aufschluß bei Schießen (R: 3592520, H: 5351945); (tOS-2): tOS aus MÜLLER & REIFF 1993; (1): Charakteristische große Körner vorhanden; (2): Zum Teil Uwarowit; (3): Evtl. sekundär eliminiert.

Probe	Carbonate		Silikate					Rosenquarz
	Kalk	Dolomit	Gesamtanteil	Quarz, monokrist.	Polykrist. Quarz + Feldspat	Undurchsichtige	Glimmer	
ST-1	-	-	100	76	5	19	+	-
ST-2	+	-	+	75	10	15	+	-
ST-3	+	-	+	98 ⁽¹⁾	+	+	+(2)	-
tOM	-	-	-	54	33	13	+	-
GR-1	-	-	100	45	35	20	+	+
GR-2	-	-	100	35	23	42	+	+
KI-1	-	-	100	80	4	16	+	-
KI-2	-	-	93	88	5	7	-	-

Tab. 2: Ergebnisse der Carbonatbestimmungen und der Leichtmineraluntersuchungen von einigen Sandproben (Fraktion: 0,06-0,3 mm). - (+): selten, (-): nicht nachgewiesen; (1): Zum Teil idiomorph ausgebildet; (2): Muskowit-Anteil vorhanden. - (Daten aus BAIER et al. 2004a).

2.2 Bohnerz

In manchen Karstspaltenfüllungen und Karsthohlformen lassen sich sogenannte Bohnerze finden. Unter Bohnerz versteht man erbsen- und bohnen große Erzkügelchen, die oft aus konzentrisch angeordneten Schalen aus Brauneisenerz aufgebaut sind. Diese waren bereits Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (GEYER 1957, HOFMANN 1991, mit weiteren Literaturhinweisen). Die Bildung des Erzes erfolgte während des Alttertiärs, was aufgrund von Fossilien in den Spalten belegt werden konnte. Die Bildungszeit läßt sich teilweise bis in die Kreidezeit zurückdatieren (vgl. EICHLER 1961, BORGER 1990).

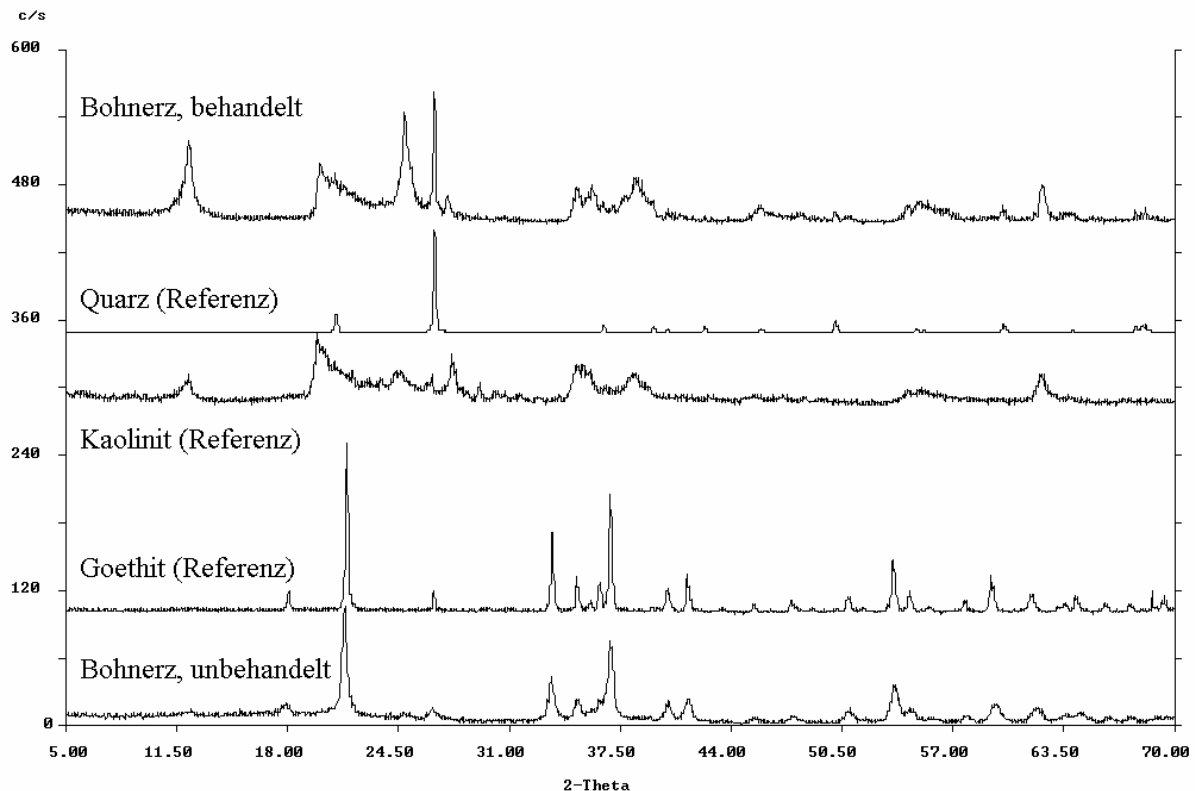


Abb. 1: Pulverdiffraktogramm von Bohnerz vor und nach einem Salzsäure-Auflösung (aus BAIER 1999).

Die Bildung des Erzes ist auf das Engste mit der Boluston-Bildung verknüpft: Durch die Einwirkung der aggressiven Niederschläge konnte eine lange Auslaugungsverwitterung aus den Tonen das Eisen mobilisieren. Die dabei gebildeten Lösungen konnten dann in andere Bereiche diffundieren, um dort das Eisen als Eisen(III)-Oxoverbindungen - vor allem Goethit ($\alpha\text{-FeOOH}$) und Hämatit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) - wieder auszuscheiden. Für die eigentliche Bohnerzbildung werden mehrere Bedingungen und Genesemodelle in der Literatur diskutiert, die den konzentrisch-schalenartigen Aufbau erklären sollen. Möglicherweise waren bei diesem Bildungsprozeß Mikroorganismen beteiligt. In Anschliffen lassen sich einzelne Bohnerzagglomerate nachweisen, die eine gemeinsame Umhüllung aufweisen, wie sie auch bei den einzelnen Körnern vorliegt. Ebenso lassen sich Trockenrisse und aufgebrochene Körner finden.

Im Ulmer Raum wurden von BAIER (1999) unter anderem Bohnerze des Steinbruchs Schammental (R: 3568940, H: 5366080) untersucht und es konnte gezeigt werden, dass diese dort im Wesentlichen aus Goethit und Kaolinit bestehen (vgl. Abb. 1). Der auf Eisen(III)-Oxid umgerechnete Eisen-Gehalt der Bohnerze wird mit etwa 60 %

angegeben (BAIER 1999) und liegt im typischen Bereich von württembergischen Bohnerzen (GEYER 1957).

3. Die Molasse

Als die europäische mit der adriatisch-afrikanischen Kontinentalplatte während des späten Eozäns kollidierte, wurde mit einer flexurartigen Absenkung der europäischen Platte eine Zeit der Sedimentation in unserem Raum eingeleitet (BACHMANN & MÜLLER 1992, KUHLEMANN & KEMPF 2002), die mit Ablagerungen vertreten ist (Molasse). Diese Ablagerungen lassen sich in folgende Schichtpakete untergliedern (stratigraphisch von oben nach unten):

- Obere Süßwassermolasse (tOS)
- Brackwassermolasse (tBM)
- Obere Meeresmolasse (tOM)
- Untere Süßwassermolasse (tUS)
- Untere Meeresmolasse (tUM)

Da im Ulmer Raum die Untere Meeresmolasse (tUM) nicht mit Sedimenten vertreten ist, wird im Folgenden dieses älteste Schichtpaket der süddeutschen Molasse nicht behandelt.

3.1 Untere Süßwassermolasse (tUS)

Zur Zeit der Unteren Süßwassermolasse (tUS) sank die Schwäbische Alb in unserem Raum ab. Dabei entwickelte sich eine seenartige Landschaft, in der Sande, Mergel und Süßwasserkalke sedimentiert wurden. Diese tertiären Ablagerungen lassen sich am Nordrand des Molassetrogs in die oberoligozänen Ehingen-Schichten [früher: *ramondi*-Schichten] und die untermiozänen Ulm-Schichten [früher: *subrugulosa*-Schichten] untergliedern. Die früher verwendeten Schichtbezeichnungen stammten von den lokal massenhaft vorkommenden Schnecken *Caseolus ramondi* (BRONGNIART) und *Omphalosagda subrugulosa* (QUENSTEDT), die in den Sedimenten als typische Leitfossilien vertreten sind.

Die oberoligozänen Ehingen-Schichten erreichen bei Ehingen eine Mächtigkeit von etwa 50 m (BLOOS 1967) und keilen nach Osten in Richtung Ulm aus, wo sie nicht mehr anstehen.

Die untermiozänen Ulm-Schichten bilden im Ulmer Raum das Hangende von den oberjurassischen Ablagerungen, die durch eine markante Erosionsdiskordanz voneinander getrennt sind (Taf. 1/3). Man kann diesen abrupten Übergang zwischen den beiden Ablagerungen in verschiedenen Steinbrüchen im Bereich des Blautals aufgeschlossen vorfinden, so z. B. im Steinbruch Schammental (R: 3568940, H: 5366080), im Steinbruch Herrlingen (R: 3566875, H: 5365550) oder im Steinbruch Kleines Lautertal (R: 3565750, H: 5366775). Das untermiozäne Schichtpaket, welches die Ulmer Anhöhen (Safranberg, Michelsberg, Eselsberg und Kuhberg) aufbaut, keilt „nach NW auf einer Linie Wipplingen - Weidach - Bollingen - Dornstadt - Beimerstetten aus“ (PAULSEN 1962: 50). Die Mächtigkeit der tUS-Ablagerungen wird beim Ulmer Eselsberg mit etwa 50 m angegeben (SCHULER 1973) und wächst beim Ulmer Kuhberg bis auf 100 m an (MOOS 1925). Das makroskopische Erscheinungsbild der Ablagerungen kann sehr unterschiedlich sein (Taf. 1/5-6): Neben fossilreichen, porösen Süßwasserkalken, deren Hohlräume sekundär durch Calcit verfüllt sein können, kommen fossilarme massige Kalke vor, die man bei flüchtiger Betrachtung mit oberjurassischen Massenkalken verwechseln kann. Ebenso lassen sich

brekziöse und onkoidische Kalke finden, die Rückschlüsse auf die damals herrschenden Ablagerungsbedingungen mit mäßig strömendem Wasser erlauben. Zwischen den kalkigen Partien kommen auch „kohlige“ Zwischenlagen vor (u. a. THEN et al. 2002), die man als schlammige Seeablagerungen von humosen Seen deuten darf (Taf. 1/4).

Im Ulmer Stadtgebiet (Ulm-Westtangente, Ulm-Uniklinik) wurde für die Zeit der Ulmschichten die bisher reichste Wirbeltierfauna Deutschlands entdeckt (HEIZMANN et al. 1989). Sie lieferte unter anderem Reste von Fischen, Schildkröten, Krokodilen, Bibern und Nashörnern. Ferner konnte man aufgrund von Pflanzenresten, die in der Sandgrube HOFFMANN (R: 3563580, H: 5357580) bei Eggingen gefunden wurden, für diese Zeit ein feuchtes, warm-gemäßigtes (subtropisches) Klima rekonstruieren (GREGOR 1985).

3.2 Obere Meeresmolasse (tOM)

Zur Zeit der Oberen Meeresmolasse (tOM) kam es zu einer Meeresstransgression, bei der weite Bereiche des nordalpinen Molassebeckens überflutet wurden (KUHLMANN & KEMPF 2002). Dabei wurde auf einem küstennahen Streifen bioklastische Sande oder Schillkalke abgelagert, die sich heute auf dem südlichen Bereich der Schwäbischen Alb befinden. Die Küstenlinie des damaligen untermiozänen Meeres wird von der sogenannten Klifflinie gebildet, welche im Ulmer Raum vom Suppinger Berg über Berghülen, Treffensbuch, Temmenhausen, Sinabronn, Weidenstetten und Altheim nach Heldenfingen verläuft (LUTZEIER 1922, ROLL 1935, GLASER 1964). Bei Heldenfingen ist das Kliff noch heute aufgeschlossen (Taf. 1/7) und liefert einen unmittelbaren Eindruck von der damaligen Meeresküste (LUTZEIER 1922, REIFF 1958, 1989). Alles, was sich südlich der Klifflinie befindet, wurde durch Abrasion eingeebnet und wird als Flächenalb bezeichnet (DONGUS 2000). Nördlich des Kliffs befindet sich die Kuppenalb, da dort die Abrasion langsamer vonstatten ging. Während dieser Zeit herrschte überwiegend eine alpine West-Ost-Schüttung vor, was mit Hilfe der Schwermineralanalytik gezeigt werden konnte (LEMCKE et al. 1953, FÜCHTBAUER 1954, SCHULER 1973, BAIER et al. 2004a). Das Schwermineralspektrum der Meeresablagerungen zeichnet sich durch eine charakteristische Epidot-Vormacht, bei sehr niedrigen Granat- und Staurolith-Gehalten, aus (vgl. Tab. 1: tOM). Das Napf- und das Hörnli-Delta bildeten hierbei die Hauptschuttfächer, deren Flüsse große Mengen an alpinem Schutt in das Molassemeer einbrachten und durch die Meeresströmungen nach Osten verfrachtet wurden. Geochemische Untersuchungen deuten auf offene marine Verhältnisse zur Zeit der tOM hin (VENNEMANN & HEGNER 1998). Zeitweilig kam es zu gegenläufigen Ost-West-Schüttungen, die sich durch eine moldanubisch-saxothuringische Geröll- und Schwermineralführung (Lydit, Rosenquarz, sowie u. a. große Andalusite) nachweisen lassen (u. a. BAIER 2008). Diese nach Südwesten gerichteten Schüttungen - die durch tektonische Bewegungen verursacht wurden - stellen im weiteren Sinne Vorläufer der ästuarinen Grimmelfingen-Schichten (siehe Kap. 3.3) dar und lassen sich bis in die Schweiz verfolgen (BÜCHI & HOFMANN 1960). Bis heute können auf den Äckern des Oberen Eselsbergs vereinzelt Bohrmuschelkalke gefunden werden, die einen küstennahen Raum zum damaligen Zeitpunkt belegen (BAIER et al. 2004a; Taf. 1/8). Das dortige Vorkommen wurde bereits 1883 von FRAAS beschrieben und dessen wissenschaftliche Bedeutung gewürdigt. Die marinen Sandablagerungen, die sich auf dem heutigen Oberen Eselsberg befinden, können eine Mächtigkeit von bis zu 12 m erreichen (SCHULER 1973). Gleichartige Sande konnten in den letzten Jahren auch in den Karstspalten des tiefer gelegenen Steinbruchs Schammatal (R: 3568940, H: 5366080; Tab. 1: ST-1,2) bei Ehrenstein nachgewiesen werden. Die Spalten befanden sich dort im Bereich der oberjurassi-

schen Oberen Felsenkalk-Formation (BAIER 1999, BAIER et al. 2004a). Die Höhendifferenz zwischen den Spaltenfüllungen und den Ablagerungen auf dem Oberen E-selsberg beträgt über 100 m und soll exemplarisch verdeutlichen, dass sich der Ulmer Raum in einem Karstgebiet befindet.

NW von Ulm-Ermingen befindet sich die Erminger Turritellenplatte (R: 3566190, H: 5361200), die vor rund 18,5 Millionen Jahren gebildet wurde (BAIER 2008). Die Turmschnecke *Turritella turris* BASTEROT, die dort häufig gefunden werden kann, gab der Fundstelle den Namen (Taf. 2/1). Aufgrund ihres Fossilreichtums (vgl. LUTZEIER 1922, BAIER et al. 2004b, HÖLTKE 2005) wurde die Fundstelle 1980 zu einem geologischen Naturdenkmal ausgewiesen. Der grobsandige bis kiesige Anteil des Sediments zeichnet sich zu einem erheblichen Anteil an Quarzen aus (darunter rötliche, gelbliche und untergeordnet grünliche Quarze), zu dem sich Gesteinsbruchstücke sowie Fossilien (Schalen, Schalentrümmern, Zähne sowie Knochen) gesellen (BAIER 2008). In der Leichtmineralfraktion fallen die paläozoischen Kieselschiefer („Lydite“) und charakteristische Rosenquarze auf, die in der Literatur mit einem moldanubisch-saxothuringischen Liefergebiet in Verbindung gebracht werden. Die gefundene Hai- und Rochenfauna (BAIER et al. 2004b) sowie die Molluskenfauna (HÖLTKE 2005) sprechen für flachmarine küstennahe Bedingungen, wenngleich auch bathyale Haie (*Mitsukurina lineata* [PROBST], *Notorhynchus primigenius* [AGASSIZ]) nachgewiesen wurden. Diese bathyalen Vertreter deuten sowohl auf ein gutes Nahrungsangebot im küstennahen Bereich als auch auf gute Verbindungen zu den tieferen Wasserregionen hin (BAIER et al. 2004b, BAIER 2008). Eine gleichartige Bildung stellt der Randengrobkalk dar, der im Bereich des Hegaus ansteht.

Den Abschluß der tOM bildet ein rund 1 m mächtiger, rötlicher Krustenkalk, der Albstein genannt wird und südlich von Ulm die sogenannte Albsteinschwelle bildet. Die Bildung des Albsteins erfolgte allerdings erst, nachdem sich das Molassemeer aus unserem Raum zurückgezogen hatte und größere Bereiche des ehemaligen Meeresbodens zu Festland geworden waren, und entstand im trockenwarmen Klima als Exsudationskalk auf der neu gebildeten Festlandoberfläche (RUTTE 1955, NÄGELE 1962). Über die genauen Zusammenhänge und benötigten Zeiträume herrscht bis heute noch keine ausreichende Klarheit. Direkt unter dem Albsteinniveau liegt häufig ein Mergel, der nicht selten Landschnecken enthält und deshalb als Helicidenmergel bezeichnet wird.

3.3 Brackwassermolasse (tBM)

Nachdem sich das Molassemeer aus dem Ulmer Raum nach SW zurückgezogen hatte, bildete sich bei uns ein Ästuar („Graupensandrinne“) eines von NO kommenden Flusses aus, der als „Graupensandfluß“ bezeichnet wird. Dabei wird sehr anschaulich auf das vorhandene Korngrößenspektrum angespielt, welches von Feinsanden bis zu Fein- und Mittelkiesen (= „Graupen“) reicht. Die Sedimentstrukturen weisen einen ästuarinen Charakter mit tidalen Einflüssen auf (ASPRION & AIGNER 2000).

Das Liefergebiet wird im bayerisch-böhmischen Massiv gesehen (KIDERLEN 1931), von wo aus die Ur-Naab - zusammen mit dem Ortenburger Schotter-Stromsystem - von NO nach SW in das Molassemeer der Ost-Schweiz entwässerten (UNGER et al. 1999). Flußabwärts kann man die feldspatreichen (Orthoklas) Graupensande bis in die Gegend von Riedern verfolgen (HOFMANN 1967), wo der Ästuar in das damalige Meer mündete. Die marine Mündungszone wird dort durch das häufige Vorkommen von Haifischzähnen, z. B. in den Gruben am Kohlfirst, angezeigt. Das Mineralspektrum dieser Ablagerungen zeichnet sich durch eine moldanubisch-saxothuringische Komponente aus. So kommen beispielsweise große Andalusite, charakteristische

Rosenquarze und Lydite in den Sanden vor. Das Schwermineralspektrum zeichnet sich durch einen hohen Granat-Gehalt bei niedrigem Epidot-Anteil aus. Staurolith, Zirkon und Rutil sind ebenfalls mit hohem Anteil vertreten (u. a. ZÖBELEIN & FÜCHTBAUER 1986, BAIER et al. 2004a; vgl. Tab. 1: GR-1,2,3).

Die Graupensandrinne erreicht im Ulmer Raum eine Breite von etwa 10 km. Der Nordrand des Ästuars verläuft bei uns von Unterelchingen über Neu-Ulm, Grimmelfingen und Eggingen nach Ringingen. Auf dem Hochsträß befinden sich noch heute mehrere Sandgruben, in denen der Graupensand abgebaut wird.

Die Mächtigkeit der Grimmelfingen-Schichten, wie die Graupensand-Ablagerungen nach der Typuslokalität Ulm-Grimmelfingen auch genannt werden, kann im Ulmer Raum bis zu 20 m betragen (Taf. 2/2). Sie liegen dort auf Süßwasserkalken der tUS (Taf. 2/4). Aufgrund von zahlreichen künstlichen Aufschlüssen, die in den letzten Jahren vorhanden waren, lässt sich folgendes, vereinfachtes Profil für den Bereich des Hochsträß aufstellen:

Hangendes: rezenter humoser Acker- oder Waldboden. Lokal von Sanden, Tonen und Mergeln der Kirchberg-Schichten unterlagert, die mehrere Meter mächtig werden können. In diesen Ablagerungen kommen fossilreiche Partien (REICHENBACHER 1988, 1989, KOWALKE & REICHENBACHER 2005) und „kohlige“ Zwischenlagen (WACHUTKA & GEYER 1999, BAIER et al. 2002) vor.

bis ~ 20 m Nahezu unverfestigtes, geschichtetes Material. Vorwiegend Sande und Feinkiese (resp. Graupensand), die im basalen Bereich lokal durch limonitische Verkrustungen verfestigt sein können. Die vorgefundenen Schrägschichtungstypen belegen einen ästuarinen Charakter der Ablagerungen (ASPRION & AIGNER 2000; Taf. 2/3).

0- ~20 cm „Biogene Basislage“ (sensu THEN et al. 2002, BAIER 2005; Taf. 2/4): Bei der biogenen Basislage handelt es sich um fossile Vegetationsrelikte, die durch mikrobiologischen Abbau entstanden sind (THEN et al. 2002). Die wellenartige Oberfläche, weist teilweise Höhenschwankungen von über 1 m auf. Oberhalb der biogenen Basislage lassen sich lokal grünliche Quarzit-Brocken im Bereich der Graupensande finden, die Abdrücke einer Riedvegetation enthalten (GREGOR & LUTZ 1984, BAIER 2005; Taf. 2/5). Diese Süßwasserquarzite sind vermutlich nicht autochthon (BAIER 2005).

Liegendes: Süßwasserkalke und -mergel der tUS, zum Teil fossilführend.

Oftmals sind jedoch nur Ausschnitte dieses schematischen Profils in den Gruben aufgeschlossen.

Zusätzlich wurden lokale Unterschiede in den Profilen der einzelnen Aufschlüsse festgestellt, die im vereinfachten Schema nicht berücksichtigt wurden. So wurde beispielsweise in der heute wieder verfüllten Sandgrube Mittelhart (R: 3563580, H: 5357580) an der Basis der Graupensandrinne ein Geröllhorizont entdeckt, in dem sich Knochen und Zähne von Land- und Meeressäugern, Reste von Reptilien sowie Haifischzähne befanden. Diese Fauna ließ sich mit dem mittleren und oberen Ottangium (Untermiozän) korrelieren (SACH & HEIZMANN 2001). Die gefundene Haifauna kann nicht als umgelagerte marine tOM-Fauna erklärt und muß als autochthon betrachtet werden (u. a. BAIER et al. 2004b). Die Ablagerungen fallen ansonsten durch ihre Fossilarmut im Ulmer Raum auf.

Jüngste Untersuchungen haben in der Zwischenzeit gezeigt, dass es sich bei der Biogenen Basislage um mehrere „Schokoladenmergel“-Horizonte der tUS handelt

und dass die (Schwer-)Metallgehalte im typischen Bereich von tertiären Verwitterungsrelikten liegen (vgl. BAIER 2005).

Die brackischen Kirchberg-Schichten (benannt nach der Typuslokalität Illerkirchberg), die die Grimmelfingen-Schichten überlagern, sind zum Teil fossilreich (REICHENBACHER 1988, 1989, KOWALKE & REICHENBACHER 2005) und stellen den letzten Meeresvorstoß in den Ulmer Raum dar. Die Grenze zu den liegenden Grimmelfingen-Schichten ist unscharf und wird entweder sedimentpetrographisch oder paläontologisch im Ulmer Raum gezogen. Es konnte anhand der gefundenen Fischfauna eine Meeresverbindung nach Osten zur zentralen Paratethys nachgewiesen werden (REICHENBACHER 1988, 1989). Die Muscheln *Dreissensia claviformis* KRAUSS und *Cardium sociale* KRAUSS stellen typische Leitfossilien dieser Ablagerungen dar (Taf. 2/6).

Die damals herrschenden Bedingungen scheinen vergleichbar mit den Verhältnissen am heutigen Bosporus gewesen zu sein. Dabei wurden überwiegend Sande, Tone, Mergel und Kalke im Bereich der Graupensandrinne abgelagert. Zwischen den brackischen Ablagerungen sind lokal mehrere „kohlige“ Zwischenlagen eingeschaltet (WACHUTKA & GEYER 1999, BAIER et al. 2002), die fossile Vegetationsrelikte darstellen. Ebenso wurde aus der neuen Sandgrube Mittelhart (R: 3563400, H: 5357540, ca. 535 m ü. NN) ein eisenerzführender Horizont beschrieben (BAIER & HOFMANN 2003), in dem auch Schnecken in Steinkernerhaltung auftraten. In der Zwischenzeit konnte eine der Schnecken als *Stagnicola armaniacensis* (NOULET) bestimmt werden (leg. BAIER, det. REICHENBACHER).

Die Kirchberg-Schichten werden im Ulmer Raum überwiegend von jüngeren Schichten überdeckt und streichen an nur wenigen Stellen zutage aus, so z. B. bei der Typuslokalität Kirchberg, an manchen Stellen auf dem Hochsträß sowie am Donaurand zwischen Leipheim und Günzburg. Eine wichtige Fundstelle von Fossilien, die mit den Kirchberg-Schichten zeitlich parallelisiert wird, stellt Langenau bei Ulm dar. Die zeitliche Korrelation erfolgte anhand der gefundenen Fauna (SACH & HEIZMANN 2001).

3.4 Obere Süßwassermolasse (tOS)

Zur Zeit der Oberen Süßwassermolasse (tOS) wurden überwiegend limnisch-fluviatile und fluviatil-terrestrische Sedimente im nördlichen Alpenvorland abgelagert. Eine zeitliche Gliederung kann, wenn Fossilien fehlen, anhand von Sandschüttungen im süddeutschen Raum erfolgen, die sich in der Schwermineralführung unterscheiden. Zur Zeit der Kirchberg-Schichten herrschte in unserem Raum vorwiegend eine beckenradiale, von Süden kommende, Granat-Staurolith-Apatit-Schüttung („GSA₁-Schüttung“, Hochgrat-Schüttung) vor (u. a. BAIER et al. 2002, BAIER & HOFMANN 2003; vgl. Tab. 1: KI-1,2), die immer mehr zur Zeit der Oberen Süßwassermolasse durch eine beckenaxiale, von Osten kommende, Granat-Epidot-reichen Schüttung („GE-Schüttung“) abgelöst wurde (u. a. LEMCKE et al. 1953, FÜCHTBAUER 1954, DOPPLER 1989; vgl. Tab. 1: tOS-1,2). Das Einzugsgebiet der neuen Schüttung lag in den östlichen Ostalpen. Die Entwässerung erfolgte über ein Stromsystem, welches über das nördliche Alpenvorland und die Nordschweiz dem Mittelmeer zustrebte. Noch heute lassen sich die Ablagerungen der GE-Schüttung bis ins Tal von St.-Imier (Schweiz) verfolgen (HOFMANN 1969). Darauf nahm wieder die radiale, von Süden kommende, Granat-Staurolith-Apatit-Schüttung („GSA₂-Schüttung“) zu und überlagerte die Ablagerungen der tieferliegenden GE-Schüttung. Diese GSA₂-Schüttung stieß allerdings nicht so weit nach Norden vor, so dass sie den Ulmer Raum nicht erreichte. Über die klimatischen Verhältnisse zur damaligen Zeit geben fossile Pflanzenreste Auskunft

(u. a. GREGOR 1982a, GREGOR et al. 1989), so zum Beispiel in einer aufgelassenen tOS-Sandgrube bei Schießen (R: 3592520, H: 5351945). In diesem Aufschluß konnte innerhalb der glimmerreichen, feinsandigen Matrix Blattabdrücke geborgen werden, die als *Populus* sp., *Salix lavateri* BRONGNIART, *Salix angusta* BRONGNIART, eine extrem schmalblättrige, ganzrandige Weide, *Berchemia* sp., *Cinnamomum polymorphum* (BRONGNIART) HEER sowie als *Leguminosae* bestimmt werden konnten (leg. MICK; det. GREGOR). Zusätzlich konnten Fruchtkapseln von *Celtis lacunosa* (REUSS) KIRCHHEIMER gefunden werden (leg. MICK; det. GREGOR), die für diese Zeit typisch sind.

In den mittelmiozänen Sandmergeln der tOS lassen sich sogenannte Brockhorizonte von Niederbayern bis in die Ostschweiz nachweisen (SACH 1997, mit weiteren Literaturhinweisen). Bei den Brocken in diesen Horizonten, die aus Malmkalken bestehen, handelt es sich um Auswurfprodukte des Ries-Impakts (HOFMANN & HOFMANN 1992, BAIER 2007; Taf. 2/8), die in der weiteren Umgebung des Rieses verstreut wurden und nur geringfügig fluviatil umgelagert sein können. Damit stehen diese Horizonte in zeitlicher Nähe zum Impaktereignis und stellen eine wichtige Zeitmarke innerhalb der tOS-Ablagerungen dar, da der Ries-Impakt mit rund 14,3 bis 14,5 Millionen Jahren datiert werden konnte (s. Kap. 5.1).

tOS-Sedimente bilden im Ulmer Raum das Liegende von pleistozänen Schottern, z. B. in Wiblingen. Als oberflächlich vorkommende Ablagerungen sind die Süßwasserkalk-Vorkommen zu nennen, die auf dem Hochsträß lokal anstehen (MILLER 1871, SCHAD 1908). Die Schnecke *Cepaea silvana* (KLEIN) stellt dort das Leitfossil dar, die den Namen *silvana*-Kalke für die Ablagerungen rechtfertigt. Aus dieser Zeit stammen auch die „Juranagelfluh“-Vorkommen einer Ur-Lone, deren Ablagerungen zwischen Bernstadt, Albeck und Schammensägmühle einen Schotterzug bildete (DONGUS 1960).

4. Der Schwäbische Vulkan

Der südwestdeutsche Intraplatten-Vulkanismus (Alb, Hegau, Kaiserstuhl sowie der Katzenbuckel) erreichte zur Zeit des Tertiärs seinen Höhepunkt magmatischer Aktivität, deren Relikte bis heute das Landschaftsbild prägen (u. a. KELLER 1984, NEUMANN et al. 1992, DUNWORTH & WILSON 1998, WEDEPOHL & BAUMANN 1999, MANN et al. 2006, ULIANOV et al. 2007, SCHMITT et al. 2007). Das Alter des Albvulkanismus selbst wird mit 11-16 Millionen Jahren angegeben (LIPPOLT et al. 1973). Höhere Alter werden auf Exzess-Argon zurückgeführt.

Als Ursache für den Albvulkanismus wird das Zusammentreffen von aufsteigendem Magma mit ausreichenden Mengen an Grundwasser angenommen, was zu phreatomagmatischen Eruptionen führte (LORENZ 1982). Im Uracher Raum konnten bislang über 350 Diatreme nachgewiesen werden, die überwiegend mit Tuffen und Tuffbrekzien verfüllt sind (Taf. 3/1). Von CLOOS (1941) wurde für das gesamte Vulkangebiet die Bezeichnung Schwäbischer Vulkan eingeführt, da es sich um einen einzigen Vulkan handelt, der durch die Kruste vielfach verzweigt ist. Die einzelnen vulkanischen Vorkommen wurden 1978 auf einer separaten geologischen Karte von MÄUSSNEST dokumentiert. Zu den eindrucksvollsten Erscheinungen des Schwäbischen Vulkans gehören das Randecker Maar, der Jusi sowie der Aichelberg, die oftmals Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen waren (u. a. CLOOS 1941, PAPENFUSS 1974, BERG & WEISKIRCHNER 1979). Die kristallinen Gesteine des Grundgebirges, die mit den Eruptionen an die Erdoberfläche mitgerissen wurden, erlauben einen Einblick in den tieferen Untergrund des Uracher Raums. Die Granite, Gneise, Diorite, Gabbros, sowie Ganggesteine bilden hierbei die wichtigsten Vertreter der Auswürflinge, die eine große Verwandtschaft zu den Gesteinen des Bayerischen Waldes aufweisen (SCHWARZ 1905).

Neben den Tuffen (Taf. 3/3-4) kommen in nur wenigen Schloten intrudierte olivinmelilitische bis olivinnephelinitische Schmelzen („Basalte“) einer vulkanischen Spätphase vor (WEISKIRCHNER 1972). Geochemische Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Magmenentwicklung aus einer angereicherten Asthenosphäre abzuleiten ist (HEGNER et al. 1995, HEGNER & VENNEMANN 1997, BLUSZTAJN & HEGNER 2002). Eine ausführliche petrologische Beschreibung dieser Gesteine wurde in DUNWORTH & WILSON (1998) gegeben. In den schwärzlich-grauen, feldspatfreien Ultrabasiten lassen sich mit bloßem Auge Einsprenglinge von Olivin erkennen. Augit und Melilith kommen ebenfalls als Einsprenglinge vor.

Eine nachvulkanische Erscheinung stellt ein Thermalsinterkalk dar, der in Böttingen in einer Spalte auftritt (MAIER 1931). Seine rot-weiß gebänderten Partien („Böttinger Marmor“) wurden früher als dekorativer Werkstein geschätzt und abgebaut (ROSENDAHL et al. 2003; Taf. 3/5). Für die Paläontologen sind die travertinartigen porösen Bildungen (der sog. „Wilde Marmor“) eine Fundgrube von Fossilien, z. B. von Pflanzen und Insekten. Die gefundene Blatt- und Fruchtfloren weist auf ein warmgemäßigtes, humides Klima zum damaligen Zeitpunkt hin (GREGOR 1982b). Ebenso muss man die Kohlensäure in den diversen Sauerlingen des Filstales zu den letzten Erscheinungen des Albvulkanismus zählen.

1999 konnten erstmalig in einer Spaltenfüllung des Ulmer Raums vulkanogene Apatite gefunden werden, die aus dem Hegau-Vulkanismus stammen. Eine sedimentpetrographische Beschreibung der Spaltenfüllung erfolgte in einer eigenen Arbeit (BAIER et al. 2004a).

5. Meteoritenkrater

5.1 Nördlinger Ries

Zur Zeit der tOS schlug ein aus N kommender Meteorit (GRAUP 1999, BAIER 2007) auf der Schwäbisch-Fränkischen Alb ein und bildete das heutige Nördlinger Ries. Der Impakt erfolgte vor etwa 14,3 bis 14,5 Millionen Jahren (SCHWARZ & LIPPOLT 2002, LAURENZI et al. 2003). Dabei führte die kurzzeitige enorme Druck- und Temperaturbelastung zu spezifischen Stoßwellenerscheinungen in den Gesteinen des Einschlaggebiets (GRAUP & STÖFFLER 1974), die zum großen Teil in die Umgebung hinausgeschleudert wurden (vgl. Abb. 2). Diese charakteristischen Veränderungen werden als Stoßwellenmetamorphose bezeichnet und als Beweis für einen Impakt angeführt. Vom Impaktor selbst wurden bis heute keine Reste gefunden (SCHMIDT & PERNICKA 1994).

Die volumenmäßig wichtigsten Auswurfprodukte des Ries-Impakts stellen die Bunten Trümmermassen und der Suevit dar (BAIER 2007, dort weiterführende Literatur), deren Verteilung auf einer geologischen Karte dokumentiert wurde (HÜTTNER & SCHMIDT-KALER 1999). Die Bunten Trümmermassen machen mit rund 90 bis 95 % den überwiegenden Anteil der Auswurfprodukte aus (CHAO 1977). Sowohl die schlechte Sortierung der Bunten Breccien selbst als auch das Vorhandensein von größeren zusammenhängenden Scholleneinheiten lassen einen komplexen nicht-ballistischen Roll-Gleit-Transportmechanismus als wahrscheinlich annehmen. Hierfür sprechen auch die oftmals beschriebenen Schliff-Flächen (u. a. WAGNER 1964, HÜTTNER 1969), die den Kritzungen vulkanischer Schlotwände ähneln (BAIER 2007).

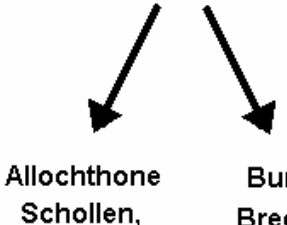
Mechanisch verändert, aber nicht geschmolzen		Mechanisch verändert und (zum Teil) aufgeschmolzen	
Bunte Trümmermassen  Allochthone Schollen, Gries Bunte Breccie	Polymikte Kristallinbreccien Malmkalke des Brockhorizonts	Suevit	Impakt-schmelz-fluss Moldavite Bentonit-Gläser

Abb. 2: Vereinfachtes Schema der Impaktgesteine (aus BAIER 2007).

Der Suevit (Taf. 4/1) wurde in den vergangenen Jahrzehnten ausführlich untersucht (u. a. GRAUP 1978, 1981, 1999, BAIER 2007). So konnte beispielsweise durch GRAUP (1999) gezeigt werden, dass während des Impakts große Mengen an Carbonatschmelzen entstanden. Hierbei fungierten die Malmkalke des Einschlaggebiets als Carbonatquelle. Die entstandenen Schmelzen kristallisierten bei der raschen Abkühlung zu Calcit aus und lassen sich im Suevit (bis 50 Vol.-%) nachweisen. Die im Suevit vorkommenden Riesgläser („Flädle“; Taf. 4/2) wurden durch eine impaktbedingte Aufschmelzung aus den mesozoischen Tonschiefern des Einschlaggebiets gebildet (BAIER 2007). Dadurch sind erhebliche Anteile des mesozoischen Deckgebirges im Suevit vorhanden. Die kristallinen Einschlüsse erlauben einen Einblick in den tieferen Untergrund und sind petrographisch sehr vielfältig (GRAUP 1978). Der Auswurfmechanismus selbst ähnelt dem einer phreatomagmatischen Eruption, was auf gleichartige physikalische Ausgangsbedingungen zurückzuführen ist (vgl. BAIER 2007). Hierdurch weist der Auswurfsuevit Charakteristika eines Ignimbrits auf (z. B. Entgasungskanäle, Korngrößenverteilung, eingeregelter Komponenten, feinkörniger Basistuff). Ebenso gibt es bei den Ablagerungen Schmelzflüsse („Roter Suevit“), die durch den Impakt erzeugt wurden (vgl. BAIER 2007; Taf. 4/4).

Die herausgeschleuderten Malm-Brocken, die sich in den Brockhorizonten der tOS befinden, wurden bereits im Kapitel 3.4 erwähnt und deren stratigraphische Bedeutung für die tOS-Stratigraphie beschrieben. In den Brocken konnten „planare Elemente“ (PDFs) und Shatter cones gefunden werden (HOFMANN & HOFMANN 1992, SACH 1997), die auf ein Impakt-Ereignis schließen lassen.

Geochemische Untersuchungen an Moldaviten haben gezeigt, dass es sich bei diesen Tektiten (Taf. 4/6) ebenfalls um Auswurfprodukte des Ries-Impakts handelt. Die Gläser kommen in den sogenannten Moldavitreufeldern vor, die sich in Böhmen, Mähren, Niederösterreich sowie in der Lausitz befinden (TRNKA & HOUZAR 2002). Als Ausgangsmaterial der impaktbedingten Gläser konnten die Ablagerungen der tOS identifiziert werden (GRAUP et al. 1981, SHAW & WASSERBURG 1982), die im Bereich des Nördlinger Rieses anstanden. Die chemischen Inhomogenitäten innerhalb der einzelnen Moldaviten selbst lassen sich mit einer unvollständigen Mischung von mindestens drei lithographischen Ausgangskomponenten (Tonminerale, Dolomit, Quarz) während des Schmelzprozesses erklären.

5.2 Steinheimer Becken

Wenige Kilometer westlich von Heidenheim befindet sich das Steinheimer Becken (REIFF 1959), das annähernd zeitgleich mit dem Nördlinger Ries entstand. Es wird daher heute angenommen, dass beide Meteoritenkrater das Resultat ein- und desselben Meteoriten darstellen, welcher vor dem Einschlag in zwei Bruchstücke zerbrach. Allerdings liegen bis heute keine absoluten Altersdatierungen des Steinheimer Beckens vor, da bislang keine impaktbedingten Gesteinsgläser gefunden werden konnten. Das Becken konnte (unter anderem) durch den Nachweis von „planaren Elementen“ (PDFs), die sich in Quarzkörnern befanden, als Impakt-Krater identifiziert werden (GROSCHOPF & REIFF 1966). In der Arbeit von BRANCO & FRAAS (1905) wurden erstmals die augenfälligen Strahlenkalke (shatter cones) beschrieben, für die das Steinheimer Becken berühmt wurde (Taf. 4/7). Diese makroskopischen Strukturen wurden durch den Impakt erzeugt und konnten in der Zwischenzeit auch in anderen Meteoritenkratern gefunden werden.

Nachdem der Meteoritenkrater entstanden war, bildete sich im Becken ein See aus, an dem das Leben rasch wieder Einzug fand (BÖHME et al. 2002). Dadurch wurde die Grundlage zu einer der reichhaltigsten paläontologischen Tertiärfundstellen des süddeutschen Raums gelegt. Die besondere paläontologische und geologische Bedeutung des Steinheimer Beckens wurde in der umfangreichen Arbeit von ADAM (1980) gewürdigt.

6. Die Zeit nach der Molasse

Gegen Ende der süddeutschen Molasse-Zeit kam es zu großräumigen tektonischen Hebungen der Schwäbischen Alb, die in unserem Gebiet die Sedimentation der tOS beendete. Dabei entwickelte sich in Südwestdeutschland ein Flußsystem, welches nach Nordosten entwässerte (HOFMANN 1996; VILLINGER 1998). Die großen Quelläste des Flußsystems waren die aus den Westalpen kommende Aare-Donau, die Feldberg-Donau und der bei Ehingen in die Ur-Donau mündende Alpen-Rhein. Die Donau floss dabei zunächst an der ehemaligen Kliffküste der tOM entlang und räumte dort die Ablagerungen der Juranagelfluh und der Molasse weg. Alpine Schotterfunde am miozänen Kliff lassen den Verlauf noch heute rekonstruieren (MAYER 1934, RÖDEL 1958, GLÖKLER 1963).

Mit der weiteren Albhebung glitt die Donau nach Süden ab, wobei einzelne Molasse-reste nicht abgetragen wurden und noch heute als isolierte Reste vorhanden sind (GLÖKLER 1963). Weit verbreitete Schotterflächen nördlich des Blautals (Seißen, Sonderbuch, Oberer Eselsberg) sowie auf mehreren kleinen Anhöhen des Hochsträß belegen, dass das heutige Blautal erst nach dieser Zeit entstanden sein kann.

Zu jener Zeit begann eine Zeit der Klimaschwankungen, die mehrere Eiszeiten zur Folge hatte. Südlich von Ulm belegen fluvioglaziale Schotter die einzelnen Eiszeiten (u. a. BECKER-HAUMANN 2001), deren Gletscher allerdings nie den Ulmer Raum erreichten. Nachdem die (Aare-)Donau ihr vorhandenes Bett im Bereich des heutigen Oberen Eselsbergs plombiert hatte (SCHULER 1973), tiefte sie sich während der folgenden Hebungsphasen der Schwäbischen Alb in die vorhandenen Schichten ein, wobei das Tal entstand, in dem heute die Blau, Ach und Schmiech fließen. Dabei kam es zur Ausbildung von Flussterrassen und Felsleisten. Ausgeprägte Talschlingen mit Prall- und Gleithängen, wie sie für fließende Gewässer typisch sind, sind dort ebenfalls vertreten. Besonders eindrucksvoll sind die Talschlingen zwischen Allmendingen und Blaubeuren ausgebildet, wo die Donau den Meisenberg, den Schelklinger Berg, den Lützelberg sowie den Rucken umfloss. Als erste Schlinge wurde der Meisenberg durch die Donau abgeschnürt. Dadurch wurde der Meisenberg zu einem

Umlaufberg. Ihm folgte dann der Lützelberg. Zu jener Zeit gelang der Schmiech - ein von Westen kommender Nebenfluß der damaligen Donau - der Durchbruch beim Schelklinger Berg, wobei dieser zu einem Durchbruchberg wurde. WAGNER (1929) hat diese einzelnen Phasen untersucht und in seinem Buch „Junge Krustenbewegungen“ ausführlich beschrieben. Die Donau konnte allerdings den Durchbruch an der schmalsten Stelle des Blaubeurer Ruckens nicht mehr vollziehen, da die Donau vorher ihr Tal bei Untermarchtal verließ und in ihr neues, am Südrand des heutigen Hochsträß verlaufendes, Tal wechselte (der heute vorhandene Durchbruch am Rucken erfolgte künstlich). Nach derzeitiger Vorstellung erfolgte diese Verlegung des Flußlaufes während des Mittelriß (EBERLE et al. 2001). Bis dahin hatte sich die Ur-Donau mehrere Meter unter die heutige Talsohle in den oberjurassischen Kalk eingetieft und später ihr eigenes Flußbett mit mehreren Metern Geröll plombiert. Das aufgefüllte Tal wurde durch die kleinen Nachfolgerflüsse Schmiech, Ach und Blau übernommen, wobei sich eine neue Wasserscheide zwischen Schmiech und Ach ausbildete, die bis heute besteht. Während der letzten beiden Eiszeiten bildeten sich auch mehrere, nach Norden orientierte Talsysteme aus (Günz-, Roth- und Illertal). Diese stammen von der Ur-Iller, die zur Donau entwässerte und ihr Flußbett mehrfach nach Westen verlagerte (ELLWANGER 1989).

Die erfolgte Tieferlegung der Erosionsbasis der Ur-Donau läßt sich auch in den donautributären albseitigen Nebentälern, z. B. im Kleinen Lautertal, nachweisen. Dort wurden ebenfalls schmale Terrassen während der einzelnen Eintiefungsphasen gebildet (GLÖKLER 1963, GLÖKLER & UFRECHT 1983). Diese lassen sich oft mit den zeitäquivalenten Eintiefungsphasen des Vorfluters korrelieren, wenn diese zahlreich vorhanden sind. Während der zeitlich dazwischen liegenden Hebungspausen der Schwäbischen Alb kam es aufgrund der Mischungskorrosion zu verstärkten niveaubezogenen Höhlensystem-Bildungen im Bereich der Karstwasseroberfläche, wo die vadoso und phreatische Zone aufeinander trafen. Dort entstand bei der Durchmischung der Lösungen, die einen unterschiedlichen Gehalt an Hydrogencarbonat aufwiesen, ein CO₂-Überschuß, der sofort zur weiteren Kalklösung zur Verfügung stand und eine verstärkte niveaubezogene Kalklösung im anstehenden Gestein verursachte. Dieser direkte Zusammenhang zwischen den horizontalen Höhlensystemen und den dazugehörigen Terrassenniveaus ermöglicht eine relative Altersaussage zwischen verschiedenen Höhlensystemen, die geographisch weiter auseinander liegen. So konnte beispielsweise für unseren Raum gezeigt werden, dass die Sontheimer-Höhle und die Laichinger Tiefenhöhle gleich alt sind und während des Altpleistozäns gebildet wurden (GLÖKLER 1979). Die horizontalen Gänge der Blautopf-Höhle lassen sich mit tiefer gelegenen Donau-Niveaus korrelieren und sind folglich jünger einzustufen (VILLINGER 1986).

In vielen Spaltenfüllungen wird oftmals eine deutliche Vormacht an alpinen Komponenten angetroffen, was auf einen postmolassischen Sedimenteintrag hindeutet. Hierbei lassen sich verschiedene alttertiäre (u. a. Bohnerz) und molassische Komponenten (unterschiedlicher Herkunft und Alter) in ein und derselben Spaltenfüllung nachweisen. Diese Spaltenfüllungen stehen mit der regionalen Flussgeschichte wie folgt in Verbindung: Mit der Eintiefung des Vorfluterniveaus kam es zu einer tief reichenden Verkarstung, die eine vertikale und horizontale Umlagerung von Spaltenfüllungen ermöglichte. Dabei kam es zu einer stetigen Zumischung jüngerer Sedimente (BAIER et al. 2004a, SCHERZINGER et al. 2005). Für zwei höhlenartig erweiterte Spalten(systeme), die im Wesentlichen mit miozänen Graupensanden verfüllt waren, konnte als Verfüllungszeit das Pleistozän wahrscheinlich gemacht werden (BAIER et al. 2001).

Aus den Verläufen der heutigen Trockentäler, die durch die Nebenflüsse der Ur-Donau geschaffen wurden, lassen sich Auskünfte über das damalige Flußsystem erhalten und die einzelnen Kippbewegungen der Schwäbischen Alb rekonstruieren (LENZ 1957, GLÖKLER & UFRECHT 1983), die bis heute andauern.

Danksagung: Dr. M. MARTIN (LGRB, Freiburg) sei für die Durchführung zweier Schwermineralanalysen (GR-3, tOS-1) gedankt. Ebenso danke ich R. MICK (Senden), der freundlicherweise seine geborgenen Blattabdrücke durch Dr. H.-J. GREGOR (Olching) bestimmen ließ. Die Bestimmung einer Schnecke erfolgte durch Prof. Dr. B. REICHENBACHER (München). E. FRANK (Tübingen) danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Literatur

- ADAM, K. D.: Das Steinheimer Becken - eine Fundstätte von Weltgeltung. - Jh. Ges. Naturk. Württ., 135, 32-144, 1980.
- ASPRION, U. & AIGNER, T.: Fazies- und Georadar (GPR)-Analyse in der süddeutschen Graupensandrinne. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 218/3, 321-342, 2000.
- BACHMANN, G. H. & MÜLLER, M.: Sedimentary and structural evolution of the German Molasse Basin. - Eclogae geol. Helv., 85/3, 519-530, 1992.
- BAIER, J.: Mineralogische Untersuchungen an graupensandhaltigen Spaltenfüllungen aus den Oberen Felsenkalken (ki3) des Steinbruchs „Schammental“ bei Ulm. - Diplomarbeit, Universität Ulm, 48 S., 1999.
- Autochthone Bergkristalle aus dem Ulmer Raum. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 85, 493-500, 2003.
 - Zur „biogenen Basislage“ des Hochsträß (Mittlere Schwäbische Alb): Diskussion anorganisch-geochemischer Untersuchungen. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 87, 361-370, 2005.
 - Die Auswurfprodukte des Ries-Impakts, Deutschland. - Doc. Nat., 162, 1-18, 2007.
 - Ein Beitrag zur Erminger Turritellenplatte (Mittlere Schwäbische Alb, SW-Deutschland). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 90, 9-17, 2008.
- BAIER, J., FRANZ, M. & HOFMANN, F.: Sedimentpetrographische Untersuchungen an sandhaltigen Spaltenfüllungen im Raum Ulm/Donau. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. 86, 373-384, 2004a.
- BAIER, J., FRANZ, M., HOFMANN, F. & THEWALT, U.: Erstnachweis von graupensandhaltigen Spaltenfüllungen im Bereich des Blautals. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 83, 327-337, 2001.
- BAIER, J. & HOFMANN, F.: Goethitpseudomorphosen aus den Kirchberger Schichten des Hochsträß (Mittlere Alb, SW-Deutschland). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 85, 485-492, 2003.
- BAIER, J., SCHMITT, K.-H. & MICK, R.: Notizen zur untermiozänen Hai- und Rochenfau-na der Erminger Turritellenplatte (Mittlere Schwäbische Alb, SW-Deutschland). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 86, 361-371, 2004b.
- BAIER, J. & SCHWEIGERT, G.: Zum Vorkommen von *Aulacostephanus yo* (D'ORBIGNY) im Schwäbischen Jura (Ober-Kimmeridgium, SW-Deutschland). - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 2001/3, 184-192, 2001.
- BAIER, J., THEN, R. & HOFMANN, F.: Chemisch-petrographische Untersuchungen einer „kohligen“ Zwischenlage in den Kirchberger Schichten des Hochsträß (Schwä-

- bische Alb, SW-Deutschland). - N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 226/1, 131-143, 2002.
- BECKER-HAUMANN, R. A.: The depositional history of the bavarian Allgäu area at the turn of Tertiary/Quaternary, Northern Alpine Foreland, Germany - a set of paleogeological maps. - Quaternary International, 79, 55-64, 2001.
- BERG, U. & WEISKIRCHNER, W.: Petrographische Untersuchungen an vulkanischen Gesteinen des Jusi (Schwäbische Alb). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 61, 337-346, 1979.
- BLOOS, G.: Über Jura und Tertiär im Gebiet von Ehingen/Donau (Baden-Württemberg). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 49, 75-115, 1967.
- BLUSZTAJN, J. & HEGNER, E.: Osmium isotopic systematics of melilitites from the Tertiary Central European Volcanic Province in SW Germany. - Chem. Geol., 189, 91-103, 2002.
- BÖHME, M., GREGOR, H.-J. & HEISSIG, K.: The Ries and Steinheimer meteorite impacts and their effects on environmental conditions in time and space. - In: BUFFETAUT, E. & KOEBERL, C. (Hrsg.): Geological and biological effects of impact events, 217-235, Berlin, Heidelberg (Springer) 2002.
- BORGER, H.: Bohnerze und Quarzsande als Indikatoren paläogeographischer Verwitterungsprozesse und der Altreliefgenese östlich von Albstadt (Schwäbische Alb). - Kölner geograph. Arb., 52, 1-209, 1990.
- BRANCO, W. & FRAAS, E.: Das kryptovulkanische Becken von Steinheim. - Abh. kgl. preuß. Akad. Wiss., phys. Abh. I, 1905, 1-64, 1905.
- BÜCHI, U. P. & HOFMANN, F.: Die Sedimentationsverhältnisse zur Zeit der Muschel-sandsteine und Grobkalke im Gebiet des Beckennordrandes der Oberen Meeresmolasse zwischen Aarau und Schaffhausen. - Bull. Ver. Schweizer. Petrol.-Geol. u. -Ing., 27/72, 11-22, 1960.
- CHAO, E. C.-T.: The Ries crater of Southern Germany, a model for large basins on planetary surfaces. - Geol. Jb., A43, 3-81, 1977.
- CLOOS, H.: Bau und Tätigkeit von Tuffschloten - Untersuchungen an dem Schwäbischen Vulkan. - Geol. Rdsch., 31, 709-800, 1941.
- DONGUS, H.: Das Alter der Taleintiefung auf der Niederen Flächenalb. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 42, 55-62, 1960.
- Die Oberflächenformen Südwestdeutschlands. - 189 S., Berlin, Stuttgart (Gebr. Bornträger) 2000.
- DOPPLER, G.: Zur Stratigraphie der nördlichen Vorlandmolasse in Bayerisch-Schwaben. - Geologica Bavarica, 94, 83-133, 1989.
- DUNWORTH, E. A. & WILSON, M.: Olivine melilitites of the SW german tertiary volcanic province; mineralogy and petrogenesis. - J. Petrol., 39/10, 1805-1836, 1998.
- EBERLE, J., HECHT, S. & WITTMANN, P.: Neue Erkenntnisse zur Landschaftsgeschichte des Kirchener Tales bei Ehingen a. d. Donau mit Hilfe sedimentologischer und refraktionsseismischer Untersuchungsmethoden. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 83, 339-355, 2001.
- EICHLER, J.: Mineralogische und geologische Untersuchungen von Bohnerzen in Baden-Württemberg, besonders das Vorkommen bei Liptingen, Kreis Stockach. - N. Jb. Min. Abh., 97, 51-111, 1961.
- ELLWANGER, D.: Paläographische Kartenskizzen zur Flußgeschichte des Aitrach-Iller-Gebiets (Schwaben). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 71, 445-466, 1989.
- FRAAS, O.: Die Bohrmuscheln am Eselsberg bei Ulm. - Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ., 39, 106-108, 1883.

- FRANZ, M., SIMON, T., MEYER, R. K. F. & DOPPLER, G.: Die Thermalwasserbohrung "Donautherme", Neu-Ulm. - *Geologica Bavarica*, 106, 81-106, 2001
- FÜCHTBAUER, H.: Transport und Sedimentation der westlichen Alpenvorlandmolasse. - *Heidelberger Beitr. Min. Petrogr.*, 4, 26-53, 1954.
- GEYER, O. F.: Über das Bohnerz in Württemberg. - *Z. dt. geol. Ges.*, 109, 22-27, 1957.
- GLASER, U.: Die miozäne Strandzone am Südsaum der Schwäbischen Alb. - *Würzb. Geogr. Arb.*, 11, 1-99, 1964.
- GLÖKLER, K.: Die Molasse-Schichtstufen der mittleren Alb. - *Tübinger geograph. Studien*, 9, 1-71, 1963.
- Das Alter der Laichinger und Sontheimer Höhle - Eine flußgeschichtliche Betrachtung. - *Laichinger Höhlenfreund*, 14/2, 73-80, 1979.
- GLÖKLER, K. & UFRECHT, W.: Die Entstehung der Laichinger Tiefenhöhle (Mittlere Schwäbische Alb). - *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F.*, 65, 223-242, 1983.
- GRAUP, G.: Das Kristallin im Nördlinger Ries. Petrographische Zusammensetzung und Auswurfmechanismus der kristallinen Trümmermassen, Struktur des kristallinen Untergrundes und Beziehungen zum Moldanubikum. - 190 S., Stuttgart (Enke) 1978.
- Terrestrial chondrules, glass spherules and accretionary lapilli from the suevite, Ries crater, Germany. - *Earth Planet. Sci. Lett.*, 55, 407-418, 1981.
 - Carbonate-silicate liquid immiscibility upon impact melting: Ries Crater, Germany. - *Meteorit. Planet. Sci.*, 34, 425-438, 1999.
- GRAUP, G., HORN, P., KÖHLER, H. & MÜLLER-SOHNUS, D.: Source material for moldavites and bentonites. - *Naturwissenschaften*, 68, 616-617, 1981.
- GRAUP, G. & STÖFFLER, D.: Petrologische Befunde im Nördlinger Ries. - *Der Aufschluß*, 25/7-8 (= 24. Sonderschr.), 39-48, 1974.
- GREGOR, H.-J.: Die jungtertiären Floren Süddeutschlands - Paläokarpologie, Phytostratigraphie, Paläoökologie, Paläoklimatologie. - 278 S., Stuttgart (Enke) 1982a.
- Die miozäne Flora aus dem Böttinger Thermalsinterkalk - eine Revision. - *Stuttgarter Beitr. Naturk., B*, 88, 1-15, 1982b.
 - Neue Fossilfundstellen in den Molasse-Ablagerungen Süddeutschlands. - *Ber. naturwiss. Ver. Schwaben*, 89, 57-69, 1985.
- GREGOR, H.-J., HOTTENROTT, M., KNOBLOCH, E. & PLANDEROVA, E.: Neue mega- und mikrofloristische Untersuchungen in der jungtertiären Molasse Bayerns. - *Geologica Bavarica*, 94, 281-369, 1989.
- GREGOR, H.-J. & LUTZ, H.: Süßwasserquarzite mit Palmenresten aus dem Miozän von Eggingen (Ulm). - *August-Wetzler-Gedenkband. Molasse-Forschung '84*, 58-61, Günzburg (Historischer Verein Günzburg) 1984.
- GROSCOPF, P. & REIFF, W.: Ergebnisse neuerer Untersuchungen im Steinheimer Becken. - *Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ.*, 121, 155-168, 1966.
- HARDER, H. & FLEHMIG, W.: Quarzsynthese bei tiefen Temperaturen. - *Geochim. Cosmochim. Acta*, 34, 295-305, 1970.
- HEGNER, E. & VENNEMANN, T. W.: Role of fluids in the origin of tertiary european intraplate volcanism: Evidence from O, H, and Sr isotopes in melilites. - *Geology*, 25, 1035-1038, 1997.
- HEGNER, E., WALTER, H. J. & SATIR, M.: Pb-Sr-Nd isotopic compositions and trace element geochemistry of megacrysts and melilites from the tertiary Urach volcanic field: source composition of small volume melts under SW Germany. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 122, 322-335, 1995.
- HEIZMANN, E. P. J., BLOOS, G., BÖTTCHER, R., WERNER, J. & ZIEGLER, R.: Ulm-Westtangente und Ulm-Uniklinik: Zwei neue Wirbeltier-Faunen aus der Unteren

- Süßwassermolasse (Untermiozän) von Ulm (Baden-Württemberg). - Stuttgarter Beitr. Naturk., B, 153, 1-14, 1989.
- HOFMANN, B. & HOFMANN, F.: An impactite horizon in the Upper Freshwater Molasse in Eastern Switzerland: Distal Ries ejecta? - *Eclogae geol. Helv.*, 85, 788-789, 1992.
- HOFMANN, F.: Über die Tertiärbildungen im Kanton Schaffhausen. - *Mitt. naturforsch. Ges. Schaffhausen*, 28, 1-39, 1967.
- Neue Befunde über die westliche Fortsetzung des beckenaxialen Glimmersand-Stromsystems in der Oberen Süßwassermolasse des schweizerischen Vorlandes. - *Eclogae geol. Helv.*, 62/1, 279-284, 1969.
 - Neuere Befunde zur Geologie, zur Lagerstättenkunde und zum historischen Abbau der Bohnerze und Bolustone der Region Schaffhausen (Schweiz). - *Mitt. natf. Ges. Schaffhausen*, 36, 45-82, 1991.
 - Zur plio-pleistozänen Landschaftsgeschichte im Gebiet Hochrhein-Wutach-Randen-Donau: Geomorphologische Überlegungen und sedimentpetrographische Befunde. - *Eclogae geol. Helv.*, 89/3, 1023-1041, 1996.
- HÖLTKE, O.: Die Molluskenfauna der Oberen Meeresmolasse von Ermingen und Ursendorf. - Diplomarbeit, Universität Tübingen, 76 S., 2005.
- HÜTTNER, R.: Bunte Trümmersmassen und Suevit. - *Geologica Bavarica*, 61, 142-200, 1969.
- KELLER, J.: Der jungtertiäre Vulkanismus Südwestdeutschlands; Exkursion im Kaiserstuhl und Hegau. - *Fort. Min., Beih.*, 62/2, 2-35, 1984.
- KIDERLEN, H.: Beiträge zur Stratigraphie und Paläontologie des süddeutschen Tertiärs. - *N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Abt. B*, 66, 215-384, 1931.
- KOCH, R. & SENOWBARI-DARYAN, B.: Die fazielle Entwicklung im Steinbruch Blaubeuren/Altental („Michelreibershalde“; Mittlere Schwäbische Alb, Blautal). Karbonatfazies des Malm epsilon und Riff-Rutschblöcke des Malm zeta 2. - *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F.*, 82, 439-467, 2000.
- KOWALKE, T. & REICHENBACHER, B.: Early Miocene (Ottangian) mollusca of the western Paratethys - ontogenetic strategies an palaeo-environment. - *Geobios*, 38, 609-635, 2005.
- KUHLEMAN, J. & KEMPF, O.: Post-eocene evolution of the North Alpine Foreland Basin and its response to alpine tectonics. - *Sed. Geol.*, 152, 45-78, 2002.
- LAURENZI, M. A., BIGAZZI, G., BALESTRIERI, M. L. & BOUŠKA, V.: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ laser probe dating of the Central European tektite producing impact event. - *Meteoritics Planet. Sci.*, 38, 887-894, 2003.
- LEMCKE, K., VON ENGELHARDT, W. & FÜCHTBAUER, H.: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süddeutschen Alpenvorlandes. - *Beih. geol. Jb.*, 11, VIII + 110 S., 1953.
- LENZ, G.: Zur Geschichte des Kleinen Lautertales (Herrlinger Lauter). - *Mitt. Ver. Naturwiss. u. Math. Ulm*, 25, 283-297, 1957.
- LIPPOLT, H. J., TODT, W. & BARANYI, I.: K-Ar ages of basaltic rocks from the Urach volcanic district, SW-Germany. - *Fort. Min., Beih.*, 50/3, 101-102, 1973.
- LORENZ, V.: Zur Vulkanologie der Tuffschlote der Schwäbischen Alb. - *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F.*, 64, 167-200, 1982.
- LUTZEIER, H.: Beiträge zur Kenntnis der Meeresmolasse in der Ulmer Gegend. - *N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Beil.-Bd.*, 46, 117-180, 1922.
- MAIER, W.: Vergleichende Untersuchungen über die Thermalsinter von Böttingen und Steinheim auf der Schwäbischen Alb, Karlsbad und Vichy. - *Mitt. Ver. Naturwiss. u. Math. Ulm*, 20, 37-79, 1931.

- MANN, U., MARKS, M. & MARKL, G.: Influence of oxygen fugacity on mineral compositions in peralkaline melts: The Katzenbuckel volcano, Southwest Germany. - *Lithos*, 91, 262-285, 2006.
- MAYER, A.: Geologie und Morphologie der Schwäbischen Alb zwischen Laichingen und Blaubeuren. - Dissertation, Universität Tübingen, 31 S., 1934.
- MILLER, K.: Das Tertiär am Hochsträss. - *Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ.*, 27, 272-292, 1871.
- MOOS, A.: Beiträge zur Geologie des Tertiärs im Gebiet zwischen Ulm a. D. und Donauwörth. - *Geol. Jh.*, 37, 167-252, 1925.
- MÜLLER, S. & REIFF, W.: Ein Vorkommen von Oberer Süßwassermolasse bei Heidenheim und seine Bedeutung für die Landschaftsgeschichte. - *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 189, 255-274, 1993.
- NÄGELE, E.: Zur Petrographie und Entstehung des Albsteins. - *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 115, 44-120, 1962.
- NEUMANN, U., METZ, P. & WESTPHAL, F.: Vulkanismus der Schwäbischen Alb. - *Ber. dt. mineral. Ges., Beih. z. Eur. J. Mineral.*, 4/2, 1-37, 1992.
- PAPENFUSS, K. H.: Mineralogisch-petrographische Untersuchungen an den vulkanischen Tuffen im Uracher Vulkangebiet (Schwäbische Alb). - *Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg*, 16, 13-34, 1974.
- PAWELLEK, T. & AIGNER, T.: Stratigraphic architecture and gamma ray logs of deeper ramp carbonates (Upper Jurassic, SW Germany). - *Sedimentary Geology*, 159, 203-240, 2003a.
- Apparently homogenous "reef"-limestones built by high-frequency cycles: Upper Jurassic, SW-Germany. - *Sedimentary Geology*, 159, 259-284, 2003b.
- PAULSEN, S.: Die Geologie des Blattes Ulm-Nordwest (Nr. 7525) 1 : 25 000. - *Arb. Geol. Paläont. Inst. TH Stuttgart, N. F.*, 35, 1-72, 1962.
- REICHENBACHER, B.: Die Fischfauna der Kirchberger Schichten (Unter-Miozän) an der Typuslokalität Illerkirchberg bei Ulm. - *Stuttgarter Beitr. Naturk.*, B, 139, 1-53, 1988.
- Feinstratigraphische Gliederung der Kirchberger Schichten (Unter-Miozän) an der Typuslokalität Illerkirchberg bei Ulm. - *Geologica Bavarica*, 94, 135-177, 1989.
- REIFF, W.: Beiträge zur Geologie des Albuchs und der Heidenheimer Alb. - *Arb. Geol. Paläont. Inst. TH Stuttgart, N. F.*, 17, 1-142, 1958.
- Das Kliff von Heldenfingen und die Klifflinie auf der Heidenheimer Alb. - *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver.*, N. F., 71, 467-482, 1989.
- RÖDEL, C.: Die Geologie des Blattes Blaubeuren (Nr. 7524) 1:25000 und die Nordhälfte des Blattes Böhlingen (Nr. 7523) 1:25000 (Schwäbische Alb). - *Arb. Geol. Paläont. Inst. TH Stuttgart, N. F.*, 15, 1-79, 1958.
- ROLL, A.: Beobachtungen längs der Küste des burdigalen Meeres auf der Schwäbischen Alb. - *Z. dt. geol. Ges.*, 87, 281-307, 1935.
- ROSENDAHL, W., LOPEZ-CORREA, M., GRUNER, C. & MÜLLER, T. (Hrsg.): Der Böttinger Marmor - Bunter Fels aus heißen Quellen. - *Grabenstetter höhlenkdl. H.*, 6, 1-56, 2003.
- RUF, M., LINK, E., PROSS, J. & AIGNER, T.: Integrated sequence stratigraphy: Facies, stable isotope and palynofacies analysis in a deeper epicontinental carbonate ramp (Late Jurassic, SW Germany). - *Sed. Geol.*, 175, 391-414, 2005.
- RUTTE, E.: Der Albstein in der miozänen Molasse Südwestdeutschlands. - *Z. dt. geol. Ges.*, 105, 360-383, 1955.

- SACH, V. J.: Neue Vorkommen von Brockhorizonten in der Oberen Süßwassermolasse von Baden-Württemberg (Deutschland): Zeugnisse der Rieskatastrophe im Mittelmiozän. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 205/3, 323-337, 1997.
- SACH, V. J. & HEIZMANN, E. P. J.: Stratigraphie und Säugetierfaunen der Brackwassermolasse in der Umgebung von Ulm (Südwestdeutschland). - Stuttgarter Beitr. Naturk., B, 310, 1-95, 2001.
- SCHAD, J.: Beitrag zur Kenntnis des Tertiärs am Landgericht und Hochsträß. - Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ., 64, 249-304, 1908.
- SCHERZINGER, A., FRANZ, M., HEIZMANN, E. P. J. & HOFMANN, F.: Neue Spaltenfüllungen aus dem nördlichen Hegau und der Umgebung von Sigmaringen (Westliche Schwäbische Alb). - Stuttgarter Beitr. Naturk., B, 354, 1-45, 2005.
- SCHMIDT, G. & PERNICKA, E.: The determination of platinum group elements (PGE) in target rocks and fall-back material of the Nördlinger Ries impact crater (Germany). - Geochim. Cosmochim. Acta, 58, 5083-5090, 1994.
- SCHMITT, A. K., MARKS, M. A. W., NESBOR, H. D. & MARKL, G.: The onset and origin of differentiated Rhine Graben volcanism based on U-Pb ages and oxygen isotopic composition of zircon. - Eur. J. Mineral., 19, 849-857, 2007.
- SCHULER, G.: Zur Stratigraphie und Lagerung des Tertiärs auf dem Oberen Eselsberg nördlich von Ulm/Donau (Ergebnisse der Baugrunderkundung für den Universitätsneubau). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 55, 159-181, 1973.
- SCHWARZ, H.: Über die Auswürflinge von kristallinen Schiefern und Tiefengesteinen in den Vulkanembryonen der Schwäbischen Alb. - Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ., 61, 227-288, 1905.
- SCHWARZ, W. H. & LIPPOLT, H. J.: Coeval Argon-40/Argon-39 ages of moladavites from the Bohemian and Lusatian strewn fields. - Meteoritics Planet. Sci., 37, 1757-1764, 2002.
- SCHWEIGERT, G. & FRANZ, M.: Die Mergelstetten-Formation, eine neue Gesteinseinheit im Oberjura der östlichen bis mittleren Schwäbischen Alb. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 86, 325-335, 2004.
- SEEGER, M.: Fossile Verwitterungsböden auf der Schwäbischen Alb. - Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 6, 421-459, 1963.
- SHAW, H. F. & WASSERBURG, G. J.: Age and provenance of the target materials for tektites and possible impactites as inferred from Sm-Nd and Rb-Sr systematics. - Earth Planet. Sci. Lett., 60, 155-177, 1982.
- THEN, R., BAIER, J. & WELSCH, T.: Analytische Untersuchungen zur Entstehung der „biogenen Basislage“ an der Basis der Graupensandrinne des Hochsträß (Mittlere Alb, SW-Deutschland). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 84, 355-377, 2002.
- THEWALT, U. & DÖRFNER, G.: Kieselig erhaltene Spicula von Kieselschwämmen aus dem Weissen Jura der Ulmer Gegend - Überblick und Überlegungen zur Diagenese. - Jh. Ges. Naturk. Württ., 160, 85-122, 2004.
- TRNKA, M. & HOUZAR, S.: Moldavites: a review. - Bull. Czech Geol. Survey, 77, 283-302, 2002.
- ULIANOV, A., MÜNTENER, O., ULMER, P. & PETTKE, T.: Entrained macrocryst minerals as a key to the source region of Olivin nephelinites: Humberg, Kaiserstuhl, Germany. - J. Petrol., 48/6, 1079-1118, 2007.
- UNGER, H. J., SCHUBERT, A., MEYER, R. K. F., RISCH, H. & RAST, U.: Die Bohrung Geisenfeld GLA 26 und ihr geologisches Umfeld. - Doc. Nat., 129, 1-29, 1999.
- VENNEMANN, T. & HEGNER, E.: Oxygen, strontium, and neodymium isotope composition of fossil shark teeth as a proxy for the palaeoceanography and palaeocli-

- matology of the Miocene Northern Alpine Paratethys. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 142, 107-121, 1998.
- VILLINGER, E.: Untersuchungen zur Flußgeschichte von Aare-Donau/Alpenrhein und zur Entwicklung des Malm-Karsts in Südwestdeutschland. - *Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg*, 28, 297-362, 1986.
- Zur Flußgeschichte von Rhein und Donau in Südwestdeutschland. - *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F.*, 80, 361-398, 1998.
- WACHUTKA, M. & GEYER, M.: Beiträge zur Geologie im Raum Ehingen (Donau) und Schelklingen am Südrand der Schwäbischen Alb (Baden-Württemberg). - *Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver. N. F.*, 81, 285-306, 1999.
- WAGNER, G.: Junge Krustenbewegungen im Landschaftsbilde Süddeutschlands. - *Erdgeschichtl. u. landeskd. Abh. Schwaben u. Franken*, 10, 1-302, 1929.
- WAGNER, G. H.: Kleintektonische Untersuchungen im Gebiet des Nördlinger Rieses. - *Geol. Jb.*, 81, 519-600, 1964.
- WEDEPOHL, H. & BAUMANN, A.: Central European Cenozoic plume volcanism with OIB characteristics and indications of a lower mantle source. - *Contrib. Mineral. Petrol.*, 136, 225-239, 1999.
- WEISKIRCHNER, W.: Vorläufige Ergebnisse an vulkanischen Produkten der Schwäbischen Alb. - *Fort. Min., Beih.*, 50/1, 104-105, 1972.
- ZÖBELEIN, H. K. & FÜCHTBAUER, H.: Grimmelfinger Schichten (Helvet der Vorlandmolasse) bei Manching und Ingolstadt an der Donau und ihre Beziehungen zur Nachbarschaft. - *Mitt. Bayer. Staatsslg. Paläont. hist. Geol.*, 26, 137-162, 1986.

Geologische Karten

- BECKER-HAUMANN, R.: Geologische Übersichtskarte des Mindel-Lech-Gebietes. - In: BECKER-HAUMANN, R., AKTAS, A. & BRUNNACKER, K.: Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte des Mindel-Lech-Gebietes 1 : 10000. - *Geologica Bavarica*, 106, 109-228, München 2001.
- GEYER, M.: Blatt 7526 Ulm Nord-Ost. - *Geol. Kt. Baden-Württ.* 1 : 25000, 1., vorl. Ausg., Freiburg 1996.
- Blatt 7525 Ulm Nord-West. - *Geol. Kt. Baden-Württ.* 1 : 25000, 2., aktual. vorl. Ausg., Freiburg 1997.
- GEYER, M. & SZENKLER, C.: Blatt 7625 Ulm-Südwest. - *Geol. Kt. Baden-Württ.* 1:25000, 1., vorl. Ausg., Freiburg i. Br. 1996.
- HÜTTNER, R. & SCHMIDT-KALER, H.: Geologische Karte des Rieses. - In: HÜTTNER, R. & SCHMIDT-KALER, H.: Die Geologische Karte des Rieses 1 : 50000 (2., überarb. Aufl.). Erläuterungen zu Erdgeschichte, Bau und Entstehung des Kraters sowie zu den Impaktgesteinen. - *Geologica Bavarica*, 104, 7-76, München 1999.
- MÄUSSNEST, O.: Karte der vulkanischen Vorkommen der Mittleren Schwäbischen Alb und ihres Vorlandes (Schwäbischer Vulkan). - *Geol. Kt. Baden-Württ.* 1 : 100000, Freiburg i. Br. 1978.
- SZENKLER, C., DOPPLER, G. & ELLWANGER, D.: Blatt 7626 Ulm-Südost. - *Geol. Kt. Baden-Württ.* 1:25000, 3., erg. vorl. Ausg., Freiburg i. Br. 2001.

Exkursionsführer

- GEYER, M.: Geologisch-naturkundliche Streifzüge im Raum Ulm. - 48 S., Ulm (BUND & Naturkundliches Bildungszentrum) 2001.
- GEYER, O. F. & GWINNER, M. P.: Die Schwäbische Alb und ihr Vorland. - 4. Aufl., *Samml. geol. Führer* 67, 1-275, 1987.

- GREGOR, H.-J.: Impaktkrater der Süddeutschen Alb - Nördlinger Ries und Steinheimer Becken: ein Führer für Anfänger. - Doc. Nat. SB 21, 1-18, 2003.
- GROSCHOPF, P. & REIFF, W.: Der geologische Wanderweg im Steinheimer Becken. - 4. Aufl., 32 S., Steinheim (Bürgermeisteramt) 1993.
- HÜTTNER, R. & SCHMIDT-KALER, H.: Meteoritenkrater Nördlinger Ries. - 2. Aufl., Wanderungen Erdgesch., 10, 1-160, 2003.
- ROSENDAHL, W., JUNKER, B., MEGERELE, A. & VOGT, J. (Hrsg.): Schwäbische Alb. - Wanderungen Erdgesch., 18, 1-158, 2006.
- ROSER, W. & MAUCH, J.: Der Schwäbische Vulkan. - 157 S., Kirchheim (GO Druck Media Verlag) 2003.

Tafelerklärungen

Tafel 1

Abb. 1: Boluston-Handstück mit Bohnerz aus dem ehemaligen Steinbruch bei Arnegg (R: 3564430, H: 5363620): Die charakteristische rote Farbe rührt von Hämatit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) her. - Breite des Handstücks: 12 cm.

Abb. 2: Anschliff eines Boluston-Handstücks mit einzelnen Bohnerzkügelchen. Das Handstück stammt aus dem Steinbruch Herrlingen (R: 3566875, H: 5365550). - Breite des Handstücks: 14 cm.

Abb. 3: Steinbruch Kleines Lautertal (R: 3565750, H: 5366775): Man erkennt sehr deutlich die markante Erosionsdiskordanz zwischen den massigen oberjurassischen und geschichteten untermiozänen Ulm-Schichten im oberen Bereich des Steinbruchs.

Abb. 4: Eine mehrere millimetermächtige „kohlige“ Zwischenlage in den tUS-Ablagerungen des Oberen Eselsbergs: Die Schichtlage ist durch mikrobiologischen Abbau von fossilen Vegetationsrelikten entstanden (THEN et al. 2002) und lässt sich als schlammige Ablagerungen eines humosen Sees deuten (aus THEN et al. 2002).

Abb. 5: tUS-Mergel mit Schneckenschalen vom Oberen Eselsberg. - Breite des Handstücks: 12 cm.

Abb. 6: tUS-Kalk vom Safranberg: Ein Teil der Komponenten ist mit onkoidartigen Umkrustungen umgeben. Als Bildungsmilieu darf man einen flachen See mit mäßig strömenden Wasser annehmen. - Länge des Fundstücks: 11 cm.

Abb. 7: Das Kliff von Heldenfingen (R: 357926, H: 536800).

Abb. 8: Bohrmuschelkalk vom Oberen Eselsberg: Der Kalk selbst stammt aus der Zeit der untermiozänen Ulm-Schichten (tUS) und wurde zur Zeit der tOM von Bohrmuscheln durchbohrt. - Breite des Fundstücks: 15 cm.

Tafel 1



1



2



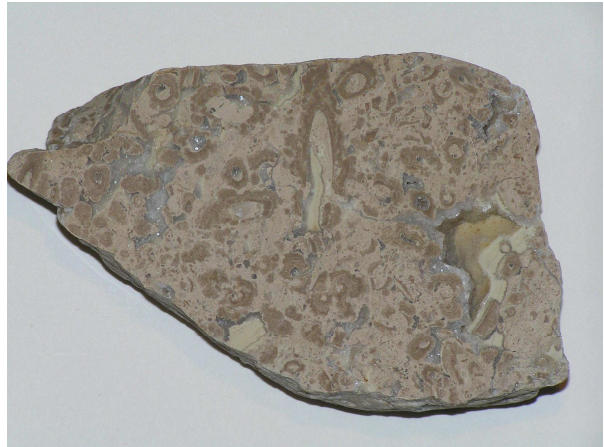
3



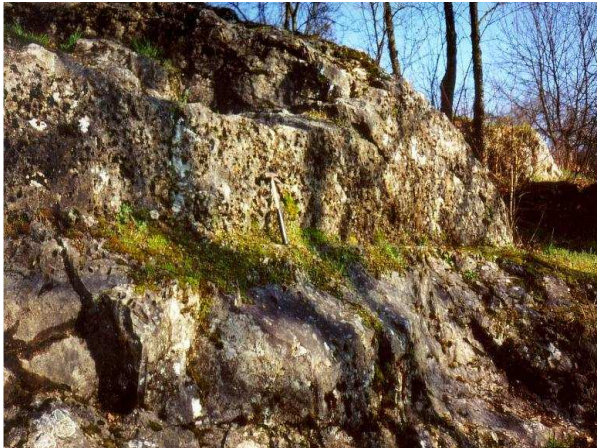
4



5



6



7



8

Tafel 2

Abb. 1: „Erminger Turritellenplatte“ (R: 3566190, H: 5361200): Das Stück enthält mehrere Exemplare der namensgebenden Turmschnecke *Turritella turris* BASTEROT.

Abb. 2: Sandgrube Mittelhart (R: 3563440, H: 5357640): In der Grube werden die miozänen Ablagerungen der Grimmelfingen-Schichten (resp. Gaupensand) abgebaut, die dort eine Mächtigkeit von rund 20 m erreichen.

Abb. 3: Sandgrube Mittelhart (R: 3563440, H: 5357640): In der angeschnittenen Wand kann man die Schichtung der einzelnen Lagen erkennen.

Abb. 4: Sandgrube Breitenlauh (R: 3558780, H: 5354630): Die „biogene Basislage“ (sensu THEN et al. 2002) liegt auf den Kalken der tUS auf und wird von den ästuarin geprägten Grimmelfingen-Schichten überlagert (aus THEN et al. 2002).

Abb. 5: Süßwasserquarzit mit Schilffresten: Der Fund stammt aus der Sandgrube Erdbeerhecke (R: 3564480, H: 5358050) und wurde oberhalb der „biogenen Basislage“ (sensu THEN et al. 2002) gemacht (aus BAIER 2005). - Bildbreite: 5 cm.

Abb. 6: Tonige Schilllage aus den Kirchberg-Schichten der ehemaligen Sandgrube SCHWER (R: 3564800, H: 5358340): Im Fundstück sind zahlreiche Schalenreste der Muschel *Cardium sociale* KRAUSS vertreten. - Breite des Fundstücks: 10 cm.

Abb. 7: Verkieseltes Wurzelstück (?) aus den Kirchberg-Schichten der Sandgrube Mittelhart (R: 3563440, H: 5357640). - Breite des Fundstücks: 20 cm

Abb. 8: Ein Handstück aus dem unteren Brockhorizont des Tobels Oelhalde-Nord (R: 3562050, H: 5322800). - Die Bildbreite beträgt 8,5 cm.

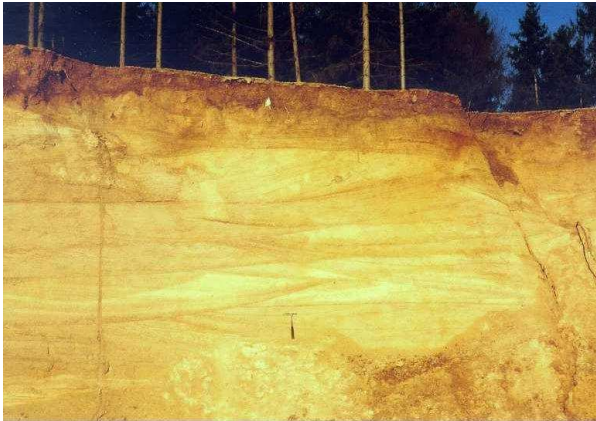
Tafel 2



1



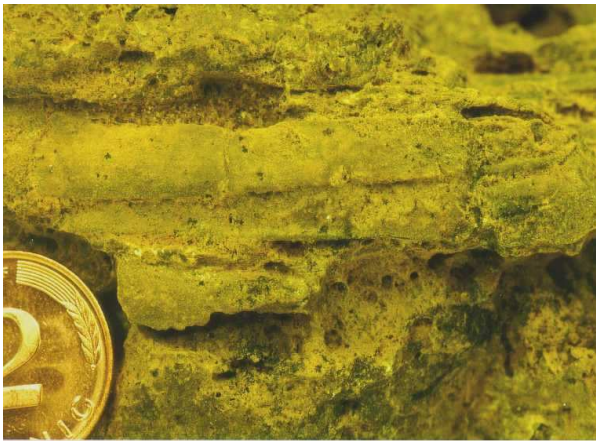
2



3



4



5



6



7



8

Tafel 3

Abb. 1: Tuffschlot an der Neuffener Steige (R: 3530150, H: 5377950): In diesem Aufschluß ist der Kontakt zwischen einem Tuffschlot und dem oberjurassischen Nebengestein beispielhaft aufgeschlossen (vgl. CLOOS 1941).

Abb. 2: Vulkanische Bombe aus dem Aufschluß Götzenbühl (R: 3534050, H: 5384600). - Länge der Bombe: 13 cm.

Abb. 3: Tuff-Handstück aus dem Schlot der Neuffener Steige (R: 3530150, H: 5377950).

Abb. 4: Vulkanischer Tuff aus dem Aufschluß Götzenbühl (R: 3534050, H: 5384600). - Breite des Handstücks: 10 cm.

Abb. 5: „Böttinger Marmor“ (R: 3540750, H: 5364420) im Anschliff. Man kann die Bänderung gut erkennen.

Tafel 3



1



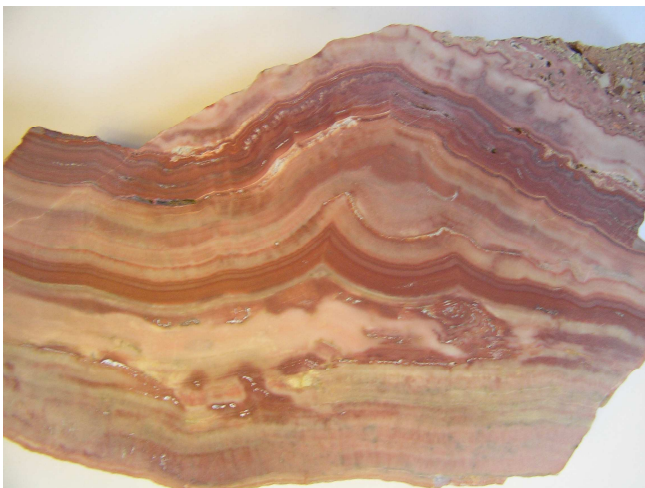
2



3



4



5

Tafel 4

Abb. 1: Ein Suevit-Handstück (Suevitbruch Seelbronn; R: 3608145, H: 5300850). Die Bildbreite beträgt 8,5 cm.

Abb. 2: Flädle aus dem Suevitbruch Seelbronn (R: 3608145, H: 5300850).

Abb. 3: Wurmformige Pyroxenkristalle in einer stark entglasten Glasbombe aus dem Suevitbruch Seelbronn (R: 3608145, H: 5400850); Balkenlänge: 50 µm.

Abb. 4: Ein Impaktschmelzfluss-Handstück (Polsinger Aufschluß; R: 4405250, H: 5420800). Das Handstück ist 11 cm lang.

Abb. 5: Ein Handstück mit dichter Zerklüftung und Mörtelstruktur (Aufschluß E von Iggenhausen; R: 3601560, H: 5399520). Das Handstück ist 13 cm lang.

Abb. 6: Ein tropfenförmiger Moldavit aus Besednice, Südböhmen. - Länge des Moldavits: 7,5 cm.

Abb. 7: Strahlenkalk („shatter cone“) aus dem Steinheimer Becken: Ein makroskopischer Beleg für den Meteoriteneinschlag. - Bildbreite: 13 cm.

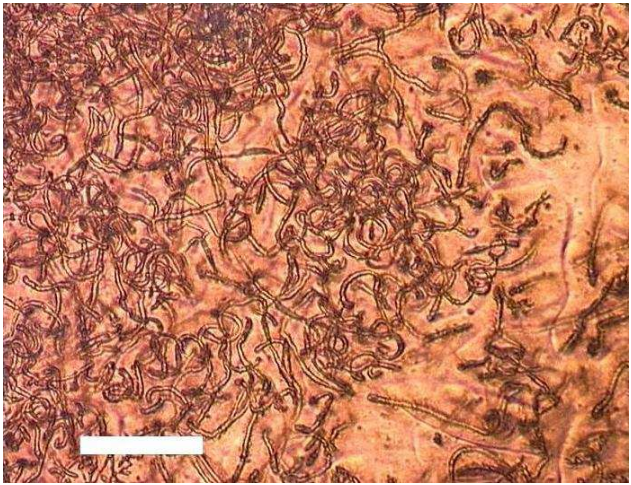
Tafel 4



1



2



3



4



5



6



7