

## Lebensraum Randecker Maar: Ein Fenster in das Mittelmiozäne Klimaoptimum

Von MICHAEL W. RASSER, Stuttgart, GÜNTER BECHLY, Stuttgart, RONALD BÖTTCHER, Stuttgart, MARTIN EBNER, Tübingen, ELMAR P.J. HEIZMANN, Stuttgart, OLAF HÖLTKE, Stuttgart, CHRISTOPH JOACHIM, Freising, ANDREA K. KERN, São Paulo, JOHANNA KOVAR-EDER, Stuttgart, JAMES H. NEBELSICK, Tübingen, ANITA ROTH-NEBELSICK, Stuttgart, RAINER R. SCHOCH, Stuttgart, GÜNTER SCHWEIGERT, Stuttgart und REINHARD ZIEGLER, Stuttgart.

### ZUSAMMENFASSUNG

Das Randecker Maar ist eine weltbekannte Fossilagerstätte am Nordrand der Schwäbischen Alb und birgt außergewöhnlich gut erhaltene Fossilien aus dem Kratersee und seiner Umgebung. Damit bietet es ein einmaliges Fenster in die Zeit des Mittelmiozänen Klimaoptimums, des letzten Zeitabschnitts mit thermophilen Pflanzen und Tieren in Zentraleuropa (Unter-/Mittelmiozän, Säugerzone MN5). Basierend auf einer paläoökologischen Auswertung von 363 Pflanzen- und Tier-Taxa sowie der geologischen Rahmenbedingungen kann der Lebensraum Randecker Maar folgendermaßen charakterisiert werden: (1) Artenarme profundale und pelagische Lebensräume mit teilweise laminierten Sedimenten (unter anderem bituminöser Dysodil). (2) Litorale Lebensräume mit einem schmalen Schilfgürtel und auf den Pflanzen lebenden Insekten und Napfschnecken. Zeitweise gab es Massenvorkommen bestimmter Insekten, Amphibien oder Fische. (3) Kraterländer und umgebendes Plateau waren charakterisiert durch subhumid-sklerophylle bis „mixed mesophytic“ Wälder. Aus den Fossilien des Randecker Maars lassen sich deutliche Paläoklima-Proxies ablesen.

**Schlüsselwörter:** Randecker Maar, Miozän, Rekonstruktion fossiler Lebensräume, Fossilagerstätte.

### ABSTRACT

The Randecker Maar is a well-known fossil Lagerstätte at the northern margin of the Swabian Alb, with exceptionally well preserved fossils from the lake environment and its surroundings. As such, it offers a unique window into the time frame of the Mid-Miocene Climatic Optimum, which was the last period with remarkably thermophilous plants and animals in Central Europe (Early/Middle Miocene, Mammal Neogene Zone MN5). Based on the palaeoecological analysis of 363 plant and animal taxa as well as on the geological background, the palaeoenvironment and the habitats of the Randecker Maar can be characterized as follows: (1) Profundal and pelagic environments with a low species diversity and laminated sediments, among others the so-called dysodil. (2) The littoral with a narrow reed belt with insects and freshwater limpets living on the exposed stems. Short-termed mass-occurrences of some insects, amphibians and fish also existed. (3) The crater wall and the surrounding plateau was characterized

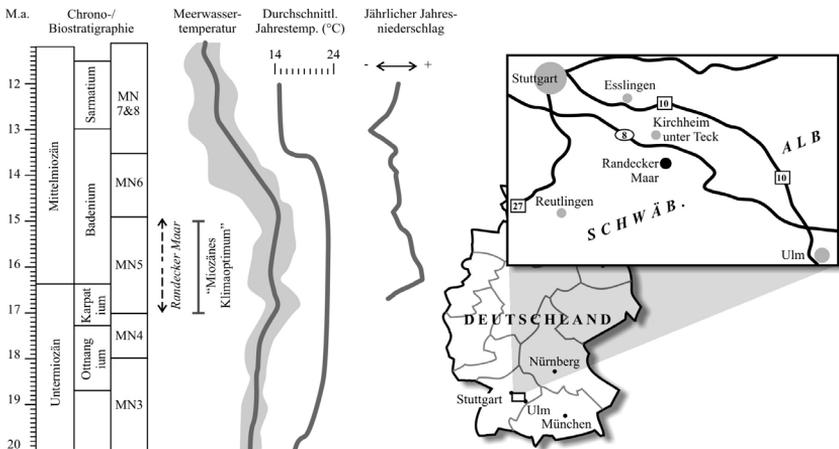
by subhumid sclerophyllous to mixed mesophytic forests. Fossils of the Randecker Maar also provide good palaeoclimatic proxies.

**Keywords:** Randecker Maar, Miocene, reconstruction of fossil habitats, fossil Lagerstätte.

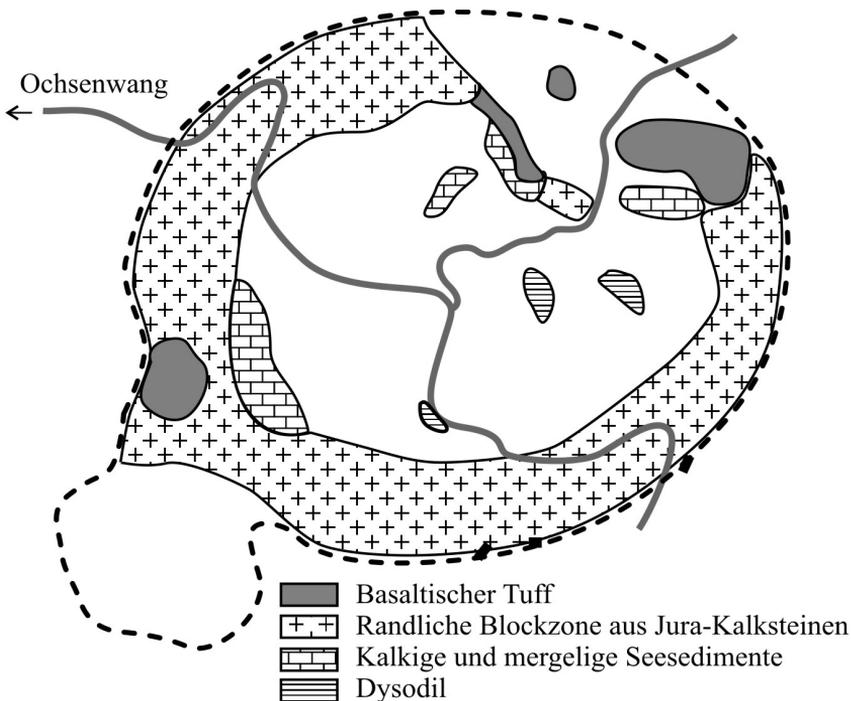
## 1. EINLEITUNG

Das Randecker Maar ist ein fossiler Kratersee, der vor ungefähr 17–15 Millionen Jahren existierte, was der Säugetierzone MN5 entspricht, bzw. dem späten Unter- bis frühen Mittelmiozän. Eine präzisere Einstufung innerhalb von MN5 ist derzeit nicht möglich. Dieser Zeitabschnitt ist auch bekannt als Mittelmiozänes Klimaoptimum (z.B. ZACHOS et al. 2001) (Abb. 1), die letzte Phase mit thermophilen Pflanzen und Tieren in Zentraleuropa und bis zu 5°C wärmeren globalen Temperaturen. Das Randecker Maar ist eine Fossilagerstätte von internationaler Bedeutung, mit ausgezeichnet erhaltenen Fossilien, die einen Eindruck über die Lebenswelt in diesem Zeitabschnitt geben.

Dieses Maar ist eines von ca. 350 vulkanischen Diatremen. Es gehört zum 1.500 km<sup>2</sup> großen Urach-Kirchheimer Vulkangebiet (MÄUSSNEST 1978) und liegt etwa 9 Kilometer SSE der Stadt Kirchheim unter Teck. Es entstand durch eine phreatomagmatische Explosion beim Kontakt von aufsteigendem Magma mit dem Grundwasser (LORENZ 1979) im oberen Unter- bis unteren Mittelmiozän (Abb. 1). Durch diese Explosion entstand ein Krater mit ca. 1.200 m Durchmesser, in dem sich ein Maarsee ohne nennenswerte Zuflüsse bildete (JANKOWSKI 1981).



**Abb. 1:** Geographische und stratigraphische Position des Randecker Maars. Die exakte Lage innerhalb der Säugetierzone MN5 ist unklar. Relative Änderungen der Meerwassertemperaturen nach ZACHOS et al. (2001), durchschnittliche Jahrestemperaturen nach BÖHME (2003), Jahresniederschlag nach BÖHME et al. (2011).



**Abb. 2:** Geologische Karte des Randecker Maars. Der nördliche Teil ist durch den Albtrauf angeschnitten und erodiert.

Rekonstruktionen von KRAUTTER & SCHWEIGERT (1991) ergaben eine geschätzte maximale Wassertiefe von bis zu 130 m, wobei das Paläorelief mindestens 220 m betragen haben muss (RASSEK et al. 2014). Von den fossilreichen Sedimenten sind heute nur noch geschätzte 60 m erhalten. Die rückschreitende Erosion des Schichtstufenlands schnitt das Randecker Maar an und verursachte eine tiefgreifende Ausräumung der Seesedimente, weshalb das Randecker Maar heute eine Amphitheater-artige Struktur aufweist, die sich auch in der geologischen Karte widerspiegelt (Abb. 2). Diese Erosion hatte außerdem den Nebeneffekt, dass die Seesedimente heute kaum noch im Verband vorkommen, sondern meistens als einzelne, abgerutschte Schollen vorliegen, wodurch eine fazielle Rekonstruktion des Sees erschwert wird (JANKOWSKI 1981).

Entdeckt wurde das Randecker Maar im Zuge intensiver Suche nach brennbaren Bodenschätzen im 19. Jahrhundert, die für kurze Zeit sogar zu einem Abbau der „Dysodil“ oder „Blätterkohle“ genannten, bituminösen Laminite führte. Hierbei wurde man schnell auf den ungewöhnlich gut erhaltenen Fossilbestand aufmerksam. Gezielte Grabungen wurden erst in den späten 1920er und 1930er Jahren von L. ARMBRUSTER (Berlin) und R. SEEMANN (Stuttgart) durchgeführt, sowie später von F. WESTPHAL (Tübingen) im Jahr 1962. Im Jahr 2009 begannen

wiederholte Forschungsgrabungen des Staatlichen Museums für Naturkunde Stuttgart unter der Leitung von M. RASSER in Kooperation mit der Universität Tübingen (zusammengefasst in SCHWEIGERT & BECHLY 2001, RASSER et al. 2014).

Neben der Beschreibung eines 2,5m umfassenden Detailprofils von WESTPHAL (1963) und HILTERMANN (1980) ist ansonsten nur ein grobes, wenn auch 82 m langes Profil mit Vulkaniten und Laminiten aus einer entsprechend ungenauen Meißelbohrung bekannt (KRAUTTER & SCHWEIGERT 1991). Die detaillierteste modernere geologische und sedimentologische Arbeit über das Randecker Maar stammt von JANKOWSKI (1981). Umfassendere Arbeiten liegen über einzelne Fossilengruppen vor, unter anderem über Pflanzenreste (RÜFFLE 1963; GREGOR 1986), Gastropoden (SALVADOR et al. 2015), Insekten (ARMBRUSTER 1938; SCHAWALLER 1986; JOACHIM 2010) und Amphibien (WESTPHAL 1977; SCHOCH & RASSER 2014). Ein erster Ansatz zu einer Rekonstruktion der Lebensräume in einer grafischen Darstellung findet sich bei LÖFFLER & WESTPHAL (1982). Zusammenfassungen finden sich bei SCHWEIGERT (1998), SCHWEIGERT & BECHLY (2001) und RASSER et al. (2013a, 2014).

Der vorliegende Artikel ist ein Literatur-Review über das Randecker Maar mit Schwerpunkt auf der Rekonstruktion des Lebensraums Randecker Maar und seiner Umgebung, wie sie in der umfangreichen Veröffentlichung von RASSER et al. (2013a) dargestellt wurde. Ausführliche Darstellungen mit Literaturangaben und Auflistungen der 343 bislang bekannten Taxa finden sich dort, weshalb hier auf eine Wiederholung verzichtet wurde.

## 2. BIOSTRATIGRAPHIE

Die zeitliche Einstufung des Randecker Maars basiert im Wesentlichen auf den vorkommenden Kleinsäugetern und hier im Speziellen auf den Nagetieren. Eine absolute Datierung des vulkanischen Gesteins ist aufgrund seiner starken Verwitterung nicht möglich (Details und Literatur in RASSER et al. 2013a, 2014). Der beste stratigraphische Indikator ist der Eomyide *Keramidomys thaleri* (Taf. 4, Fig. 1), ein ausgestorbenes mäuseähnliches Tier. Dieses ist ausschließlich aus der Säugetierzone MN5 bekannt, was einem Alter zwischen 15 und 17 Millionen Jahren entspricht (Abb. 1). Ein weiterer Indikator für MN5 ist der hamsterartige *Neocometes* aff. *similis* (Taf. 4, Fig. 2). Eine genauere Einstufung innerhalb dieser Zone ist allerdings nicht möglich, da die leitende Gattung *Megacricetodon* am Randecker Maar nicht nachgewiesen werden konnte.

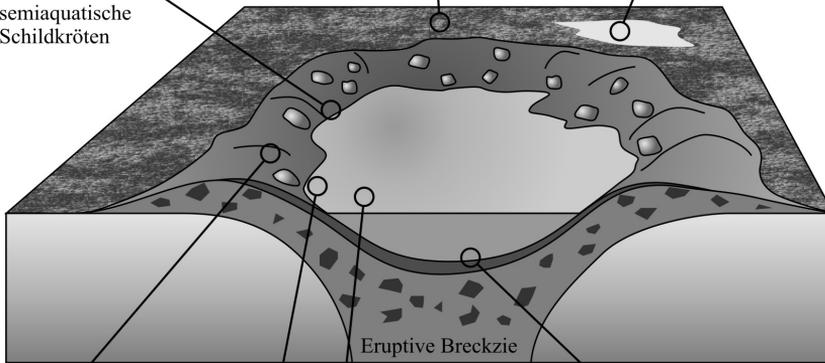
## 3. REKONSTRUKTION

Das Randecker Maar als fossiler Lebensraum wurde im Detail erstmals von RASSER et al. (2013a) rekonstruiert. Die Autoren benutzten dafür ein breites Spektrum an geologischen und paläontologischen Befunden, die sowohl aus Literaturdaten als auch aus der Neubearbeitung von altem Sammlungsmaterial sowie aus neuen Grabungen stammen (RASSER et al. 2014). Eine Rekonstruktion der Lebensräume zum Zeitpunkt der größten Ausdehnung und Tiefe der Seeentwicklung ist in Abb. 3 wiedergegeben.

**Hinterland:** Subhumide sklerophylle bis "mixed mesophytic" Wälder mit Insekten (Larven von Haarmücken und Trauermücken), Landschnecken (*Discus*), Amphibien (*Albanerpeton*), Pferden (*Anchitherium*, *Cainotherium*)

**Uferbereich:** Steile Kraterwände und schmaler Schilfgürtel mit charakteristischer Vegetation (*Chenopodiaceae*, Farne, *Poaceae*, Riedgräser) mit Libellen und Napfschnecken auf exponierten Stängeln; terrestrische Käfer sowie terrestrische bis semiaquatische Schildkröten

**Offene Habitats:** Erdhörnchen, Hamster, Rüsseltiere (*Gomphotherium*), hornlose Nashörner, Rinder, Schildkröten ("*Testudo*")



**Ringwall:** Weißjura-Kalkblöcke mit Schnecken (*Granaria*) und thermophilen Insekten (*Zyganidae*) auf sonnenexponiertem Kalksubstrat

**Pelagial:** Schwimmende Insekten und kurzzeitig Fische

**Profundal:** Laminierte Sedimente, zeitweise anoxische Bedingungen (Dysodil) ohne benthisches Leben

**Oberes Littoral:** Flaches Wasser mit Chara-Algen und Salden, planorbiden und lymnaeiden Schnecken, aquatischen Schildkröten, Krokodilen sowie verschiedenen Amphibien

**Abb. 3:** Rekonstruktion des Randecker Maars und seines Umlands. Verändert nach RASSER et al. (2013).

Wie oben dargestellt, war das Randecker Maar ein typischer Kratersee mit relativ geringem Durchmesser, steilen Hängen und einer geschätzten maximalen Wassertiefe von bis zu 130 m. Das Besondere daran ist, dass es sich dabei um ein hydrologisch geschlossenes System handelte, weil der Kraterwall eine Barriere bildete und dadurch Zu- und Abflüsse fehlten. Daher konnten klimatische Änderungen durch Niederschläge und/oder Evaporation deutliche Seespiegelschwankungen verursachen. Außerdem kam es durch den Wall zu einem Schutz vor Winddrift an der Wasseroberfläche und damit zu einer geringeren Durchmischung des Wassers. Diese führte häufig zu anoxischen Bedingungen, was reduziertes Bodenleben zur Folge hatte, und somit laminierte Sedimente mit ausgezeichnetem Fossilisationspotential.

### 3.1 Tiefes und offenes Wasser

Sedimente des tieferen, wenig bis nicht bewegten Wassers zeichnen sich durch Laminite aus. Diese können karbonatisch und mergelig oder auch bituminös und

reich an organischem Material ausgebildet sein. In letzterem Falle spricht man von Dysodil (Papierschiefer, Blätterkohle), welcher auf anoxische und damit lebensfeindliche Bedingungen hinweist. Darauf deutet auch die Abwesenheit von Bioturbation und anderen Hinweisen auf Bodenleben hin. Dies ermöglichte eine besonders gute Fossilerhaltung, vor allem bei Pflanzenresten und Insekten. Problematisch ist jedoch die Konservierung, da sich der Dysodil nach dem Trocknen einrollt und rasch zerfällt. Dies erschwerte eine dauerhafte Erhaltung und eine Bearbeitung des Materials.

Zum Plankton könnten Diatomeen und Ostrakoden gehört haben, auch wenn bislang nur bodenlebende Diatomeen bekannt sind. Manche Wasserinsekten, wie die Notonectidae (Rückenschwimmer), bewohnten sowohl Uferbereiche als auch offenes Wasser. Fische waren extrem selten, aber die Ursache dafür ist unklar. Bislang ist nur ein einziges Handstück mit zahlreichen Exemplaren von *Paralebias* aff. *weileri* (Taf. 3, Fig. 1) bekannt geworden. Dies ist möglicherweise eine Auswirkung des Wasserchemismus (JANKOWSKI 1981).

### 3.2 Litoral und Supralitoral

Unter den Pflanzenfossilien gibt es deutliche Anzeiger für ein Flachwasser- und Uferbiotop mit Armleuchteralgen (Characeen) und den salztolerierenden Salden (*Ruppia*) (Taf. 1, Fig. 1), die im Substrat verwurzelt waren. Weiderichgewächse (Lythraceae) (Taf. 1, Fig. 2) hatten wahrscheinlich Schilf-ähnliche Wuchsformen mit hoch wachsenden Stängeln, die über den Wasserspiegel hinaus ragten. Riedgräser (Cyperaceae), Süßgräser (Poaceae) und Gänsefußgewächse (Chenopodiaceae) wuchsen in Feuchthabitaten am Rande des Sees. Entsprechend der allgemeinen Maar-Topographie mit steilen Kraterwänden dürften diese Uferbiotope nur schmal gewesen sein. Die aus dem Wasser ragenden Pflanzenstängel boten ideale Habitate für die Napfschnecke *Ferrissia deperdita* (Taf. 2, Fig. 7) und Libellen, welche dort jagten, sich fortpflanzten und ihre Eier ablegten. Massenvorkommen von Libellenlarven (Libellulidae) (Taf. 2, Fig. 1) könnten – in Analogie zu ihren rezenten Verwandten – auf die Existenz von sonnendurchfluteten Flachwasserbereichen mit Weichsubstrat hinweisen. Das gleiche Habitat wurde von Waffenfliegen (Stratiomyidae) bevorzugt, und auch benthische Diatomeen lebten in der durchlichteten litoralen Zone.

Unter den Vertebraten lebte hier die Schildkröte *Chelydropsis* voll aquatisch, wahrscheinlich ähnlich den rezenten Schnappschildkröten, die am reich bewachsenen Boden im flacheren Wasser zu finden sind. Weiters bewohnten die kleine Schildkröte *Clemmydropsis* sowie die Lungenschnecken *Gyraulus kleini*, *Planorbarius cornu* und *Lymnaea* cf. *dilatata* dieses Habitat. Auch das Krokodil *Diplocynodon* (Taf. 3, Fig. 2) lebte hier neben verschiedenen Amphibien, wie Fröschen (Taf. 3, Fig. 3) oder dem erst kürzlich beschriebenen Randecker Molch *Ichthyosaura randeckensis* (SCHOCH & RASSER 2014) (Taf. 3, Fig. 4). Die terrestrische bis semiaquatische Schildkröte *Ptychogaster* dürfte ebenfalls an der Uferlinie gelebt haben.

Die meisten der terrestrischen Käfer lebten wahrscheinlich in direkter Umgebung des Ufers – manche als Bodenbewohner im Schilfgürtel (Carabidae,

Staphylinidae), andere als Bewohner der umgebenden Vegetation (Curculionidae, Chrysomelidae) (Taf. 2, Fig. 2). Die größte Gruppe war jene der Blattkäfer (Chrysomelidae) und der Kurzflügler (Staphylinidae). Manche der letzteren sind verwandt mit *Bembidion/Tachys*, welche heute in feuchten, ufernahen Biotopen leben, wo sie unter anderem Schnecken jagen.

### 3.3 Terrestrische Lebensräume

Aufgrund der speziellen geologischen Situation waren die Ränder des Kraters steil, wodurch die einzelnen Bereiche verschieden stark der Sonneneinstrahlung ausgesetzt waren. Dies führte zu unterschiedlichen Temperaturbereichen und Wasserbilanzen (Zusammenfassung in JOACHIM 2010). So waren die trockeneren und wärmeren Bereiche der Hänge wahrscheinlich das bevorzugte Habitat von wärmeliebenden Insekten wie Asilidae, Bombyliidae, Cicadidae, Tettigoniidae und Zyganidae (Taf. 2, Fig. 3). Letztere könnten auch auf sonnenexponierten Jurakalk-Blöcken der weiteren Umgebung gelebt haben, ein Habitat, welches auch für die Kornschncke *Granaria* (Taf. 2, Fig. 8) typisch ist.

Die Funde von fossilen Blättern, Früchten und Pollen ergänzen einander (Zusammenfassung in RASSER et al. 2013a). Unter den Blättern und Früchten gibt es zahlreiche Taxa, die saisonale Trockenheit anzeigen oder tolerieren und dadurch auf die Existenz subhumider, sklerophyller Wälder (KOVAR-EDER et al. 2012) hinweisen. Dazu gehören „*Acacia*“ *parschlugiana*, *Cedrelospermum*, Zürgelbaum (*Celtis*), Zypressengewächse (Cupressoideae), *Engelhardia* (Taf. 1, Fig. 3), *Podocarpium*, *Zelkova* und *Zizyphus*. Weitere häufige Taxa sind Götterbaum (*Ailanthus*) (Taf. 1, Fig. 4), *Daphnogene*, Blaseneschchen (*Koelreuteria*), *Laurophyllum pseudo-princeps*, *Magnolia* und andere. Vertreter der Sumpfzypressen (Taxodiodeae) fehlen bei den Makrofossilien, unter den Pollen sind sie extrem selten. Somit fehlen Hinweise auf sumpfige Lebensräume in der unmittelbaren Umgebung.

Die Pollen belegen darüber hinaus ein breites Spektrum an sommergrünen Gehölzen, wie *Carya* (Hickory, Taf. 1, Fig. 5), *Castanea* (Kastanie), *Pterocarya* (Flügelnuß, Taf. 1, Fig. 6), *Quercus* (Eiche), *Ulmus* (Ulme, Taf. 1, Fig. 7), *Tilia* (Linde, Taf. 1, Fig. 8). Immergrüne Gewächse waren hier vertreten durch Rautengewächse (Rutaceae), Myrtengewächse (Myrtaceae), Stechpalmen (*Ilex*), Sapotaceae und Oleaceae, die auf „mixed mesophytic forests“ (KOVAR-EDER et al. 2012) hinweisen. Araliaceae und Weinrebengewächse (Vitaceae) weisen auf die Existenz von lianenartigen Pflanzen hin. Hier lebten auch Insekten, deren rezente Verwandte dichte Vegetation, Laubstreu und größere Mengen von Humus bevorzugen (Larven von Bibionidae, Taf. 2, Fig. 4), Sciaridae (Taf. 2, Fig. 5), Mycetophilidae). Vertreter der Phoridae und Pipunculidae bevorzugten feuchte, schattige Habitate und fauliges Holz. Dieses Habitat wäre auch ein geeigneter Lebensraum für die Amphibie *Albanerpeton* (Taf. 3, Fig. 5) gewesen. Weiters waren die Schnecken *Pseudoleacina eburnea*, *Leucochroopsis kleini* und *Pseudochloritis incrassata* wohl typische hygrophile Waldbewohner, während *Pomatias conica* eher unter mesophilen Bedingungen lebte. *Discus* sp. und *Helicodonta involuta* (Taf. 2, Fig. 9) bevorzugten ebenfalls humide und schattige Plätze unter Steinen, Laub und to-

tem Holz, wie es auch bei ihren lebenden Verwandten der Fall ist. Die Vertreter der xerophilen *Granaria* (Taf. 2, Fig. 8) sind ein Hinweis für das Vorhandensein von trockenen und besonnten Bereichen. Unter den vorgefundenen Kleinsäu- gern bevorzugten Bilche (z. B. *Bransatoglis cadeoti*, Taf. 4, Fig. 3), Eomyidae und die Insekten fressenden Rattenigel (Galericinae) bewaldete Lebensräume. Unter den Großsäugetieren gab es hier das Pferd *Anchitherium aurelianense* (Taf. 4, Fig. 5), den Paarhufer *Cainotherium* und das Hirschferkel *Dorcatherium* (Taf. 4, Fig. 6).

Die Umgebung des Randecker Maars war durch eine Vielfalt unterschiedlicher Habitate gekennzeichnet, von eher geschlossenen Wäldern bis hin zu offeneren Habitaten. So werden die fossilen Überreste von Kleinsäu- gern gewöhnlich als Anreicherung in Speiballen von Eulen interpretiert. Dies bedeutet, dass sich zumindest teilweise das Habitat der Kleinsäu- ger mit jenem ihrer Räuber überschneiden haben muss. Einige der Kleinsäu- ger weisen auf offene Habitate hin, darunter die Erdhörnchen der Gattung *Heteroxerus* und Hamsterartige (z. B. *Democricetodon gracilis*, Taf. 4, Fig. 4), welche 16% der Kleinsäu- gerfauna darstellen. Das Rüsseltier *Gomphotherium* (Taf. 4, Fig. 7) und einzelne Nashörner dürften ebenfalls eher offene Habitate bevorzugt haben, wie auch die Schildkröte „*Testudo*“ s.l. (Taf. 3, Fig. 6). Die giraffenartige *Palaeomeryx bojani* (Taf. 4, Fig. 8) lebte in offenen Parklandschaften.

Hingegen werden die hornlosen Nashörner *Prosantorhinus* und *Brachypotherium* (Taf. 4, Fig. 9) generell als Bewohner von sumpfigen Lebensräumen in Gewässernähe interpretiert, vergleichbar mit jenen von Flusspferden. Die äußerste Seltenheit von Vertretern der Taxodioidae unter den Pollen und die Steilheit der Kraterhänge weisen allerdings auf eine eher geringe Verbreitung derartiger Habitate hin.

### 3.4 Paläoklima

Eine besonders spannende Frage zum Randecker Maar ist, welche Aussagen über das Klima in Südwest-Deutschland zur Zeit des Miozänen Klimaoptimums möglich sind. Basierend auf Pflanzenfossilien gab es Berechnungen für die durchschnittliche Jahrestemperatur, die zwischen 15 und 16,5°C liegen sowie für einen jährlichen Niederschlag zwischen 1.000 und 2.000 mm (Literatur und Details in RASSER et al. 2013a). Anhand des Vorkommens von Amphibien errechnete BÖHME (2003) eine durchschnittliche Jahrestemperatur von 17,4–20 bzw. 22°C und Phasen mit Trockenheit von bis zu sechs Monaten. Diese trockenen Phasen werden weiterhin durch den Integrated Plant Record (IPR) unterstützt (KOVAR-EDER & KVAČEK 2007), der einen subhumiden, sklerophyllen Wald als wahrscheinlichsten Vegetationstyp rekonstruiert.

Aber auch unter den Insekten des Randecker Maars gibt es diverse Klima-Proxies, die auf warmes Klima hindeuten (Details und Literatur in RASSER et al. 2013). Ein wichtiger Proxy sind die Termiten (Isoptera) (Taf. 2, Fig. 6), die ihre größte Diversität in warmen bis tropischen Gebieten erreichen. Auch Haarmücken der Gattung *Plecia* kommen vorwiegend in tropischen bis warm-temperierten Gebieten vor. Die Familie der Fanghaften (Mantispidae) ist heute am häufigsten

in warmen Klimaten vertreten, in Europa vorwiegend im Mittelmeergebiet. Ein weiterer Indikator für ein warm-temperiertes Klima am Randecker Maar ist das Vorkommen bestimmter Rückenschwimmer (Anisopinae).

#### 4. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Vorliegende Zusammenfassung der Lebensräume des Randecker Maars und seiner Umgebung sowie die Schlussfolgerungen zum Paläoklima beruhen auf der Analyse von mehreren 10.000 Museumsobjekten und 363 Taxa. Sie belegen die Stärke von sammlungs- und taxonomiebasierter Erforschung fossiler Lebensräume. Allerdings ergaben sich bei der Bearbeitung auch Widersprüche, wie sie in RASSER et al. (2013a) diskutiert werden. Diese sind teilweise das Ergebnis ungenügender Dokumentationen über die genaue Herkunft von fossilem Material aus historischen Aufsammlungen. Im Detail ist oft nicht klar, ob die analysierten Fossilien tatsächlich immer zeitgleich auftraten, oder ob wir es nicht zumindest teilweise mit einer zeitlichen Wechselfolge verschiedener Ökosysteme und Klimabedingungen zu tun haben.

Aus diesem Grund wird das Staatliche Museum für Naturkunde zusammen mit der Invertebraten-Paläontologie der Universität Tübingen auch weiterhin Forschungsgrabungen durchführen. Wie der letzte Grabungsbericht in den Jahreshften von RASSER et al. (2013b) zeigte, handelt es sich beim Randecker Maar nämlich um ein überraschend dynamisches Seesystem.

#### DANKSAGUNGEN

Die Autoren danken der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg, allen voran Herrn WALTER SCHALL, für die Verleihung des Walter-Schall-Preises, mit welchem junge Forscher unterstützt werden sollen und somit die Erforschung Randecker Maars vorangetrieben wird. Die Grabungen wurden finanziert vom Staatlichen Museum für Naturkunde und durchgeführt unter Beteiligung von Studenten der Universität Tübingen, denen wir für Ihre Mithilfe danken, ebenso wie zahlreichen Präparatoren des Stuttgarter Museums, allen voran M. BATTENSTEIN und A. LEHMKUHL. Den zuständigen Behörden, die für Naturschutz und Landesdenkmalschutz zuständig sind, danken wir für die rasche und unbürokratische Unterstützung unserer Arbeit, wie auch der Gemeinde mit Bürgermeister M. MUSOLF und dem Grundstückspächter H. SCHEMPP. Wertvolle Unterstützung kam vor allem auch von W. WOHNHAS und S. BERGER vom Naturschutzzentrum Schopflocher Alb.

#### LITERATUR

ARMBRUSTER, L. (1938): Versteinerte Honigbienen aus dem obermiocänen Randecker Maar. – *Archiv für Bienenkunde*, **19**: 1–48, 73–93, 97–133.

BÖHME, M. (2003): The Miocene Climatic Optimum: evidence from ectothermic vertebrates of Central Europe. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **195**: 389–401.

BÖHME, M., WINKLHOFER, M. & A. ILG (2011): Miocene precipitation in Europe: Temporal

- trends and spatial gradients. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **304**: 212–218.
- GREGOR, H.-J. (1986): Zur Flora des Randecker Maares (Miozän, Baden-Württemberg). – *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde B*, **122**: 1–29.
- HILTERMANN, H. (1980): Ein limnisches Jungtertiär-Profil aus dem Randecker Maar (Schwäbische Alb). – *Mitteilungen der bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie*, **20**: 175–186.
- JANKOWSKI, B. (1981): Die Geschichte der Sedimentation im Nördlinger Ries und Randecker Maar. – *Bochumer Geologische und Geotechnische Arbeiten*, **6**: 1–315.
- JOACHIM, C. (2010): Biodiversität und Palökologie fossiler Insekten des Randecker Maar (Unter-Miozän, SW-Deutschland). – *Documenta Naturae*, **179**: 1–116.
- KOVAR-EDER, J., KNÖRR, U.C. & P. MAZOUCH (2012): Fruit Ecology of Eocene and Neogene plant assemblages in Europe: tracing shifts in dispersal syndromes. – *Palaios*, **27**: 523–540.
- KRAUTTER, M. & G. SCHWEIGERT (1991): Bemerkungen zur Sedimentation, Flora und dem Paläoklima des Randecker Maars (Unter-/Mittel-Miozän, Schwäbische Alb). – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, 1991: 505–514.
- LÖFFLER, T. & F. WESTPHAL (1982): Eine Salamandriden-Larve aus dem Jungtertiär des Randecker Maars (Schwäbische Alb). – *Jahreshefte der Gesellschaft für Naturkunde in Württemberg*, **137**: 55–63.
- LORENZ, V. (1979): Phreatomagmatic origin of the olivine melilitite diatremes of the Swabian Alb, Germany. – In: BOYD, F.R. & H.A.A.MEYER (Hrsg.): Kimberlites, diatremes, and diamonds – their geology, petrology, and geochemistry. *Proceedings of the 2nd International Kimberlite Conference*; S. 354–363. – Washington.
- MÄUSSNEST, O. (1978): Karte der vulkanischen Vorkommen der Mittleren Schwäbischen Alb und ihres Vorlandes (Schwäbischer Vulkan) 1:100.000. – Stuttgart (Landesvermessungsamt Baden-Württemberg).
- RASSER, M.W., BECHLY, G., BÖTTCHER, R., EBNER, M., HEIZMANN, E.P.J., HÖLTKE, O., JOACHIM, C., KERN, A.K., KOVAR-EDER, J., NEBELSICK, J.H., ROTH-NEBELSICK, A., SCHWEIGERT, G., SCHOCH, R.R. & R. ZIEGLER (2013a): The Randeck Maar: Palaeoenvironment and habitat differentiation of a Miocene lacustrine system. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **392**: 426–453.
- RASSER, M.W., BATTENSTEIN, M., DYNOWSKI, J.F., FRIEDRICH, J.-P., GÖHRINGER, F., GREIN, M., JOACHIM, C., KAMENZ, M., KAPITZKE, M., KOBLIZEK, P., LEHMKUHL, A., NEBELSICK, J.H., RIETER, M. & A. ROTH-NEBELSICK (2013b): Ein neues Sedimentprofil vom Randecker Maar (Unter-/Mittelmiozän, Schwäbische Alb). – *Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins*, **95**: 323–336.
- RASSER, M.W., SCHWEIGERT, G., BECKENBACH, E. & T. MÜLLER (2014): The Miocene Randeck Maar (SW Germany): Geological compilation and census of scientific excavations. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, **274**: 209–218.
- RÜFFLE, L. (1963): Die obermiozäne (sarmatische) Flora vom Randecker Maar. – *Paläontologische Abhandlungen*, **1**: 139–298.
- SALVADOR, R., RASSER, M. & O. HÖLTKE (2015): Fossil gastropods from Miocene Lake Randeck Maar and its hinterland (SW Germany). – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, **277**(3): 251–273.

- SCHOCH, R.R., & M.W. RASSER (2013): A new salamandrid from the Miocene Randeck Maar, Germany. – *Journal of Vertebrate Paleontology*, **33**: 58–66.
- SCHAWALLER, W. (1986): Fossile Käfer aus miozänen Sedimenten des Randecker Maars in Südwest-Deutschland (Insecta: Coleoptera). – *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde B*, **126**: 1–9.
- SCHWEIGERT, G. (1998): Das Randecker Maar - ein fossiler Kratersee am Albtrauf. – *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde C*, **43**: 1–70.
- SCHWEIGERT, G. & G. BECHLY (2001): Bibliographie zur Geologie und Paläontologie des Randecker Maars (Unter-Miozän, Südwestdeutschland) 1825–2000. – *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde B*, **302**: 1–12.
- WESTPHAL, F. (1963): Ein fossilführendes Jungtertiär-Profil aus dem Randecker Maar (Schwäbische Alb). – *Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins*, **45**: 27–43.
- WESTPHAL, F. (1977): Miozäne Salamandriden aus dem Randecker Maar. – *Berichte der naturforschenden Gesellschaft Freiburg im Breisgau*, **67**: 393–403.
- ZACHOS, J., PAGANI, M., SLOAN, L., THOMAS, E. & K. BILLUPS (2001): Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. – *Science*, **292**: 686–693.

Adressen der Autoren:

MICHAEL W. RASSER, GÜNTER BECHLY, RONALD BÖTTCHER, ELMAR P.J. HEIZMANN,  
OLAF HÖLTKE, JOHANNA KOVAR-EDER, ANITA ROTH-NEBELSICK, RAINER R. SCHOCH,  
GÜNTER SCHWEIGERT und REINHARD ZIEGLER  
Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart  
Rosenstein 1  
70191 Stuttgart

MARTIN EBNER und JAMES H. NEBELSICK  
Department für Geowissenschaften  
Universität Tübingen  
Sigwartstrasse 10  
72076 Tübingen

CHRISTOPH JOACHIM  
Department of Ecology and Ecosystem Management  
Technische Universität München  
85354 Freising

ANDREA K. KERN  
Institut für Sediment- und Umwelt Geologie  
Universität von São Paulo  
Rua do Lago 562  
São Paulo 05508–080  
Brasilien

Korrespondenz-Email: michael.rasser@smns-bw.de

**Tafel 1. Pflanzen**

- Fig. 1. *Ruppia*, Maßstab = 2 mm, SMNS P1224/146.  
 Fig. 2. *Sideroxylon* sp. (Lythraceae) mit Ausschnitt, Maßstab = 1 cm, SMNS P1224/591.  
 Fig. 3. Frucht von *Engelhardia*, Maßstab = 1 cm, SMNS P24197/2.  
 Fig. 4. Wahrscheinlich *Ailanthus* sp. (*Sapindus falcifolius* sensu Rüffle 1963; siehe RASSER et al. 2013 für Details), Maßstab = 4 cm, SMNS P1600/5.  
 Fig. 5. Pollenkorn von *Carya* sp., Maßstab = 50 µm, SMNS P24198.  
 Fig. 6. Pollenkorn von *Pterocarya* sp., Maßstab = 50 µm, SMNS P24198.  
 Fig. 7. Pollenkorn von *Ulmus* sp., Maßstab = 50 µm, SMNS P24198.  
 Fig. 8. Pollenkorn von *Tilia* sp., Maßstab = 50 µm, SMNS P24198.

**Tafel 2. Invertebraten**

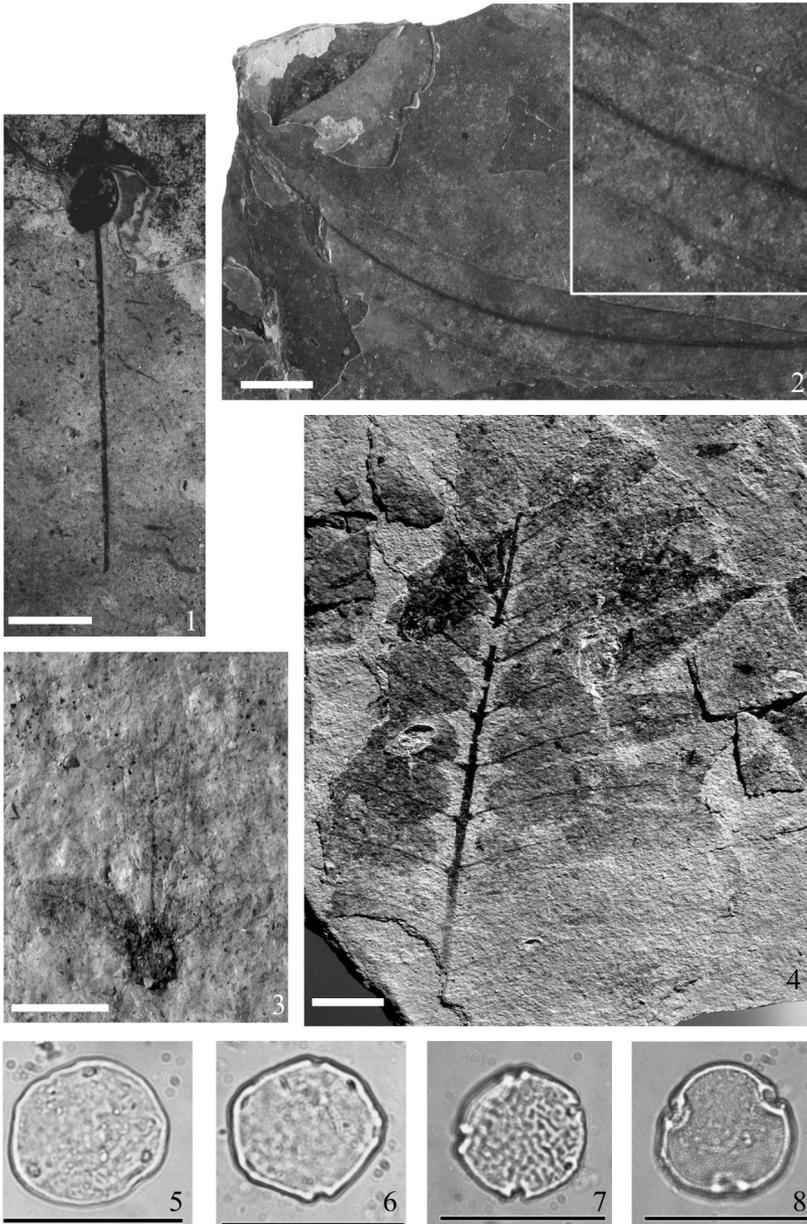
- Fig. 1. Libellenlarven, Maßstab = 2 mm, SMNS 68000.  
 Fig. 2. Chrysomelidae, Maßstab = 2 mm, SMNS 68000/27.  
 Fig. 3. *Zygaena miocenica*, Maßstab = 2 mm, SMNS 22342.  
 Fig. 4. Bibionidae, Maßstab = 2 mm, SMNS 68000/23.  
 Fig. 5. Sciaridae, Maßstab = 1 mm, SMNS 68000/8.  
 Fig. 6. Isoptera, Maßstab = 2 mm, SMNS 68000/21.  
 Fig. 7. *Ferrissia deperdita*, Maßstab = 2 mm, SMNS 101224  
 Fig. 8. *Granaria* sp., Maßstab = 2 mm, SMNS 100796.  
 Fig. 9. *Discus* sp., Maßstab = 1 mm, SMNS 100795.

**Tafel 3. Niedere Vertebraten**

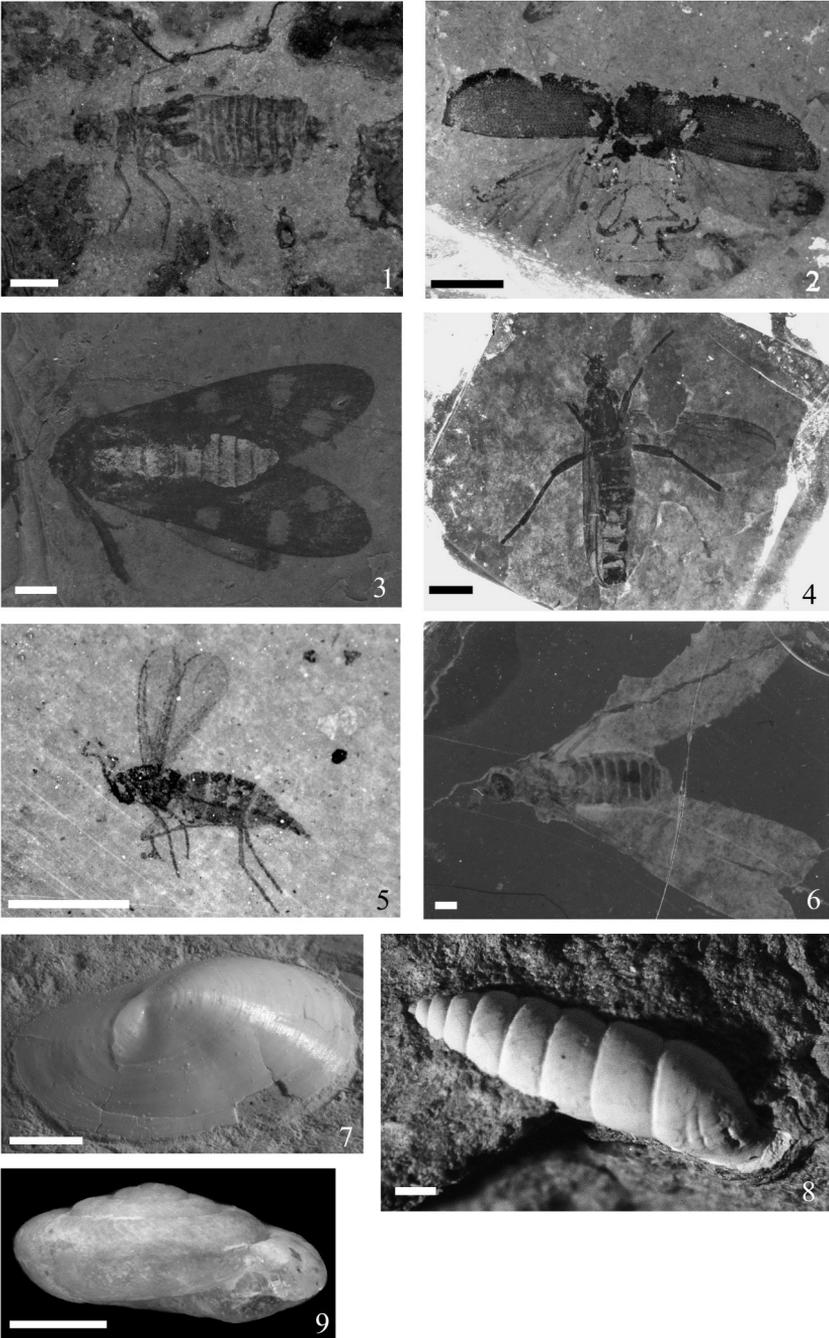
- Fig. 1. *Paralebias* aff. *weileri*, SMNS 58648, Maßstab = 1 cm.  
 Fig. 2. *Diplocynodon* cf. *ungeri*, Maßstab = 5 cm, SMNS 95856.  
 Fig. 3. *Plaeobatrachus hauffianus*, Teile der Hinterbeine ergänzt, Maßstab = 1 cm, SMNS 80175.  
 Fig. 4. *Ichthyosaura randeckensis*, Maßstab = 1 cm, SMNS 95416.  
 Fig. 5. *Albanerpeton inexpectatum*, Kiefer, Maßstab = 1 mm, SMNS 57769/1.  
 Fig. 6. "Testudo" s.l., Panzerplatte, Maßstab = 1 cm, SMNS 96027.

**Tafel 4. Säugetiere**

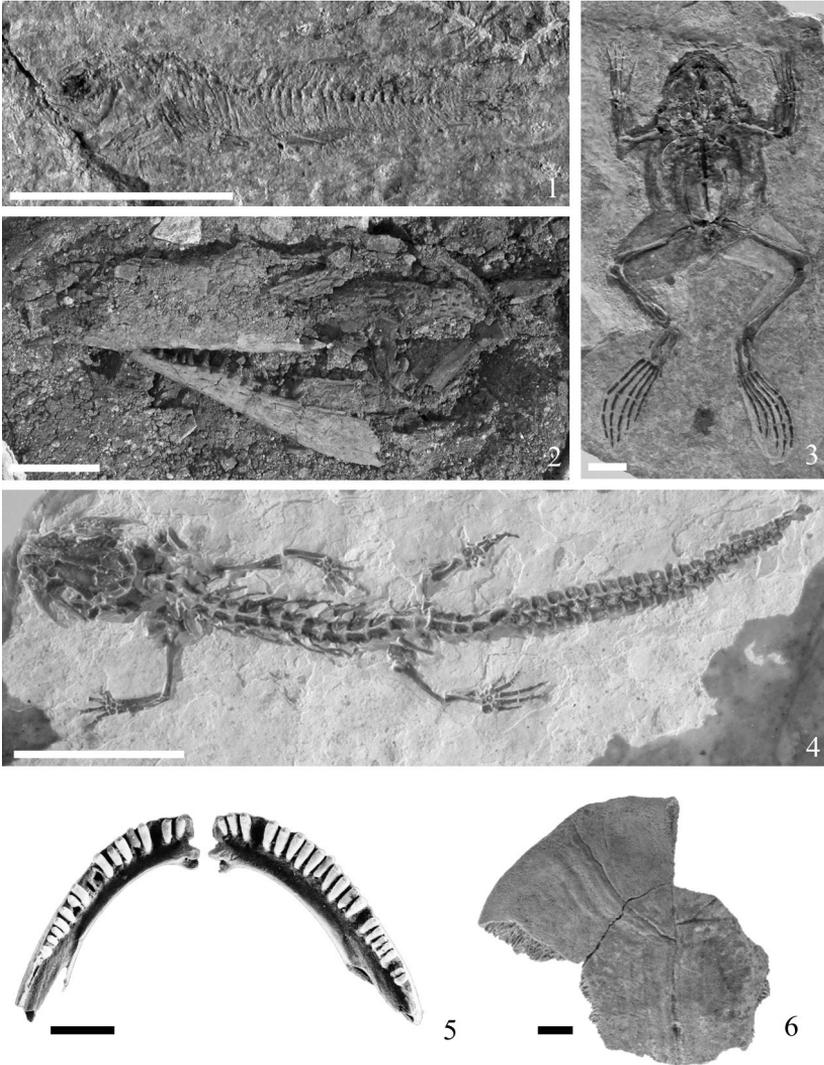
- Fig. 1. *Keramidomys thaleri*, linker M1/2, Maßstab = 1 mm, SMNS 43382B8.  
 Fig. 2. *Neocometes* aff. *similis*, rechter M1 (invers), Maßstab = 1 mm, SMNS 43383H11.  
 Fig. 3. *Bransatoglis cadeoti*, rechter M1 (invers), Maßstab = 1 mm, SMNS 43384Q15.  
 Fig. 4. *Democricetodon gracilis*, linker m1, Maßstab = 1 mm, SMNS 43383A1.  
 Fig. 5. *Anchitherium aurelianense*, rechter M3 (invers), Maßstab = 1 cm, SMNS 10612.  
 Fig. 6. *Dorcatherium* cf. *crassum*, rechtes Kieferfragment mit m1-m2 (invers), a. Kauflächenansicht, b. Ansicht von linker Seite; Maßstab = 1 cm, SMNS 16498.  
 Fig. 7. *Gomphotherium angustidens*, linker m3, Maßstab = 2 cm, SMNS 47722.  
 Fig. 8. *Palaeomeryx bojani*, rechter m3 (invers), Maßstab = 1 cm, SMNS 17420.  
 Fig. 9. *Brachypotherium* sp., linker Astragalus, Maßstab = 2 cm, SMNS 11630.



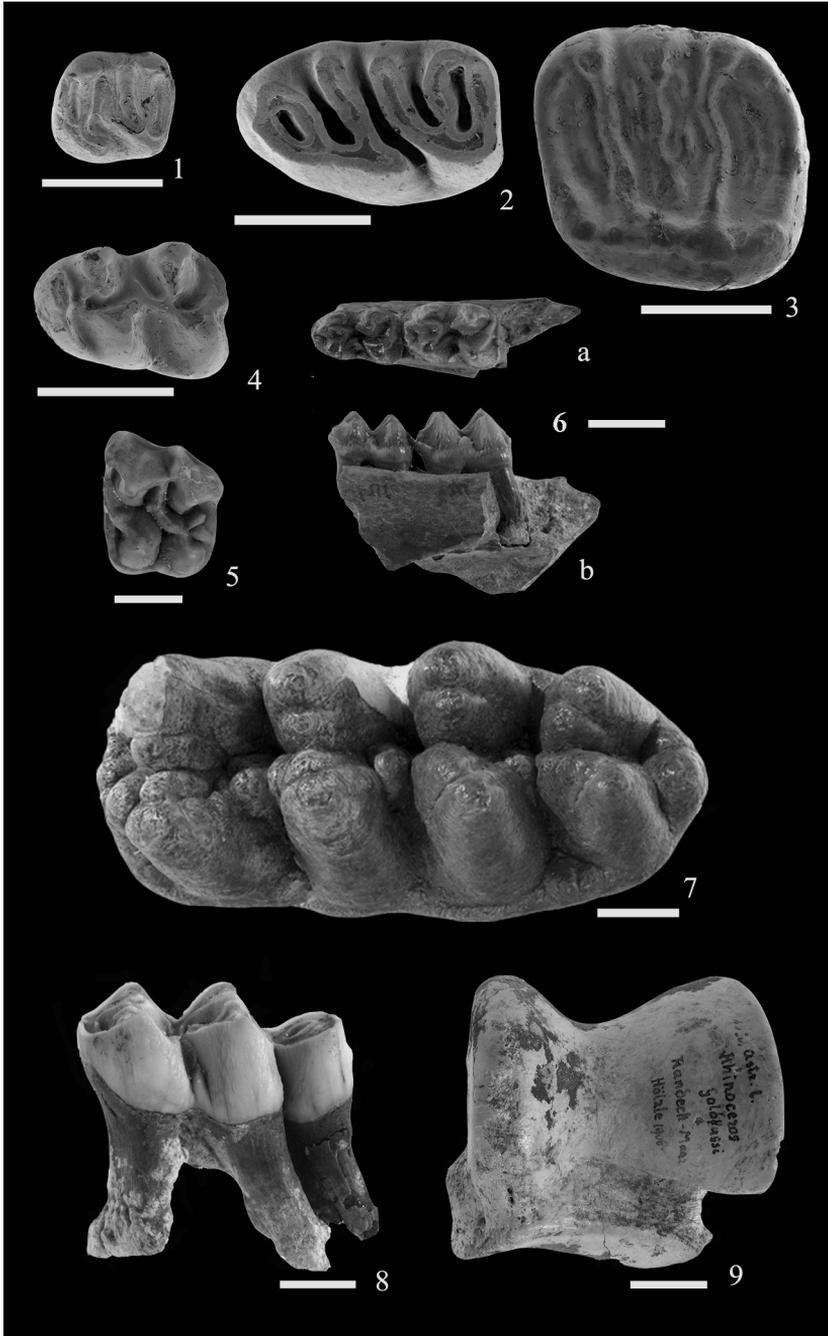
Tafel 1. Pflanzen



Tafel 2. Invertebraten



Tafel 3. Niedere Vertebraten



Tafel 4. Säugetiere