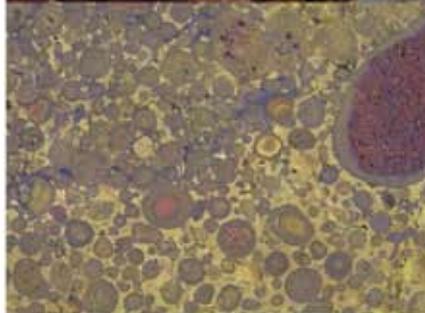


 **documenta**
n a t u r a e | n o . 1 7 3

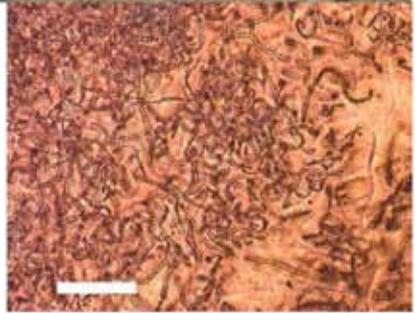
München 2009



**Die Geologie des
Ulmer Raums**



**Johannes
Baier**



DOCUMENTA NATURAE

Nr. 173

2009

ISBN-13: 978-3-86544-173-7

ISSN 0723-8428

ISBN-10: 3-86544-173-4

**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

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 2009 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: diverse Bilder zur Geologie von Ulm

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

München 2009

Die Geologie des Ulmer Raums

JOHANNES BAIER¹

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wird die Geologie des Ulmer Raums (SW-Deutschland) vorgestellt, die sich vereinfacht wie folgt aufbaut: Die oberjurassischen Kalke der Mittleren Schwäbischen Alb werden zum Teil von tertiären Ablagerungen der nordalpinen Molassebeckens überlagert. Südlich der Donau werden diese von glazialen Sedimenten überlagert.

Die oberjurassischen Kalke werden im ersten Kapitel vorgestellt (Biostratigraphie, Fazies, Mineralogie). Nachdem sich das Jurameer zurückgezogen hatte, setzte eine intensive chemische Verwitterung unter tropischen Bedingungen ein (Kreide und Alttertiär) und entfernte die anstehenden oberjurassischen Gesteine (überwiegend Gesteine aus dem Tithonium sowie des Ober-Kimmeridgium). Die roten Bolustone und Bohnerze stellen bekannte Relikte aus dieser Zeit dar.

Im Oligozän und Miozän wurden im Ulmer Raum Sedimente des nordalpinen Molassebeckens abgelagert, die sich in folgende Schichtpakete untergliedern lassen: Untere Süßwassermolasse (tUS), Obere Meeresmolasse (tOM; z. B. Erminger Turritellenplatte), Brackwassermolasse (tBM; z. B. Grimmelfingen Schichten) und Obere Süßwassermolasse (tOS).

Das Mittlere Miozän ist darüber hinaus durch die vulkanischen Aktivitäten des Uracher Vulkangebiets (z. B. phreato-magmatische Tuffe, Olivinmelilithite, „Böttinger Marmor“) sowie der beiden Impakts auf der Ostalb (Nördlinger Ries Impakt-Krater und Steinheimer Becken) geprägt.

Nachdem die Molassesedimente abgelagert waren, tiefte sich die Donau mit ihren Nebenflüssen in die anstehenden Sedimente ein und verursachte eine tiefreichende Verkarstung (besonders während des späten Tertiärs und frühen Pleistozäns). Spaltenfüllungen stellen eine wichtige Informationsquelle für die Landschaftsgeschichte dar.

Abstract

This paper gives a short review about the geology of the area around Ulm (SW-Germany) which can be structured in a simplified version as follows: The Upper Jurassic limestone strata of Central Swabian Alb are partly overlain by Tertiary sediments of North Alpine Foreland Basin (NAFB). South of the Danube river the Tertiary Molasse sediments are overlain by glacial deposits.

The Upper Jurassic limestones (Upper Kimmeridgian) are presented in the first chapter (biostratigraphy, facies, mineralogy). After Jurassic sea regression an intensive chemical dissolution process took place under tropical conditions (Cretaceous and Paleogene) and removed Upper Jurassic bedrocks (in first line Tithonian and Upper Kimmeridgian). Reddish kaolinitic clays („Boluston“) and pisolithic iron ore („Bohnerz“) are famous relicts of this time.

During Oligocene and Miocene sediments of North Alpine Foreland Basin (NAFB) were deposited in the area of Ulm. These deposits can be subdivided into sediments of Lower Freshwater Molasse (tUS), Upper Marine Molasse (tOM; e.g. Turritellenplatte of Ermingen), Brackish Molasse (tBM; e.g. Grimmelfingen beds) and Upper Freshwater Molasse (tOS).

The Middle Miocene is also characterised by volcanic activities in the Urach volcanic field (e.g. phreato-magmatic melilititic tuffs, olivine melilititic magmas, calcareous sinter of Böttingen) and two impacts on the Eastern part of Swabian Alb (Ries impact crater and Steinheim basin).

After deposition of Molasse sediments the Danube and its tributaries cut stepwise into the bedrocks and preceded Danubian karstification (essentially in the late Tertiary and early Pleistocene). Karst fissure fillings are an important source of information for the landscape development.

¹ **Anschrift des Verfassers:**

Dr. JOHANNES BAIER
Heinrichsweg 7
D-72074 Tübingen

Inhalt	Seite
Zusammenfassung	1
Abstract.....	1
1. Einführung	3
2. Oberjura (Malm).....	3
2.1 Biostratigraphie	4
2.2 Fazies	5
2.3 Mineralogische Aspekte	7
2.4 Der Rückzug des Jurameers	8
3. Bohnerz-Formation	8
3.1 Bolustone.....	8
3.2 Bohnerz	8
4. Molasse	10
4.1 Untere Süßwassermolasse (tUS)	10
4.2 Obere Meeresmolasse (tOM)	11
4.3 Brackwassermolasse (tBM)	13
4.4 Obere Süßwassermolasse (tOS).....	15
5. Schwäbischer Vulkan	16
6. Impaktkrater	17
6.1 Nördlinger Ries	17
6.2 Steinheimer Becken.....	19
7. Die Zeit nach der Molasse.....	20
Literatur.....	22



Abb. 1: Gedenktafel an ERNST GUSTAV LEUBE

1. Einführung

Die südwestdeutsche Geologie kann auf eine lange Forschertradition zurückblicken. Sie begann im Wesentlichen mit dem Tübinger Geologen FRIEDRICH AUGUST QUENSTEDT (1809-1889; vgl. HÖLDER 1977). Durch ihn und seine Schüler wurde das damalige Königreich Württemberg systematisch erforscht. Viele Details wurden im Laufe der Zeit hinzugefügt und manche Modelle bedurften einer Revision.

Da die Erforschung des Ulmer Raums bis heute noch nicht abgeschlossen ist, soll in der vorliegenden Abhandlung dem Leser die gegenwärtige Vorstellung präsentiert werden. Dabei mußte auch die Geologie der weiteren Umgebung mit einbezogen werden, da ohne deren Kenntnis viele Fragen offen bleiben müssten.

Im Ulmer Raum treffen zwei geologische Großeinheiten aufeinander: die Schwäbische Alb und das nordalpine Molassebecken. Diese beiden Einheiten werden - soweit sie im Ulmer Raum anstehen - in den folgenden Kapiteln vorgestellt (Tab. 1).

Mit der Thermalwasserbohrung „Donautherme Neu-Ulm“ (R: 3573101, H: 5361248) wurde auch ein Einblick in den tieferen Untergrund des Ulmer Raumes ermöglicht (FRANZ et al. 2001), auf den hier aber nicht näher eingegangen werden soll.

Chronostratigraphische Einheiten		Ulmer Raum
Quartär	Holozän	
	Pleistozän	
Tertiär	Pliozän	Ur-Donau
	Miozän	Molasse
	Oligozän	
	Eozän	Bohnerz-Formation
	Paläozän	
Kreide		
Jura	Tithonium	Schwäbische Alb
	Kimmeridgium	
	Oxfordium	

Tab. 1: „Zeitsäule“ der im Ulmer Raum vorkommenden Ablagerungen.

2. Oberjura (Malm)

Mit dem Ulmer Apotheker ERNST GUSTAV LEUBE (1808-1881) wurde die deutsche Zementindustrie begründet, deren Auswirkungen noch heute zu sehen sind. Mehrere Steinbrüche prägen bis in unsere Zeit das Landschaftsbild des Ulmer Raums, in denen hochreine Kalke und Mergel des Oberjuras (Malm) abgebaut werden. Die aus den oberjurassischen Mergeln gewonnenen Roman- und Portland-Zemente fanden schon frühzeitig Anwendung in zahlreichen Bereichen (vgl. Gebrüder LEUBE 1880). Eine Gedenktafel am Portal der ehemaligen Kronenapotheke (Kronengasse 5) erinnert noch heute an diesen Ulmer Pionier (Abb. 1).

Als die oberjurassischen Ablagerungen - die im Ulmer Raum abgebaut werden - gebildet wurden, befand sich in unserem Raum ein Schelfmeer, welches nach S in

das damalige Weltmeer (Tethys) übergang. Nach N hin war es vom borealen Nordmeer durch einen Inselbereich getrennt (u. a. MEYER & SCHMIDT-KALER 1990, BLOOS 1998, SCOTESE 2004). Die oberjurassischen 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. PISERA 1997, PITTET & STRASSER 1998, KOCH & SENOWBARI-DARYAN 2000, BAIER & SCHWEIGERT 2001, PAWELLEK & AIGNER 2003a, 2003b, KRIWET & KLUG 2004, SCHWEIGERT & FRANZ 2004, THEWALT & DÖRFNER 2004, RUF et al. 2005, SCHMID et al. 2005), wobei mehrere Detailfragen bis heute ungeklärt geblieben sind. In den folgenden drei Kapiteln sollen die Biostratigraphie, die auftretenden Faziestypen sowie ein paar mineralogische Besonderheiten vorgestellt werden.

2.1 Biostratigraphie

Die paläontologische Bedeutung der Schwäbischen Alb ist nicht nur durch die frühe akribische Bearbeitung durch FRIEDRICH AUGUST QUENSTEDT (1809-1889) sowie seines Schülers ALBERT OPPEL (1831-1865) bedingt, sondern auch in ihrer damaligen besonderen paläogeographischen Lage zur Jurazeit, die dieses Gebiet zwischen zwei markanten Faunenprovinzen hatte. Die auftretende Mischfauna mit subborealen und submediterranen Faunenelementen erlaubt weitreichende Korrelationsmöglichkeiten mit anderen Regionen (u. a. HÖLDER & ZIEGLER 1959, GEYER 1969, SCHWEIGERT 1993b, BAIER & SCHWEIGERT 2001, ZEISS 2003, SCHWEIGERT & VALLON 2005, SCHERZINGER & MITTA 2006), die sonst nicht möglich wären.

Die ältesten Schichten, die im Ulmer Raum aufgeschlossen sind, stellen die Ablagerungen der Unteren Felsenkalk-Formation, Pseudomutabilis-Zone (sensu BAIER & SCHWEIGERT 2001; Tab. 2) des Ober-Kimmeridgiums dar (vgl. GEYER & GWINNER 1961, 1997, PAULSEN 1962), deren feinstratigraphische Bearbeitung noch aussteht. Zu den wichtigsten Ammonitenarten der Zone gehören *Aulacostephanus pseudomutabilis* (LORIOLE) sowie *Aulacostephanus eudoxus* (D'ORBIGNY).

Die folgende Beckeri-Zone ist nach dem Leitfossil *Hybonoticeras beckeri* (NEUMAYR) benannt. Sie beginnt mit der Subeumela-Subzone. *Sutneria pedinopleura* SEEGER *Sutneria subeumela* SCHNEID, sowie *Aulacostephanus yo* (D'ORBIGNY) sind für diese Subzone charakteristisch. Für die folgende Setatum-Subzone ist *Virgataxioceras setatum* (SCHNEID) (Taf. 1/1) namensgebend. Die Beckeri-Zone endet mit der Ulmense-Subzone, die nach dem Leitfossil *Lithacoceras ulmense* (OPPEL) benannt wurde (u. a. SCHWEIGERT & ZEISS 1999). Die wechselvolle Geschichte des von OPPEL beschriebenen Lectotypus wurde von HÖLDER (1961) sowie von SCHAIRER (1976) in eigenen Arbeiten behandelt. Zu den typischen Ammonitenarten dieser Subzone gehören u. a. *Lithacoceras ulmense* (OPPEL), *Ochetoceras zio* (OPPEL), *Metahaploceras wepferi* (BERCKHEMER), *Glochiceras politulum* (QUENSTEDT), *Silicisphinctes hoelderi* (SAPUNOV), *Silicisphinctes keratinitiforme* SCHWEIGERT, *Silicisphinctes russi* SCHWEIGERT, *Lithacoceras fasciferum* (NEUMAYR), *Lithacoceras hillebrandti* SCHWEIGERT & ZEISS, *Physodoceras nattheimense* SCHWEIGERT, *Sutneria rebholzii* BERCKHEMER und *Gravesia irius* (D'ORBIGNY).

Jüngere oberjurassische Schichten lassen sich nur noch rudimentär im Bereich der Mittleren Schwäbischen nachweisen (u. a. SCHWEIGERT 1996b).

Stufe	Zone	Subzone	Faunenhorizont
Kimmeridgium	Beckeri	Ulmense	eigeltingense
			rebouletianum
			hoelderi
			zio-wepferi β
			zio-wepferi a
		Setatum	siliceus
			uracensis
			ornatum
			supinum
			minutum
		Subeumela	fischeri
			subsicens
	kiderleni		
	pedinopleura		
	Pseudomutabilis	Pseudomutabilis	semicostatum

Tab. 2: Biostratigraphische Gliederung des Ulmer Malms. Die Pseudomutabilis-Zone (sensu BAIER & SCHWEIGERT 2001) ist bislang noch nicht im Detail untersucht. - T.: Tithonium-Stufe; H.: Hybnotum-Zone.

2.2 Fazies

Die in unserem Raum auftretenden Lithofazies-Typen wurden von PAWELLEK & AIGNER (2002) in einem Faziesatlas zusammengestellt. In der vorliegenden Abhandlung soll die grobe (klassische) Aufteilung in Massen- und Bankkalke genügen, wie sie häufig bei Kartierungen Verwendung findet (u. a. SELG & WAGENPLAST 1990, REINHOLD 1996, GIESE & WERNER 1997, SCHAUER 1998). Es sei an dieser Stelle jedoch angedeutet, dass sich der Aufbau der Massenkalkfazies sehr komplex gestaltet und sehr heterogen zusammengesetzt sein kann (vgl. PAWELLEK & AIGNER 2002, dort weitere Literaturangaben). Die Bankkalke, die sich mit den Massenkalken verzahnen, können anhand von Ammonitenfunden biostratigraphisch zugeordnet werden. Im Ulmer Raum stehen im Wesentlichen die sogenannte Obere Felsenkalk-Formation (ki3) sowie die Mergelstetten-Formation (kiME) an, die beide stratigraphisch ins Ober-Kimmeridgium gestellt werden. Die oberen beiden Subzonen der Beckeri-Zone (Subeumela- und Setatum-Subzone) entsprechen hierbei der Oberen Felsenkalk-Formation, wohingegen die Ulmense-Subzone der Mergelstetten-Formation

entspricht. Aufgrund der relativ seltenen Ammonitenfunde ist jedoch oftmals eine genaue Grenzziehung zwischen diesen beiden Schichtpaketen in den Steinbrüchen nicht möglich. Von SCHWEIGERT & FRANZ wurde damals die Bezeichnung Mergelstetten-Formation eingeführt, da sich gezeigt hat, dass sich in unserem Raum die Liegende Bankkalk-Formation sowie die Zementmergel-Formation zeitlich überlappen bzw. teilweise vertreten können, was zu Fehlinterpretationen führte (vgl. SCHWEIGERT & FRANZ 2004). Die Mergelstetten-Formation entspricht biostratigraphisch der *Ulmense*-Subzone.

Im Übergangsbereich zwischen Massen- und Bankkalken treten oftmals in den Steinbrüchen Bereiche auf, in denen Kieselknollen zahlreich vertreten sind. Diese können dort sowohl schichtparallel als auch regellos im Profil verteilt sein (vgl. BEURER 1971, BAIER 2003). Die Kieselsäure, die für die Bildung der Kieselknollen benötigt wurde, wird als aufgelöste Skelettsubstanz von Kieselchwämmen interpretiert, die heute calcitisch in den oberjurassischen Ablagerungen vorliegen (u. a. BEURER 1971, REINHOLD 1996).

Mit der Mergelstetten-Formation verzahnen sich lokal die bei den Sammlern begehrten Korallenkalke (Bioherme und Biostrome), deren Fauna durch LAUXMANN (1991) eine Revision erfahren hat. Die auftretenden Korallen (Taf. 1/2) belegen warme, flachmarine Bedingungen mit gleichzeitig vorherrschender Sedimentationsarmut. Mit den Korallenkalken verzahnen sich die Riffschuttbänke, die oftmals als Schuttfahnen in die lagunäre Fazies hineinreichen. Nach NAGEL & LAUXMANN (1990: 625) reicht die mikrofazielle Spannweite des Riffschutts von rudstones über grain- bis wackstones zu mudstones (Bezeichnungen nach der DUNHAM-Klassifikation; DUNHAM 1962). Berühmte Vorkommen stellen die verkieselten Korallen von Gerstetten und Nattheim dar, die man heute in zahlreichen Museen bewundern kann. Auf dem Hochsträß befindet sich ein bekanntes Korallen-Vorkommen im aufgelassenen Steinbruch SW Arnegg (R: 3564430, H: 5363620), welches von PAULSEN (1964) in einer eigenen Arbeit gewürdigt wurde.

In diese Zeit fällt auch die Bildung des Brenztaltrümmerkalks (Taf. 1/3), der auf der Ostalb lokal ansteht. Der aufgelassene Steinbruch am Moldenberg (R: 3586825, H: 5396400, Taf. 1/4) SE von Schnaitheim sowie der aufgelassene Steinbruch an der Hirschhalde (R: 3584750, H: 5397500) W von Schnaitheim stellen altbekannte Fundlokalitäten dar, die in der Literatur oft erwähnt werden. Im Dünnschliff lassen sich im Gestein die zahlreichen Komponenten (u. a. Fossiltrümmer, Pelloide, Ooide) gut erkennen, die in einer mikritischen Matrix eingebettet sind. Die geringen Abrollungsspuren an den Fossiltrümmern lassen auf eine nicht allzu ferne Herkunft des Materials schließen. Mehrere Indizien legen die Vermutung nahe, dass das Trümmermaterial (u. a. Echinodermentrümmer und Fragmente von Brachiopodenschalen) durch flachmarine Strömungen von S oder SW herangespült wurde (REIFF 1958). Die auftretenden Ooide wurden unter erhöhter Wasserenergie im küstennahen Raum gebildet. Durch die Ammonitenfunde von *Gravesia irius* (D'ORBIGNY) und *Aulacostephanus* cf. *subundorae* (PAVLOW) ist die stratigraphische Stellung des Brenztaltrümmerkalks ins Ober-Kimmeridgium belegt (SCHWEIGERT 1993a, SCHWEIGERT & VALLON 2005). Der Trümmerkalk war lange Zeit als Baumaterial begehrt, was sich in den zahlreichen (aufgelassenen) Steinbrüchen widerspiegelt. Kleinere oolithische Vorkommen sind auch aus dem Bereich der Mittleren Alb (u. a. Bermaringen, Wippingen, Oberstotzingen) beschrieben worden (u. a. SCHMIERER 1902, ENGEL 1908, JOOS 1948, GEYER 1953).

Auf dem Gebiet der Westalb stellt der Hattinger Trümmerkalk eine analoge Bildung des Brenztaltrümmerkalks dar, der nach S in die „Rauhen Kalke“ übergeht. Im Falle dieses Trümmerkalks werden flachmarine Strömungen von einer nicht allzu fernen Küste im N angenommen (SCHWEIGERT 1996b, SCHREINER 1961, 2008). Der im Ulmer Stadtgebiet nur wenige Meter mächtig ausgebildete Örlinger Trümmerkalk ähnelt diesen

Rauhen Kalken des Hegaus. Allerdings darf hieraus noch nicht auf eine Isochronie geschlossen werden, was (bislang fehlende) biostatigraphische Funde noch betätigen müssen. Das Örlinger Vorkommen zeichnet sich teilweise durch zahlreiche Fossilreste (Echinodermen, Brachiopoden) aus.

2.3 Mineralogische Aspekte

Weite Bereiche der Schwäbischen Alb liegen heute dolomitisert vor. Die Dolomit-Bildung selbst ist bis heute nicht vollständig verstanden. Aus diesem Grunde ist das allgemeine Phänomen, welches auch andere Regionen betrifft, als „Dolomitproblem“ in die Carbonatsedimentologie eingegangen. Die zahlreichen Bildungsmodelle, die das Dolomitproblem betreffen, wurden in den Werken von ZENGER et al. (1980) und PURSER et al. (1994) zusammengetragen. Von den meisten Bearbeitern der Schwäbischen Alb wird eine frühdiagenetisch bis versenkungsdiagenetische Dolomit-Bildung oder eine Mischwasserdolomitisierung postuliert (u. a. LANG 1964, WIRSING 1988, MEDER 1989, SELG & WAGENPLAST 1990, LIEDMANN & KOCH 1990, REINHOLD 1996, 1998, GIESE & WERNER 1997, SCHAUER 1998). Im früh- bis versenkungsdiagenetischen Modell soll durch (bakterielle?) Zersetzung organischen Materials die Dolomitbildung induziert worden sein. Dabei soll die Erhöhung des pH-Werts (NH_3 -Bildung aus biogenem Material) und die damit verbundene Zunahme der Carbonatkonzentration die Dolomitisierung begünstigen. Dieses „biogene“ Modell wird durch die Beobachtung gestärkt, dass die „Dolomit-Zuckerkorn-Fazies“ (sensu LANG 1964) an das Auftreten von schwammreichen Massenkalken (Schwamm-Mikroben-Bioherme) gekoppelt ist (u. a. SELG & WAGENPLAST 1990, SCHAUER 1998), an deren Aufbau Kieselschwämme massgeblich beteiligt waren (WERNER et al. 1994, LEINENFELDER et al. 1996).

Von QUENSTEDT (1872: 19) wurde erstmalig im Bereich der Mittleren Schwäbischen Alb ein Vorkommen von Schwarzem Calcit (Taf. 1/5) erwähnt, welches E von Böttlingen (an der Strasse nach Magolsheim) ansteht. Im Laufe der Zeit wurden weitere Vorkommen entdeckt (u. a. ENGEL 1908, HILLER 1962). Schwarzer Calcit war zeitweilig auch in den unteren Bereichen des Steinbruchs Kleines Lautertal (R: 3565750, H: 5366775) aufgeschlossen. Die Farbe des Gesteins rührt von feinverteilten Mangan(IV)-Oxoverbindungen her, die röntgenographisch als Todorokit, Kryptomelan, Hollandit sowie Lithiophorit identifiziert werden konnten (THEWALT 2000). Obwohl die Bildung bis heute nicht geklärt ist, kann eine postjurassische Bildung für dieses Vorkommen angenommen werden. Hierfür sprechen die Beobachtungen, dass der Schwarze Calcit sowohl im Bereich der Zuckerkorn-Fazies vorkommt als auch die abrupten Übergänge zum umgrenzenden zuckerkörnigen Kalk. Ebenso unterstützen die beige Tonsteine, die im gleichen Bereich angetroffen wurden, diese Deutung. Die beige Tonsteine selbst erinnern an tertiäre Tonbildungen, was eine tertiäre Bildung des Schwarzen Calcits vermuten lässt. Die Herkunft des farbgebenden Mangans ist nach wie vor nicht geklärt.

Autochthone Bergkristalle (SiO_2) kommen auch vereinzelt in den oberjurassischen Ablagerungen als Drusenmineral vor (Taf. 1/6), was schon seit langem bekannt ist (u. a. QUENSTEDT 1872, ENGEL 1908). In einem Falle konnten im Steinbruch Schammental (R: 3568940, H: 5366080) in den herausgelösten Kammern eines Ammoniten-Phragmokons (*Aulacostephanus yo* [D'ORBIGNY]), der sich in einer Kalk-Kieselknolle befand, Bergkristall-Doppelender nachgewiesen werden (vgl. BAIER & SCHWEIGERT 2001), die eine maximale Länge von 3 mm erreichen. Für diese idiomorphen Bergkristalle wird eine synsedimentäre bis frühdiagenetische Bildung unter nicht-hydrothermalen Bedingungen mit dem Transport- und Akkumulationsprinzip von LANDMESSER (1995, 1998) angenommen (BAIER 2003).

In den Steinbrüchen fallen immer wieder gräuliche Bereiche auf, die mehrere Meter im Durchmesser erreichen können. Die charakteristische Farbe rührt von feinverteilten Eisendisulfiden (FeS_2) her. Vereinzelt lassen sich die goldlich glänzenden Pyritkristalle mit bloßem Auge erkennen (Taf. 1/7). Sowohl das zweiwertige Eisen (Fe^{2+}) als auch das Disulfidanion (S_2^{2-}) belegen, dass lokal eine niedrige O_2 -Fugazität ($f\text{O}_2$) im damaligen Ablagerungsmilieu vorherrschte. Das vorhandene Disulfid ist wahrscheinlich aus einer Reduktion von Sulfat (SO_4^{2-}) hervorgegangen, welches im damaligen Meerwasser in großen Mengen vorhanden war.

2.4 Der Rückzug des Jurameers

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 Sedimenten (Molasse) überlagert und vor weiterer Abtragung geschützt wurden.

3. Bohnerz-Formation

Die Bohnerz-Formation (tBO) ist in unserem Raum auf Spaltenfüllungen beschränkt. Hierbei stellen die Bolustone sowie das sogenannte Bohnerz die wichtigsten Erscheinungsformen dar (Taf. 1/8). 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).

3.1 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. Derartige Kristalle werden demnach als ein Fällungsprodukt gedeutet, das während der lateritischen Verwitterung entstand (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).

3.2 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).

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 (Taf. 2/1) 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 (Abb. 2). 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).

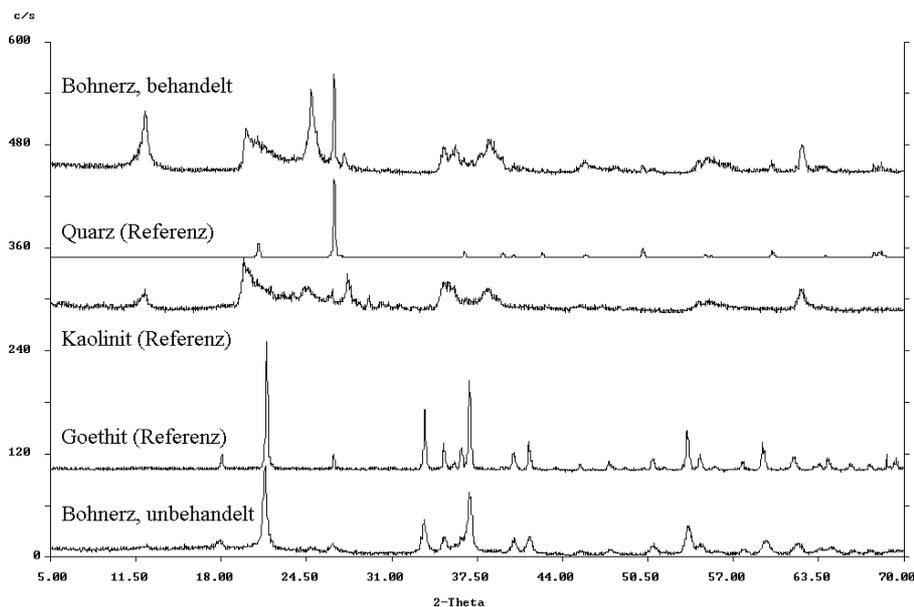


Abb. 2: Pulverdiffraktogramm von Bohnerz vor und nach einem Salzsäure-Aufschluss (aus BAIER 1999).

4. 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 (Tab. 3).

Paratethys-Stufen	Molasse-Lithostratigraphie	
Badenium	tOS	
Karpatium		
Ottningium	tBM	Kirchberg Schichten
		Grimmelfingen Schichten
Eggenburgium	tOM	Erminger Turritellenplatte
		Ulmer Schichten
Egerium	tUM	Ehingen Schichten

Tab. 3: Stratigraphische Tabelle der Ulmer Molasse.

4.1 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. 2/2). Man kann diesen abrupten Übergang zwischen den beiden Ablagerungen in verschiedenen Steinbrüchen im Bereich des Blautals aufge-

schlossen 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 Wippingen - 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. 2/3-5): 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. 2/3).

Im Ulmer Stadtgebiet (Ulm-Westtangente, Ulm-Uniklinik) wurde für die Zeit der Ulm-Schichten 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).

4.2 Obere Meeresmolasse (tOM)

Zur Zeit der Oberen Meeresmolasse (tOM) kam es zu einer Meeresstransgression, bei der weite Bereiche des nordalpinen Molassebeckens überflutet wurden (KUHLEMANN & KEMPF 2002). Dabei wurden 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 Alheim nach Heldenfingen verläuft (LUTZEIER 1922, ROLL 1935, GLASER 1964). Bei Heldenfingen ist das Kliff noch heute aufgeschlossen (Taf. 2/6) 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. Das Napf- und das Hörnli-Delta bildeten hierbei die Hauptschutfächer, 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 2008a). Diese nach Südwesten

gerichteten Schüttungen - die durch tektonische Bewegungen verursacht wurden - stellen im weiteren Sinne Vorläufer der ästuarinen Grimmelfingen-Schichten dar und lassen sich bis in die Schweiz verfolgen (BÜCHI & HOFMANN 1960).

NW von Ulm-Ermingen befindet sich die Erminger Turritellenplatte (R: 3566190, H: 5361200; Taf. 2/7), die vor rund 18,5 Millionen Jahren gebildet wurde (BAIER 2008a). Die Turmschnecke *Turritella turris* BASTEROT, die dort häufig gefunden werden kann, gab der Fundstelle den Namen. Aufgrund ihres Fossilreichtums (LUTZEIER 1922, BAIER et al. 2004b, BAIER 2008a, 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, Schalenrümmer, Zähne sowie Knochen) gesellen (BAIER 2008a). In der Leichtmineralfraktion fallen die paläozoischen Kieseliefer („Lydite“) und charakteristische Rosenquarze auf, die in der Literatur mit einem moldanubisch-saxothuringischen Liefergebiet in Verbindung gebracht werden (BAIER 2008a). Die gefundene Hai- und Rochenfauna (BAIER et al. 2004b) sowie die Molluskenfauna (HÖLTKE 2005) sprechen für flachmarine küstennahe Bedingungen, wengleich 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 2008a). Der Erminger Turritellenkalk war lange Zeit als Baustein begehrt und wurde in mehreren kleinen Steinbrüchen gebrochen. Vom Verfasser des geologischen Klassikers „Geognostischer Wegweiser durch Württemberg“ (3. Aufl., 1908), THEODOR ENGEL (1842-1933), wurde 1911 erwähnt, dass die Gruben bereits zum damaligen Zeitpunkt außer Betrieb waren (ENGEL 1911). Gleichartige Bildungen stellen der Randengrobkalk des Hegaus (vgl. BAIER 2008a) sowie das Muschelagglomerat der Tennikerfluh (R: 3410900, H: 5256600; Kt. Basel-Landschaft; vgl. STUMM 1964) dar, die in früheren Zeiten ebenfalls als Bausteine Verwendung fanden.

Bis heute können auf den Äckern des Oberen Eselsbergs vereinzelt Bohrmuschelkalke (Taf. 2/8) gefunden werden, die einen küstennahen Raum zum damaligen Zeitpunkt belegen (BAIER et al. 2004a). Das dortige Vorkommen wurde bereits 1883 von OSKAR FRAAS (1824-1897), Konservator am damaligen Königlichen Naturalienkabinett in Stuttgart (heute: Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart), 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 Schammental (R: 3568940, H: 5366080) bei Ehrenstein nachgewiesen werden. Die Spalten befanden sich dort im Bereich der oberjurassischen Oberen Felsenkalk-Formation (BAIER 1999, BAIER et al. 2004a). Die Höhendifferenz zwischen den Spaltenfüllungen und den Ablagerungen auf dem Oberen Eselsberg beträgt über 100 m und soll exemplarisch verdeutlichen, dass sich der Ulmer Raum in einem Karstgebiet befindet.

Den Abschluß der tOM bildet ein rund 1 m mächtiger Knollen- und 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. Der Albstein 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. Aus dem Bereich der Ostalb (u. a. Feldweg vom „Meusenbrunnen“ auf den „Berg“; E von Heldenfingen, R: 3580250, H: 5385700) wurden von mehreren Autoren (u. a. KIDERLEN 1931, REIFF 1958) Knollenkalke beschrieben, die einem zeitlichen Äquivalent entsprechen dürften. Direkt unter dem Albsteinniveau liegt häufig ein intensiv roter Mergel, der an manchen Stellen Landschnecken enthält und deshalb als Helicidenmergel bezeichnet wird. In diesem charakteristisch roten Mergel konnte an mehreren Stellen des deutsch-schweizerischen Grenzbereichs vulkanogene Minerale (Magnetit, Apatit, Titanit, Melanit sowie Biotit) nachgewiesen werden, die aus dem Hegauvulkanismus stammen dürften (u. a. HOFMANN 1958, 1961, 1965). Eine Herkunft aus den gleichalten Phonolithen des Kaiserstuhls kann aufgrund der unterschiedlichen Ti-Gehalte der Melanite (vgl. ARMBRUSTER et al. 1998) ausgeschlossen werden.

4.3 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 Benken (Kt. Zürich) und Riedern am Sand verfolgen (HOFMANN 1967, BAUSCH & SCHOBER 1997), wo der Ästuar in das damalige Meer mündete. Die marine Mündungszone wird dort durch das häufige Vorkommen von Haifischzähnen angezeigt. Das Mineralspektrum dieser Ablagerungen zeichnet sich durch eine mol-danubisch-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).

Die Graupensandrinne erreicht im Ulmer Raum eine Breite von etwa 10 km. Der Nordrand des Ästuars verläuft bei uns von Unterechingen über Neu-Ulm, Grimmelfingen und Eggingen nach Ringingen. Auf dem Hochsträß befinden sich noch heute mehrere Sandgruben, in denen der Graupensand abgebaut wird (Taf. 3/1).

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. Sie liegen dort auf Süßwasserkalken der tUS (Taf. 3/2). 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).

0- ~20 cm „Biogene Basislage“ (sensu THEN et al. 2002, BAIER 2005, Taf. 3/2): 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. 3/4). 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 Ottnangium (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.

In der Sandgrube Mittelhart (R: 3563440, H: 5357640) waren kurzzeitig schwarze Konkretionen auffindbar, die durch Mangan(IV)oxidminerale verkittet waren (Taf. 3/3). Die Herkunft und Anreicherung des Mangans ist bis heute nicht vollständig verstanden und bedarf weiterer Untersuchungen.

Vereinzelt lassen sich als mineralogische Besonderheit Vivianit-Konkretionen (angenehmere Zusammensetzung: $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) in den tonigen Ablagerungen der Sandgrube Reinhau (R: 3562850, H: 5356040) finden (Taf. 3/5). In der noch heute im Betrieb befindlichen Sandgrube werden Graupensande abgebaut. Vermutlich stand das Phosphat-führende Sediment (Knochen und Fäkalien von Fossilien) über einen längeren Zeitraum im Kontakt mit einer Fe^{2+} -haltigen Lösung. Da Vivianit unter den gegebenen reduzierenden Bedingungen schwerer löslich als Apatit ist, führte der Ionenaustausch (Ca^{2+} gegen Fe^{2+}) zur Vivianit-Bildung.

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 (BAIER 2005).

Die brackischen Kirchberg-Schichten (benannt nach der Typuslokalität Illerkirchberg), die die Grimmelfingen-Schichten im Bereich des Hochsträß überlagern (u. a. MILLER 1871, ENGEL 1908, MOOS 1925, KIDERLEN 1931, BAIER et al. 2002, BAIER & HOFMANN 2003), 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. 3/6).

Die damals herrschenden Bedingungen scheinen vergleichbar mit den Verhältnissen am heutigen Bosphorus 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 (BAIER 2008b).

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).

4.4 Obere Süßwassermolasse (tOS)

Zur Zeit der Oberen Süßwassermolasse (tOS) wurden überwiegend limnisch-fluviatile und fluviatil-terrestrische Sedimente im nördlichen Alpenvorland abgelagert (u. a. REICHENBACHER et al. 2004). 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-Stauroolith-Apatit-Schüttung („GSA₁-Schüttung“, Hochgrat-Schüttung) vor (u. a. BAIER et al. 2002, BAIER & HOFMANN 2003), 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, MÜLLER & REIFF 1993, BAIER 2008b). 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-Stauroolith-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 (BAIER 2008b). Zusätzlich konnten Fruchtkapseln von *Celtis lacunosa* (REUSS) KIRCHHEIMER gefunden werden, die für diese Zeit typisch sind (BAIER 2008b).

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 (Taf. 3/8), handelt es sich um Auswurfprodukte des Ries-Impakts (HOFMANN & HOFMANN 1992, BAIER 2007, HOFMANN 2008), 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.

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).

5. Schwäbischer 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 (Taf. 4/3) und Tuffbrekzien (Taf. 4/4) verfüllt sind. 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 (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 (MENGEL et al. 1991, GLAHN et al. 1992, RABELL et al. 1998). 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 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 (R: 3540750, H: 5364420; QUENSTEDT 1872, MAIER 1931). Seine rot-weiß gebänderten Partien („Böttinger Marmor“, Taf. 4/5) wurden früher als dekorativer Werkstein geschätzt und abgebaut (ROSENDAHL et al. 2003). 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 Fruchtblora weist auf ein warm-gemäßigtes, humides Klima zum damaligen Zeitpunkt hin (GREGOR 1982b). Eine gleichartige Bildung stellt der Travertin bei Riedöschingen (R: 3469630, H: 5300500) dar, der mit dem Hegau-Vulkanismus in Verbindung gebracht wird (SCHWEIGERT 1996a, SCHREINER 2008).

Ebenso muss man zu den letzten Erscheinungen des Albvulkanismus die Laichinger Erbsensteine zählen, die „an Rundung und Glätte den Karlsbadern nicht nachstehen“ (QUENSTEDT 1872: 18). Das Laichinger Vorkommen hat durch UFRICHT et al. (1990) eine geochemische Neubearbeitung erfahren. In den Böden des Laichinger Raums wurden in jüngster Zeit erhöhte Arsen-Gehalte gemessen, die einen vulkanogenen Ursprung haben (PFEFFER & RAPP 2007). Das nachgewiesene Arsen wurde durch vulkanogene Thermalwässer an die Oberfläche gefördert und in der Umgebung angereichert. Erhöhte Arsen-Gehalte sind auch vom Böttinger Sinterkalk bekannt.

1999 konnten erstmalig in einer Spaltenfüllung des Steinbruchs Schammental (R: 3568940, H: 5366080) vulkanogene Apatite nachgewiesen werden, wie sie aus den Helicidenmergeln des Hegauvulkanismus bekannt sind (BAIER et al. 2004a). Für diese Apatite wird ein aeolischer Transport angenommen. Die idiomorphe Erhaltung der Apatite deutet zusätzlich darauf hin, dass in der unmittelbaren Umgebung des Steinbruchs zeitliche Äquivalente der Helicidenmergel angestanden haben müssen.

6. Impaktkrater

6.1 Nördlinger Ries

Zur Zeit der tOS schlug ein aus N kommender kosmischer Körper (GRAUP 1999, BAIER 2009) 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. Tab. 4). 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 2009, dort weiterführende Literatur), deren

Verteilung auf einer geologischen Karte dokumentiert wurde (HÜTTNER & SCHMIDT-KALER 1999).

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

Tab. 4: Vereinfachtes Schema der Impaktgesteine (aus BAIER 2007).

Die Bunte Trümmersmassen machen mit rund 90 bis 95 % den überwiegenden Anteil der Auswurfprodukte aus (CHAO 1977). Sowohl die schlechte Sortierung der Bunte 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 Kratzungen an vulkanischen Schlotwänden ähneln (BAIER 2007).

Der Suevit (Taf. 4/6) wurde in den vergangenen Jahrzehnten ausführlich untersucht (u. a. GRAUP 1978, 1981, 1999, EL GORESY et al. 2001a, 2001b, 2001c, 2003, STÄHLE et al. 2004, 2008, BAIER 2007, 2008c, 2009). So konnte beispielsweise durch den Mainzer Geowissenschaftler GÜNTHER GRAUP (1940-2006) gezeigt werden, dass während des Impakts große Mengen an Carbonatschmelzen entstanden (GRAUP 1999). 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. Sowohl die im Suevit vorkommenden Riesgläser („Flädle“, Taf. 5/1) als auch die Suevit-Grundmasse selbst wurden aus den mesozoischen Sedimenten des Einschlaggebiets gebildet (BAIER 2007, 2008c). Dadurch mussten die bisherigen Vorstellungen zur Suevitbildung revidiert werden (vgl. BAIER 2008c, 2009). 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 (BAIER 2009). Hierdurch weist der Auswurf suevit Charakteristika eines Ignimbrits auf (z. B. Entgasungskanäle, Korngrößenverteilung, eingeregelter Komponenten, feinkörniger Basistuff).

Ebenso lassen sich Schmelzflüsse („Roter Suevit“, Taf. 5/2) nachweisen (u. a. SCHOWALTER 1904, WEBER 1941, BAIER 2007, 2009), die durch den Impakt erzeugt wurden. Diese sind vom westlichen über den südlichen bis nordöstlichen Sektor verstreut (u. a. Polsingen, Rauhwinkel, Amerbach, Hermannsberg, Hochfeld, Heerhof; vgl. GRAUP 1999: Abb. 14)

Auch die niederbayerischen Bentonit-Ablagerungen stellen Ablagerungen des Ries-Impakts dar, die aus mesozoischen Sandsteinen gebildet wurden (BAIER 2007). Der er-

forderliche Auswurfmechanismus bedarf noch einer genaueren Untersuchung (BAIER 2009).

Die herausgeschleuderten Malm-Brocken, die sich in den Brockhorizonten der tOS befinden, wurden bereits erwähnt und deren stratigraphische Bedeutung für die tOS-Stratigraphie beschrieben. In den Brocken konnten „planare Elemente“ (PDFs) und Shatter cones gefunden werden (u. a. HOFMANN & HOFMANN 1992, SACH 1997, HOFMANN 2008), die auf ein Impakt-Ereignis schließen lassen.

Geochemische Untersuchungen an Moldaviten (Taf. 5/4) haben gezeigt, dass es sich bei diesen Tektiten ebenfalls um Auswurfprodukte des Ries-Impakts handelt. Die Gläser kommen in den sogenannten Moldavitstreufeldern vor, die sich in Böhmen, Mähren, Niederösterreich sowie in der Lausitz befinden (TRNKA & HOUZAR 2002). Als Ausgangsmaterial der impaktbedingten Gläser konnten die präriesischen 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.

6.2 Steinheimer Becken

Wenige Kilometer westlich von Heidenheim befindet sich das Steinheimer Becken (REIFF 1958), das annähernd zeitgleich mit dem Nördlinger Ries entstand. Das Becken selbst stellt einen komplexen Impakt-Krater dar, der einen Durchmesser von rund 3,5 km aufweist. Die zentrale Erhebung (Steinhirt-Klosterberg) ragt etwa 50 m über die heutige Kraterebene empor. Es wird heute angenommen, dass beide Impaktkrater das Resultat ein- und desselben kosmischen Körpers darstellen, welcher vor dem Einschlag in zwei Stücke 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. 6/1). Diese makroskopischen Strukturen wurden durch den Impakt erzeugt und konnten später auch bei anderen Impaktkratern nachgewiesen werden. In der Zwischenzeit haben sich die markanten Strahlenkalke zu einem anerkannten Indiz für Impaktkrater etabliert (FRENCH 1998, SAGY et al. 2002, BARATOUX & MELOSH 2003, PATI & REIMOLD 2007).

Nachdem der Impaktkrater entstanden war, bildete sich im Becken ein See aus, an dem das Leben rasch wieder Einzug fand (BÖHME et al. 2002, Taf. 5/5-6). Dadurch wurde die Grundlage zu einer der reichhaltigsten paläontologischen Tertiärfundstellen des süddeutschen Raums gelegt (ADAM 1980), die auch für die Evolutionstheorie von Bedeutung ist (REIF 1983a, 1983b, 2000, RASSER 2006). So konnte QUENSTEDTS Schüler FRANZ HILGENDORF (1839-1904) anhand der fossilen Schneckenfauna die Evolutionstheorie von CHARLES DARWIN (1809-1882) belegen (HILGENDORF 1866), die nur wenige Jahre zuvor veröffentlicht wurde (DARWIN 1859). Das bedeutende Untersuchungsmaterial von FRANZ HILGENDORF befindet sich zum Teil noch heute in der geologischen Sammlung der Eberhard Karls Universität Tübingen (REIF 1983a). Im selben Jahr wurde von OSCAR FRAAS die gleiche Beobachtung eher beiläufig in seiner Arbeit „Vor der Sündfluth!“ erwähnt (FRAAS 1866: 30), die bislang kaum Beachtung gefunden hat. Über die damals heftig geführten Diskussionen zur Evolutionstheorie hat BOWLER (1989) ausführlich berichtet.

Neuere geochemische Untersuchungen an Fossilresten (C-, O- sowie Sr-Isotopie) erlauben Rückschlüsse auf das damalige Klima (vgl. TÜTKEN et al. 2006).

7. 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. Der Tübinger Geologe GEORG WAGNER (1885-1972) hat diese einzelnen Phasen untersucht und in seinem Buch „Junge Krustenbewegungen“ (1929) 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 & UFRICHT 1983). Diese lassen sich oft mit den zeitäquivalenten Eintiefungsphasen des Vorfluters korrelieren, wenn diese zahlreich vorhanden sind. Während der zeitlich dazwischen liegenden Hebungsphasen der Schwäbischen Alb kam es aufgrund der Mischungskorrosion zu verstärkten niveaubezogenen Höhlensystem-Bildungen im Bereich der Karstwasseroberfläche, wo die vadose 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). Die Blautopf-Höhle selbst stellt ein schönes Beispiel für eine aktive phreatische Höhle dar (Taf. 6/3).

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).

In manchen fossilführenden Spaltenfüllungen (z. B. im Stbr. Kleines Lautertal; R: 3565750, H: 5366775) lassen sich Apatit-Konkretionen (angenäherte Zusammensetzung: Ca₅(PO₄)₃OH) sowie Apatit-Krusten auf Kalksteinen finden (Taf. 6/4). Diese Abscheidungen dürften im Zusammenhang mit den Knochenfunden im umgebenden Spaltenlehm stehen.

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 & UFRICHT 1983), die bis heute andauern.

Im Rahmen dieser Abhandlung müssen auch die spektakulären jungpaläolithischen Kleinplastiken aus den Höhlensedimenten des Lonetals sowie des Achtals erwähnt werden, die für weltweites Aufsehen sorgten (u. a. Ulmer Museum 1994, 2005, MÜLLER-BECK et al. 2001, CONARD 2003, MOHEN & TABORIN 2005). Diese Funde stammen aus dem Aurignacien und verdeutlichen exemplarisch, dass die Höhlensedimentbildung bis in unsere Tage reicht. Möglicherweise sind die hohen Verwitterungsraten sowie die mikroklimatischen Gegebenheiten innerhalb unserer Höhlen-

systeme so schlecht, dass paläolithische Wandmalereien, wie sie beispielsweise in der Grotte CHAUVET (CHAUVET et al. 1995) vorkommen, der Erosion zum Opfer gefallen sind.

Danksagung: ARMIN SCHERZINGER (Immendingen-Hattingen) sei für seine Anmerkungen zum Oberjura gedankt, Prof. Dr. ADOLFO MURGUÍA (Tübingen) für die anregenden Diskussionen zur Wissenschaftsgeschichte. Für die kritische Durchsicht des Manuskripts danke ich ELISABETH FRANK (Tübingen).

Literatur

- ADAM, K. D.: Das Steinheimer Becken - eine Fundstätte von Weltgeltung. - Jh. Ges. Naturk. Württ., 135, 32-144, 1980.
- ARMBRUSTER, T., BIRRER, J., LIBOWITZKY, E. & BERAN, A.: Crystal chemistry of Ti-bearing andradites. - Eur. J. Mineral., 10, 907-921, 1998.
- 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 „Schammthal“ 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. - Documenta naturae, 162, 1-18, 2007.
 - Ein Beitrag zur Erminger Turritellenplatte (Mittlere Schwäbische Alb, SW-Deutschland). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 90, 9-17, 2008a.
 - Über die Tertiärbildungen im Ulmer Raum. - Documenta naturae, 168, 1-31, 2008b.
 - Zur Herkunft der Suevit-Grundmasse des Ries Impakt-Kraters. - Documenta naturae, 172, 1-11, 2008c.
 - Zur Herkunft und Bedeutung der Ries-Auswurfprodukte für den Impakt-Mechanismus. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 91, 2009. - [im Druck]
- 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 (Schwäbische Alb, SW-Deutschland). - N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 226/1, 131-143, 2002.
- BARATOUX, D. & MELOSH, H. J.: The formation of shatter cones by shock wave interface during impacting. - Earth Planet. Sci. Lett., 216, 43-54, 2003.
- BAUSCH, W. & SCHÖBER, T.: Erläuterungen zum Blatt 8316/8416 Klettgau/Hohentengen am Hochrhein. - Geol. Karte Baden-Württ. 1 : 25000, 287 S., 1997.
- 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.
- BEURER, M.: Kieselsäureanreicherungen in den oberjurassischen Sedimenten der Schwäbischen Alb. - Beih. Geol. Jb., 109, 1-69, 1971.
- BLOOS, G.: Über Jura und Tertiär im Gebiet von Ehingen/Donau (Baden-Württemberg). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 49, 75-115, 1967.
- Süddeutschland im Wandel - 250 Millionen Jahre Erdgeschichte. - In: HEIZMANN, E. P. J. (Hrsg.): Erdgeschichte mitteleuropäischer Regionen (2). Vom Schwarzwald zum Ries, 9-36, Pfeil-Verlag; München (Pfeil) 1998.
- 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.
- BOWLER, P. J.: Evolution: the history of an idea. - rev. Aufl., 432 S, Berkley (University of California Press) 1989.
- 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- andsteine 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.
- CHAUVET, J.-M., DESCHAMPS, E. B. & HILLAIRE, C.: Grotte Chauvet, altsteinzeitliche Höhlenkunst im Tal der Ardèche. - 119 S., Sigmaringen (Thorbecke) 1995.
- CLOOS, H.: Bau und Tätigkeit von Tuffschloten - Untersuchungen an dem Schwäbischen Vulkan. - Geol. Rdsch., 31, 709-800, 1941.
- CONARD, N. J.: Palaeolithic ivory sculptures from southwestern Germany and the origins of figurative art. - Nature, 426, 830-832, 2003.

- DARWIN, C.: On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. - 502 S., London (Murray) 1859.
- 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.
- DUNHAM, R. J.: Classification of carbonate rocks according to depositional texture. - AAPM Mem., 1, 108-121, 1962.
- DUNWORTH, E. A. & WILSON, M.: Olivine melilites 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.
- EL GORESY, A., CHEN, M., DUBROVINSKI, L., GILLET, P. & GRAUP, G.: An ultradense polymorph of Rutile with seven-coordinated Titanium from the Ries crater. - Science, 293, 1467-1470, 2001a
- EL GORESY, A., CHEN, M., GILLET, P., DUBROVINSKI, L., GRAUP, G. & AHUJA, R.: A natural shock-induced dense polymorph of rutil with α -PbO₂ structure in the suevite from the Ries crater in Germany. - Earth Planet. Sci. Lett., 192, 485-495, 2001b.
- EL GORESY, A., DUBROVINSKI, L. S., GILLET, P., MOSTEFAOUI, S., GRAUP, G., DRAKOPOULOS, M., SIMIONOVICI, A. S., SWAMY, V. & MASAITIS, V. L.: A novel cubic, transparent and super-hard polymorph of carbon from the Ries and Popigai craters: implications to understanding dynamic-induced natural high-pressure phase transformation in the carbon system. - Lun. Planet. Sci., 34, #1016, 2003.
- EL GORESY, A., GILLET, P., CHEN, M., KÜNSTLER, F., GRAUP, G. & STÄHLE, V.: In situ discovery of shock-induced graphite-diamond phase transition in gneisses from the Ries Crater, Germany. - Am. Min., 86, 611-621, 2001c.
- ELLWANGER, D.: Paläographische Kartenskizzen zur Flußgeschichte des Aitrach-Iller-Gebiets (Schwaben). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 71, 445-466, 1989.
- ENGEL, T.: Geognostischer Wegweiser durch Württemberg. - 3. völlig umgearb. Aufl., 645 S., Stuttgart (Schweizerbart) 1908.
- Geologischer Exkursionsführer durch Württemberg. - 182 S., Stuttgart (Schweizerbart) 1911.
- FRAAS, O.: Vor der Sündfluth! Eine Geschichte der Urzeit. - 512 S., Stuttgart, (Hofmann) 1866.
- 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
- FRENCH, B. M.: Traces of catastrophe: a handbook of shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact structures. - LPI Contribution, No. 954, 1-120, 1998.
- FÜCHTBAUER, H.: Transport und Sedimentation der westlichen Alpenvorlandmolasse. - Heidelberger Beitr. Min. Petrogr., 4, 26-53, 1954.

- Gebrüder LEUBE: Mittheilungen über die Eigenschaften und Verwendung der Cemente aus der Roman- und Portland-Cement-Fabrik von Gebrüder Leube in Ulm^a/D. & Gartenau^b/Salzburg. - 7 S., Ulm (SELLMERSche Buchdruckerei) 1880.
- GEYER, O. F.: Die Fauna der oolithischen Trümmerkalke des oberen Malm in Württemberg und ihre Beziehung zur korallenogenen Fazies des Tithon. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1953, 130-140, 1953.
- Über das Bohnerz in Württemberg. - Z. dt. geol. Ges., 109, 22-27, 1957.
 - The ammonite genus *Sutneria* in the Upper Jurassic of Europe. - Lethaia, 2, 63-72, 1969.
- GEYER, O. F. & GWINNER, M. P.: Führer zu den Exkursionen anlässlich der 82. Tagung des Oberrheinischen Vereins in Ulm vom 4. bis 8. April 1961. - Arb. Geol. Paläont. Inst. TH Stuttgart, N. F., 30, 1-51, 1961.
- Die Schwäbische Alb und ihr Vorland. - Sammlung Geol. Führer, 67, 275 S.; Berlin, Stuttgart (Schweizerbart) 1997.
- GIESE, S. & WERNER, W.: Zum strukturellen Bau des Oberjuras der Mittleren Schwäbischen Alb. - Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 37, 49-76, 1997.
- GLAHN, A., SACHS, P. M. & ACHAUER, U.: A teleseismic and petrological study of the crust and upper mantle beneath the geological anomaly Urach/SW Germany. - Phys. Earth Planet. Int., 69, 176-206, 1992.
- 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. & UFRICHT, 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.

- GROSCHOPF, 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.
- HILGENDORF, F.: *Planorbis multiformis* im Steinheimer Süßwasserkalk. Ein Beispiel von Gestaltveränderung im Laufe der Zeit. - Monatsber. königl. Akad. Wiss. Berlin, 474-505, 1866.
- HILLER, K.: Über schwarze Kalkspäte auf Weiß-Jura-Kalken der mittleren Schwäbischen Alb. - Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ., 117, 184-194, 1962.
- HOFMANN, B.: Shatter Cones aus dem Blockhorizont an der Sitter bei Bernhardszell. - Ber. St. Gall. Naturwiss. Ges., 91, 77-86, 2008.
- 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.: Vulkanische Tuffhorizonte in der Oberen Süßwassermolasse des Randens und Reiat. Kanton Schaffhausen. - Eclogae geol. Helv. 51/2, 371-377, 1958.
- Vulkanische Aschen in den Helicitenmergeln des baslerischen, aargauischen und badischen Tafeljuras. - Eclogae geol. Helv. 54/1, 133-136, 1961.
 - Die stratigraphische Bedeutung der Bentonite und Tufflagen im Molassebecken. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F. 47, 79-90, 1965.
 - Über die Tertiärbildungen im Kanton Schaffhausen. - Mitt. naturforsch. Ges. Schaffhausen, 28, 1-39, 1967.
- HOFMANN, F.: 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 Hoahrhein-Wutach-Randen-Donau: Geomorphologische Überlegungen und sedimentpetrographische Befunde. - Eclogae geol. Helv., 89/3, 1023-1041, 1996.
- HÖLDER, H.: Über den *Ammonites ulmensis* OPPEL. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N. F., 43, 113-117, 1961.
- Geschichte der Geologie und Paläontologie an der Universität Tübingen. - Contubernium, 20, 87-284, 1977.
- HÖLDER, H. & ZIEGLER, B.: Stratigraphische und faunistische Beziehungen im Weißen Jura (Kimeridgien) zwischen Süddeutschland und Ardèche. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 108, 150-214, 1959.
- HÖLTKE, O.: Die Molluskenfauna der Oberen Meeresmolasse von Ermingen und Ursendorf. - Diplomarbeit, Universität Tübingen, 76 S., 2005.

- HÜTTNER, R.: Bunte Trümmermassen und Suevit. - *Geologica Bavarica*, 61, 142-200, 1969.
- JOOS, O.: Stratigraphisch-tektonische Untersuchungen zwischen Kliff und Donau bei Ulm. - *N. Jb. Mineral. Geol. Paläont., Abt. B*, 89, 1-42, 1948.
- 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.
- KRIWET, J. & KLUG, S.: Late Jurassic selachians (Chondrichthyes, Elasmobranchii) from southern Germany: Re-evaluation on taxonomy and diversity. - *Zitteliana*, A44, 67-95, 2004.
- KUHLEMANN, J. & KEMPF, O.: Post-eocene evolution of the North Alpine Foreland Basin and its response to alpine tectonics. - *Sed. Geol.*, 152, 45-78, 2002.
- LANDMESSER, M.: Mobility by metastability: Silica transport and accumulation at low temperatures. - *Chem. Erde*, 55, 149-176, 1995.
- "Mobility by Metastability" in sedimentary and agate petrology: Applications. - *Chem. Erde*, 58, 1-22, 1998.
- LANG, H. B.: Dolomit und zuckerkörniger Kalk im Weißen Jura der mittleren Schwäbischen Alb (Württemberg) . - *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 120, 253-299, 1964.
- 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.
- LAUXMANN, U.: Revision der oberjurassischen Korallen von Württemberg (SW-Deutschland), exclusive *Fungiina*. - *Paleontographica*, Abt. A, 219, 107-175, 1991.
- LEINFELDER, R. R., WERNER, W., NOSE, M., SCHMID, D. U., KRAUTTER, M., LATERNSE, R., TAKACS, M. & HARTMANN, D.: Palaeoecology, growth parameters and dynamics of coral, sponge and microbolite reefs from the late jurassic. - *Gött. Arb. Geol. Paläont., Sb2*, 227-248, 1996.
- LEMCKE, K., VON ENGELHARDT, W. & FÜCHTBAUER, H.: Geologische und sedimentpetrographische Untersuchungen im Westteil der ungefalteten Molasse des süd-deutschen 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.
- LIEDMANN, W. & KOCH, R.: Diagenesis and fluid inclusions of Upper Jurassic spongealgal reefs in SW Germany. - *Facies*, 23, 241-268, 1990.
- 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.
- MEDER, K.: Mikrofazies und Diagenese der Karbonatgesteine des höheren Malms (ki2.4-tiH) in der Bohrung Saulgau GB 3. - Abh. Geol. L.-Amt Baden-Württ., 13, 89-138, 1989.
- MENGEL, K., SACHS, P. M., STOSCH, H. G., WÖRNER, G. & LOOCK, G.: Crustal xenoliths from Cenozoic volcanic fields of West Germany: Implications for structure and composition of the continental crust. - Tectonophysics, 195, 271-289, 1991.
- MEYER, R. K. F. & SCHMIDT-KALER, H.: Paläographie und Schwammriffentwicklung des süddeutschen Malm - Ein Überblick. - Facies, 23, 175-184, 1990.
- MILLER, K.: Das Tertiär am Hochsträss. - Jh. Ver. vaterl. Naturk. Württ., 27, 272-292, 1871.
- MOHEN, J.-P. & TABORIN, Y.: Les sociétés de la Préhistoire. - 320 S., Paris (Hachette) 2005.
- 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.
- MÜLLER-BECK, H., CONARD, N. J. & SCHÜRLE, W. (Hrsg.): Eiszeitkunst im Süddeutsch-Schweizerischen Jura. Anfänge der Kunst. - 142 S., Stuttgart (Konrad Theiss) 2001
- NAGEL, R. & LAUXMANN, U.: Zur Verkieselung der oberjurassischen Korallen von Württemberg. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1990/10, 622-638, 1990.
- 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.
- PATI, J. K. & REIMOLD, W. U.: Impact cratering - fundamental process in geoscience and planetary science. - J. Earth Syst. Sci., 116, 81-98, 2007.
- PAULSEN, S.: Die Geologie des Blattes Ulm-Nordwest (Nr.7525) 1 : 25000 (Schwäbische Alb). - Arb. Geol. Paläont. Inst. TH Stuttgart, N. F., 35, 1-72, 1962.
- Aufbau und Petrographie des Riffkomplexes bei Arnegg im höheren Weißen Jura der Schwäbischen Alb (Württemberg). - Arb. Geol. Paläont. Inst. TH Stuttgart, N. F., 42, 1-98, 1964.
- 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.
- PFEFFER, K.-H., RAPP, F. M.: Arsenical soil - a new geomorphology indicator in the Swabian Alb. - Z. Geomorph. N. F., 51, 191-205, 2007.

- PISERA, A.: Upper Jurassic siliceous sponges from the Swabian Alb; Taxonomy and Paleocology. - *Palaeont. Pol.*, 57, 1-216, 1997.
- PITTET, B. & STRASSER, A.: Depositional sequences in deep-shelf environments formed through carbonate-mud import from the shallow platform (Late Oxfordian, German Swabian Alb and eastern Swiss Jura). - *Eclogae geol. Helv.*, 91, 149-169, 1998.
- PURSER, B. H., TUCKER, M. E. & ZENGER, D. H. (Hrsg.): Dolomites - A volume in honour of Dolomieu. - *IAS Spec. Pub.*, 21, 1-451, 1994.
- QUENSTEDT, F. A.: Begleitworte zur geognostischen Spezialkarte von Württemberg. Atlasblatt Blaubeuren. - 28 S., 1872.
- RABELL, W., SIEGESMUND, S., WEISS, T., POHL, M. & BOHLEN, T.: Shear wave anisotropy of laminated lower crust beneath Urach (SW Germany): a comparison with xenoliths and with exposed lower crustal sections. - *Tectonophysics*, 298, 337-356, 1998.
- RASSER, M. W.: 140 Jahre Steinheimer Schnecken-Stammbaum: der älteste fossile Stammbaum aus heutiger Sicht. - *Geolog. Palaeontolog.*, 40, 195-199, 2006.
- 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.
- REICHENBACHER, B., BÖHME, M., HEISSIG, K., PRIETO, J. & KOSSLER, A.: New approach to assess biostratigraphie, palaeoecology and past climate in the South German Molasse Basin during Early Miocene (Ottangian, Karpatian). - *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg*, 249, 71-89, 2004.
- REIF, W.-E.: HILGENDORF's (1863) dissertation on the Steinheim planorbids (Gastropoda; Miocene): The development of a phylogenetic research program for paleontology. - *Paläont. Z.*, 57, 7-20, 1983a.
- REIF, W.-E.: The Steinheim snails (Miocene; Schwäbische Alb) from a Neo-Darwinian point of view: A discussion. - *Paläont. Z.*, 57, 21-206, 1983b.
- Darwinismus, gradualism and uniformism. - *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 2000/11, 669-680, 2000.
- 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.
- REINHOLD, C.: Prozesse, Steuerung und Produkte komplexer Diagenese-Sequenzen in süddeutschen Malm-Karbonaten. Die oberjurassischen Massenkalk- und Bankfazies bei Geislingen/Steige (Oxford/Kimmeridge, östliche Schwäbische Alb). - *Dissertation, TU Berlin*, 255 S., 1996.
- Multiple episodes of dolomitization and dolomite recrystallization during shallow burial in Upper Jurassic shalf carbonates: eastern Swabian Alb, southern Germany. - *Sed. Geol.*, 121, 71-95, 1998.
- RÖDEL, C.: Die Geologie des Blattes Blaubeuren (Nr. 7524) 1:25000 und die Nordhälfte des Blattes Böhringen (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.
- SAGY, A., ZEEV, R. & FINEBERG, J.: Dynamic fracture by large extraterrestrial impacts as the origin of shatter cones. - Nature, 418, 310-313, 2002.
- SCHAD, J.: Beitrag zur Kenntnis des Tertiärs am Landgericht und Hochsträß. - Jh. Ver. vaterl. Naturk. Würt., 64, 249-304, 1908.
- SCHAIRER, G.: Specimina historica in der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und historischen Geologie III *Lithacoceras ulmense* (OPPEL). - Jber. Mitt. Freunde Bayer. Statssamml., 4, 13-21, 1976.
- SCHAUER, M.: Dynamische Stratigraphie, Diagenese und Rohstoffpotential des Oberen Jura (Kimmeridge 1-5) der Mittleren Schwäbischen Alb. - Tüb. Geowiss. Arb., Reihe A, 36, 1-153, 1998.
- 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.
- SCHERZINGER, A. & MITTA, V.: New data on ammonites and stratigraphy of the Upper Kimmeridgian and Lower Volgian (Upper Jurassic) of the middle Volga Region (Russia). - N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 241/2, 225-251, 2006.
- SCHMID, D. U., LEINFELDER, R. R. & SCHWEIGERT, G.: Stratigraphy and palaeoenvironments of the Upper Jurassic of Southern Germany - A review. - Zitteliana, B26, 31-41, 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.
- SCHMIERER, T.: Das Altersverhältnis der Stufen "Epsilon" und "Zeta" des weissen Jura. - Z. dt. geol. Ges., 54, 525 - 607, 1902.
- 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.
- SCHOWALTER, E.: Chemisch-geologische Studien im vulkanischen Ries bei Nördlingen. - Dissertation, Universität Erlangen, 65 S., 1904.
- SCHREINER, A.: Über den Weißen Jura im Hegau. - Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 5, 243-277, 1961.
- Hegau und westlicher Bodensee. - Sammlung Geol. Führer, 62, 90 S.; Berlin, Stuttgart (Schweizerbart) 2008.
- 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 Schiefen 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 moldavites from the Bohemian and Lusatian strewn fields. - Meteoritics Planet. Sci., 37, 1757-1764, 2002.
- SCHWEIGERT, G.: Die Ammonitengattungen *Gravesia* SALFELD und *Tolvericeras* HANTZPERGUE und ihre Bedeutung für den Grenzbereich Oberkimmeridgium/Untertithonium im Schwäbischen Jura. - Geol. Bl. NO-Bayern, 43, 167-186, 1993a.
- Subboreale Faunenelemente (Ammonoidea) im oberen Weißjura (Oberkimmeridgium) der Schwäbischen Alb. - Profil, 5, 141-155, 1993b.
 - Vergleichende Faziesanalyse, Paläoökologie und paläogeographisches Umfeld tertiärer Süßwasserkarbonate auf der westlichen Schwäbischen Alb und im Hegau (Baden-Württemberg). - Profil, 9, 1-100, 1996a.
 - Die Hangende Bankkalk-Formation im schwäbischen Oberjura. - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 78, 281-308, 1996b.
- 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.
- SCHWEIGERT, G. & VALLON, L. H. (2005): First record and correlation value of *Aulacostephanus* cf. *subundorae* (PAVLOW) (Ammonoidea, Upper Jurassic) from SW Germany. - N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 2005(2), 65-82, 2005.
- SCHWEIGERT, G. & ZEISS, A.: *Lithacoceras ulmense* (OPPEL) (Ammonitina) - eine wichtige Leitart des Ober-Kimmeridgiums. - N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 1999(1/2), 49-73, 1999.
- SCOTESE C. R.: A continental drift flipbook. - J. Geol., 112, 729-741, 2004.
- SEEGER, M.: Fossile Verwitterungsböden auf der Schwäbischen Alb. - Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 6, 421-459, 1963.
- SELG, M. & WAGENPLAST, P.: Beckenarchitektur im süddeutschen Weißen Jura und die Bildung der Schwammriffe. - Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 32, 171-206, 1990.
- 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.
- STÄHLE, V., ALTHERR, R., KOCH, M. & NASDALA, L.: Shock-induced formation of kyanite (Al_2SiO_5) from sillimanite within a dense metamorphic rock from the Ries crater (Germany). - Contrib. Mineral. Petrol., 148, 150-159, 2004.
- Shock-induced growth and metastability of stishovite and coesit in lithic clasts from the suevite of the Ries impact crater. - Contrib. Mineral. Petrol., 155, 457-472, 2008.
- STUMM, F.: Das Tertiär des Basler Tafeljura mit besonderer Berücksichtigung der miocaenen Ablagerungen. - Verh. naturf. Ges. Basel, 75, 153-217, 1964.
- 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.: Calcit - Beobachtungen im Mikrokosmos der Ulmer Alb. - Lebendige Gesch. Naturwiss., 4, 65-99, 2000.
- 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.
- TÜTKEN, T., VENNEMANN, T. W., JANZ, H. & HEIZMANN, E. P. J.: Palaeoenvironment and palaeoclimate of the Middle Miocene lake in the Steinheim basin, SW Germany: A reconstruction from C, O, and Sr isotopes of fossil remains. - Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 141, 457-491, 2006.
- UFRECHT, W., SACHS, P. M. & TIMMERMANN, G.: Zur Geologie der mittelmiozänen Diatreme von Laichingen (Uracher Vulkanfeld). - Jber. Mitt. oberrhein. geol. Ver., N.F., 72, 359-390, 1990.
- 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.
- Ulmer Museum (Hrsg.): Der Löwenmensch: Tier und Mensch in der Kunst der Eiszeit. - 141 S., Sigmaringen (Thorbecke) 1994.
- Der Löwenmensch. - 64 S., Ulm (Ulmer Museum) 2005.
- UNGER, H. J., SCHUBERT, A., MEYER, R. K. F., RISCH, H. & RAST, U.: Die Bohrung Geisenfeld GLA 26 und ihr geologisches Umfeld. - Documenta Naturae, 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 palaeoclimatology 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. landeskdl. Abh. Schwaben u. Franken, 10, 1-302, 1929.
- WAGNER, G. H.: Kleintektonische Untersuchungen im Gebiet des Nördlinger Rieses. - Geol. Jb., 81, 519-600, 1964.
- WEBER, E.: Geologische Untersuchungen im Ries - Das Gebiet des Blattes Wemding. - Abh. Naturkde.- u. Tiergartenver. Schwaben, 3 (Geol.-paläont. R., H. 2), 1-248, 1941.
- 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.
- WERNER, W., LEINFELDER, R. R., FÜRSICH, F. T. & KRAUTTER, M.: Comparative palaeoecology of marly coralline sponge-bearing reefal associations from the Kimmeridgian (Upper Jurassic) of Portugal and Southwestern Germany. - Cour. Forsch. Inst. Senckenberg, 172, 381-397, 1994.
- WIRSING, G.: Mikrofazielle und diagenetische Entwicklung einer oberjurassischen Karbonatabfolge (Weißjura beta bis delta 4, Mittlere Schwäbische Alb) mit Berücksichtigung der chemischen Diagenese ausgewählter karbonatischer Bestandteile. - Heidelberger Geowiss. Abh., 15, 1-337, 1988.

- ZEISS, A.: The Upper Jurassic of Europe: its subdivision and correlation. - Geolog. Survey Denmark Greenland Bull., 1, 75-114, 2003.
- ZENGER, D. H., DUNHAM, J. B. & ETHINGTON, R. L. (Hrsg.): Concepts und models of dolomitization. - SEPM Spec. Pub., 28, 1-320, 1980.
- 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.

Tafel 1

Abb. 1: *Virgataxioceras setatum* (SCHNEID). - Steinbruch Schammental (R: 3568940, H: 5366080), Obere Felsenkalk-Formation, *setatum*-Subzone. - Bildbreite: 8,5 cm.

Abb. 2: Oberjurassischer Korallenstock. Der Fund liegt vollständig verkieselt vor und wurde in einem Bauaushub in Seißen gefunden. - Bildbreite: 6 cm.

Abb. 3: Brenztaltrümmerkalk. Auf der Gesteinsoberfläche sind die herausgewitterten Komponenten gut zu erkennen. Das Handstück stammt aus dem aufgelassenen Steinbruch am Moldenberg (R: 3586825, H: 5396400). - Breite des Handstücks: 12 cm.

Abb. 4: Aufgelassener Steinbruch am Moldenberg (R: 3586825, H: 5396400). Die Aufnahme zeigt die ehemalige Abbauwand.

Abb. 5: Schwarzer Calcit aus dem Steinbruch Kleines Lautertal (R: 3565750, H: 5366775). Die schwarze Farbe rührt von diversen Mangan(IV)oxoverbindungen her, die in der Calcit-Matrix eingelagert sind. Auffallend ist der abrupte Farbübergang zum umgebenden Gestein. - Breite des Handstücks: 10 cm.

Abb. 6: Quarzdruse in Korallenstück (R: 3563330, H: 5365640). Die Wände des vorhandenen Hohlraums sind (fast) vollständig mit kleinen Quarzkristallen besetzt. - Bildbreite: 6 cm.

Abb. 7: Pyritkristalle aus dem Steinbruch Schammental (R: 3568940, H: 5366080). Die gräuliche Farbe des umgebenden Gestein wird von feinverteilten Fe-Sulfiden verursacht. - Bildbreite: 3 cm.

Abb. 8: Boluston-Handstück mit Bohnerz aus dem ehemaligen Steinbruch bei Arnegg (R: 3564430, H: 5363620). Die charakteristische rote Farbe der tonigen Matrix rührt von Hämatit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) her und die eingelagerten Bohnerzkörner weisen unterschiedliche Größen auf. - Bildbreite: 5 cm.

Tafel 1

1



2



3



4



5



6



7



8



Tafel 2

Abb. 1: Anschliff eines Boluston-Handstücks mit einzelnen Bohnerzkügelchen. Der lagige Aufbau der Körner ist auffällig. Der Schichtaufbau deutet auf ein rhythmisches Wachstum hin, an dem Mikroorganismen beteiligt gewesen sein könnten. Das Handstück stammt aus dem Steinbruch Herrlingen (R: 3566875, H: 5365550). - Breite des Handstücks: 5,5 cm.

Abb. 2: 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 (aus BAIER 2008b).

Abb. 3: 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. 4: tUS-Mergel mit Schneckenschalen vom Oberen Eselsberg. Die Schalen wurden durch sedimentäre Druckeinwirkung zusammengedrückt.- Bildbreite: 7 cm.

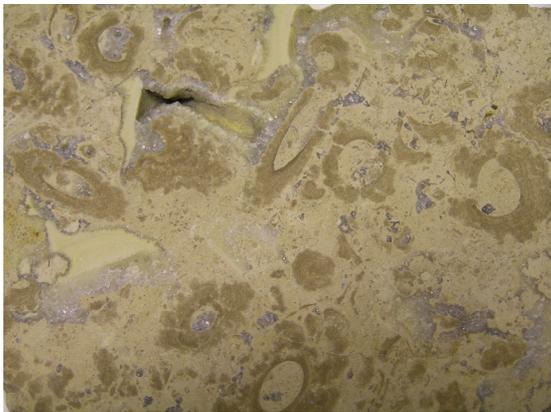
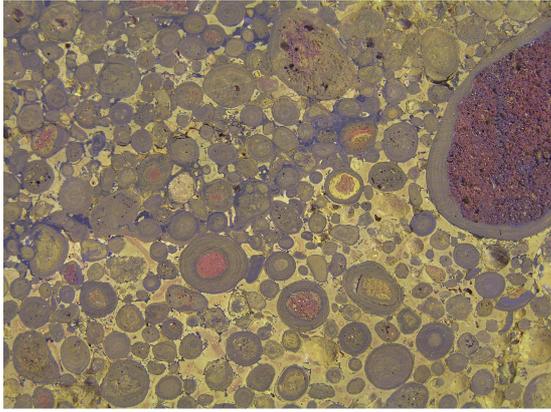
Abb. 5: tUS-Kalk vom Safranberg. Ein Teil der Komponenten ist mit onkoidartigen Umkrustungen umgeben. Im Anschliff läßt sich erkennen, dass mehrere Hohlräume zu einem späteren Zeitpunkt mit Calcit (weiße Stellen) oder Lehm (beige Stellen) verfüllt wurden. Als Bildungsmilieu darf man einen flachen See mit mäßig strömenden Wasser annehmen. - Bildbreite: 8 cm.

Abb. 6: Das Kliff von Heldenfingen (R: 357926, H: 536800). Das Molassemeer hat die felsige Steilküste herausgearbeitet, die von zahlreichen Bohrmuscheln angebort wurde. Die damalige Brandungsplattform („Schorre“) läßt sich gut auf der Abbildung erkennen und liefert einen Eindruck von der damaligen Küste.

Abb. 7: „Erminger Turritellenplatte“ (R: 3566190, H: 5361200). Das Stück enthält mehrere Exemplare der namensgebenden Turmschnecke *Turritella turris* BASTEROT. Auf der linken Bildseite ist die Einregelung der Schneckenhäuser gut zu erkennen. - Bildbreite: 18 cm.

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. - Bildbreite: 9 cm.

Tafel 2



Tafel 3

Abb. 1: 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. Das Liegende wird von tUS-Sedimenten gebildet (aus BAIER 2008b).

Abb. 2: 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. 3: Mn-haltige Konkretion aus den Graupensanden der Sandgrube Mittelhart (R: 3563440, H: 5357640). Die schwarze Farbe rührt von diversen Oxoverbindungen des Mangans her, die zahlreiche Sandkörner zu der Konkretion verkitten. - Bildbreite: 3 cm.

Abb. 4: 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. Der Fund ist vermutlich nicht autochthon.- Bildbreite: 10 cm.

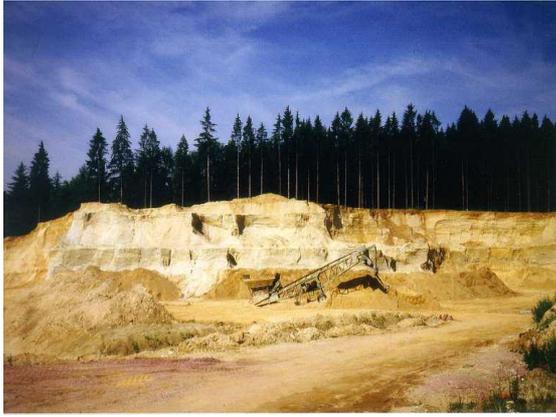
Abb. 5: Vivianit-Konkretionen aus der Sandgrube Reinhau (R: 3562850, H: 5356040). Die intensive bläuliche Farbe rührt von einer partiellen sekundären Oxidation des Eisens her. - Bildbreite: 7 cm.

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. - Bildbreite: 5 cm.

Abb. 7: Verkieseltes Wurzelstück (?) aus den Kirchberg-Schichten der Sandgrube Mittelhart (R: 3563440, H: 5357640). - Breite des Fundstücks: 20 cm (aus BAIER 2008b).

Abb. 8: Ein Handstück aus dem unteren Brockhorizont des Tobels Oelhalde-Nord (R: 3562050, H: 5322800). Die angerundeten oberjurassischen Kalkbrocken „schwimmen“ in der sandigen Matrix der umgebenden tOS-Ablagerung. - Bildbreite: 8,5 cm (aus BAIER 2008b).

Tafel 3



Tafel 4

Abb. 1: Tuffschlot an der Neuffener Steige (R: 3530150, H: 5377950). Dort ist der Kontakt zwischen einem Tuffschlot und dem oberjurassischen Nebengestein beispielhaft aufgeschlossen. Vereinzelt lassen sich in diesem Aufschluss auch die sogenannten „Ersttuffe“ studieren, die nachgesackte Maarfüllungen darstellen dürften (aus BAIER 2008b).

Abb. 2: Vulkanische Bombe aus dem Aufschluß Götzenbühl (R: 3534050, H: 5384600). - Länge der Bombe: 13 cm (aus BAIER 2008b).

Abb. 3: Tuffit aus dem Schlot der Neuffener Steige (R: 3530150, H: 5377950). - Bildbreite: 9 cm.

Abb. 4: Breccientuff aus dem Aufschluß Götzenbühl (R: 3534050, H: 5384600). - Bildbreite: 7 cm.

Abb. 5: „Böttinger Marmor“ (R: 3540750, H: 5364420). Im Handstück kann man die rot-weiße Bänderung gut erkennen, die auch zur Bezeichnung „Bändermarmor“ führte. Der ästhetische Stein wurde früher im Steinbruch gebrochen und für dekorative Zwecke (z. B. zum Bau von Möbelstücken und Wandbekleidungen) verwendet. - Bildbreite: 9 cm.

Abb. 6: Ein Suevit-Handstück (Suevitbruch Seelbronn; R: 3608145, H: 5300850). In der Matrix lassen sich verschiedene Gesteinseinschlüsse und Gläser (schwarze Bereiche) erkennen. Die Bildbreite beträgt 8,5 cm (aus BAIER 2008b).

Tafel 4



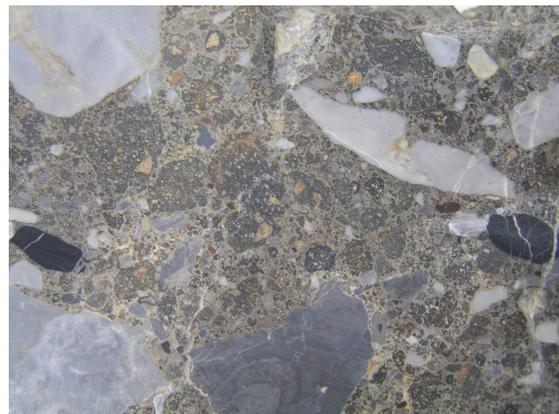
1



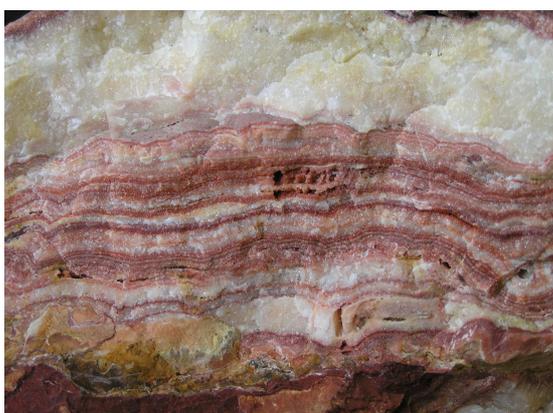
2



3



4



5



6

Tafel 5

Abb. 1: Wurmformige Pyroxenkristalle in einer stark entglasten Glasbombe aus dem Suevitbruch Seelbronn (R: 3608145, H: 5400850). Die Pyroxenkristalle stellen Mineralneubildungen dar, die in der Schmelze auskristallisierten. Die Schmelzen selbst wurden aus den mesozoischen Ablagerungen des Einschlaggebiets gebildet. - Balkenlänge: 50 μm (aus BAIER 2008b).

Abb. 2: Ein Impaktschmelzfluss-Handstück (Polsinger Aufschluß; R: 4405250, H: 5420800). Diese Schmelzen wurde aus den Gesteinen des Grundgebirges gebildet und während des Impakts an die Erdoberfläche befördert. - Bildbreite: 8 cm.

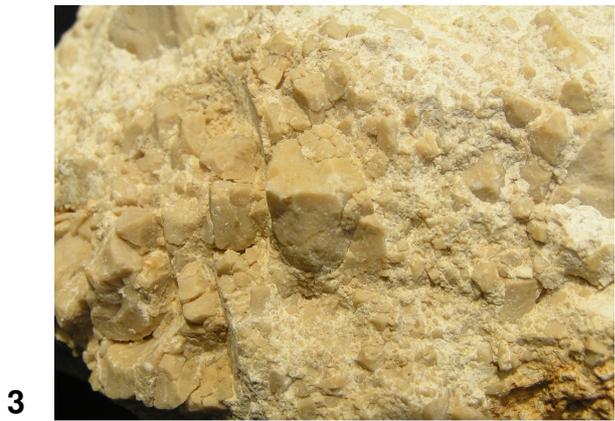
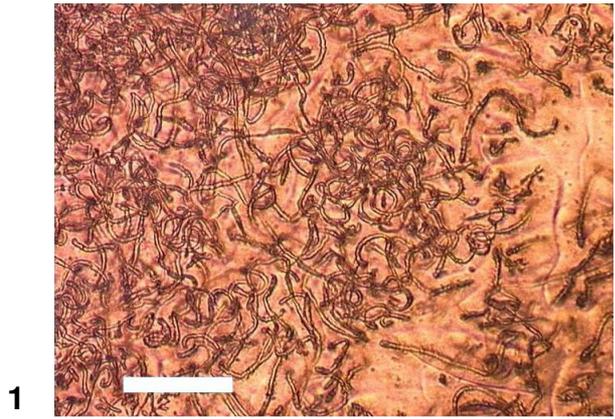
Abb. 3: Ein Handstück mit dichter Zerklüftung und Mörtelstruktur (Aufschluß E von Iggenghausen; R: 3601560, H: 5399520). Die mechanische Beanspruchung des Kalksteins ist gut zu erkennen. - Bildbreite: 7 cm.

Abb. 4: Ein tropfenförmiger Moldavit aus Besednice (Südböhmen). Als Ausgangsgestein konnten die präriesischen Ablagerungen der tOS identifiziert werden. - Länge des Moldavits: 7,5 cm (aus BAIER 2008b) .

Abb. 5: Ein aus Armelechteralgen-Stängeln aufgebautes Handstück aus den Seeablagerungen des Steinhirts. - Bildbreite: 3 cm.

Abb. 6: Ein Handstück mit Massenanhäufung von Planorben-Gehäusen vom Steinhirt. Die Massenanhäufung der Planorben belegt, dass diese gute Lebensbedingungen zum damaligen Zeitpunkt angetroffen haben. - Bildbreite: 3 cm.

Tafel 5



Tafel 6

Abb. 1: Strahlenkalk („shatter cone“) aus dem Steinheimer Becken. Dieses makroskopische Phänomen stellt einen Beleg für den Impakt dar und wurde auch bei anderen Impakt-Kratern gefunden. - Bildbreite: 13 cm (aus BAIER 2008b).

Abb. x: Detailansicht eines Breccien-Handstücks aus dem Steinheimer Becken. Das Gestein wurde während des Impakts zertrümmert und sekundär wieder verfestigt. - Bildbreite: 7 cm.

Abb. 3: Der Blautopf in Blaubeuren. Die Herkunft der namensgebenden Farbe ist bis heute nicht vollständig geklärt. Viele Ursachen werden in der Literatur angeführt (u. a. carbonathaltiges Quellwasser, Eigenfarbe des Wassers, bewachsener Untergrund) und diskutiert.

Abb. 4: Apatitkrusten auf Kalkbrocken aus einer Spaltenfüllung. Das zur Abscheidung benötigte Phosphat-Anion dürften aus Knochen der umgebenden Spaltenfüllung stammen, das Ca^{2+} -Kation vom oberjurasischen Gestein. Die Funde stammen aus einer Karstspalte des Steinbruchs Kleines Lautertal (R: 3565750, H: 5366775). - Bildbreite: 7 cm.

Tafel 6

1



2



3



4

