

Süßwassermergel der Kraterrandhöhen des Nördlinger Rieses (Miozän): Relikte einer Aussüßungsphase des Riesees?

VON ¹GERNOT ARP, ¹PHILIPP ULBRICH, ¹ANDREAS REIMER,
¹GERALD HARTMANN & DIETMAR JUNG²

ARP, G., ULBRICH, P., REIMER, A., HARTMANN, G. & JUNG, D. (2017):
Süßwassermergel der Kraterrandhöhen des Nördlinger Rieses (Miozän):
Relikte einer Aussüßungsphase des Riesees? – Geologische Blätter für
Nordost-Bayern, **67**: 19-38, 4 Abb., 1 Taf. und 2 Tab.; Erlangen

Kurzfassung: Sediment-Relikte der sogenannten Aussüßungsphase des miozänen salinaren Riesees wurden am Nordrand des Rieses bei Breitenlohe mittels einer sechs Meter langen Rammkernsondierung untersucht. Die angetroffene Sedimentabfolge weist einen zyklischen Aufbau auf, mit Süßwasser-Kalkmergeln und -Kalken bei niedrigem Wasserstand und sandigen Tonmergeln und Mergel bei höherem Wasserstand. Stabile Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopenwerte der mikritischen Karbonatmatrix belegen leicht erhöhte Salinitäten für die sandigen Tonmergel und Mergel, wohingegen Kalkmergel und Kalke reine Süßwasserbedingungen widerspiegeln. Das Massenvorkommen des Ostrakoden *Cypridopsis* in den Süßwasser-Kalkmergeln kann als Hinweis auf eine Korrelation mit der mittleren Ton-Folge des zentralen Beckens (Bohrung Nördlingen 1973) gewertet werden. Die Kovarianz von $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ deutet zudem auf einen hydrologisch geschlossenen See hin. Die reliktschen Süßwassersedimente der Kraterrandhöhen bei Breitenlohe repräsentieren daher wahrscheinlich keine finale Aussüßungsphase des Riesees, sondern klimatisch bedingte, temporäre Süßwasserbedingungen. Ebenso liefern diese Sedimente keinen Beleg für eine hydrologische Öffnung mit Bildung eines Ausflusses. Das Ende des Riesees mit einer hypothetischen Verlandungsphase ist nicht überliefert.

▪ **Schlüsselwörter:** *Nördlinger Ries, Impaktkrater, Miozän, lakustrin, Stabile Isotopen*

¹Georg-August-Universität Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, Goldschmidtstraße 3, D-37077 Göttingen; Email: garp@gwdg.de

²Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hans-Högn-Straße 12, D-95030 Hof/Saale; Email: dietmar.jung@lfu.bayern.de

Abstract: The sediments of the so-called final freshwater stage of the Miocene Ries crater lake were investigated by a six meter long percussion core near Breitenlohe at the northern Ries margin. The sedimentary succession exhibits a cyclicity, with freshwater calcareous marls and limestones corresponding to low lake level, and arenaceous clayey marls and marls reflecting an increased lake level. Stable isotope ratios of the microcrystalline matrix indicate slightly increased salinities for the arenaceous clayey marls and marls, whereas calcareous marls and limestones reflect pure freshwater conditions. The mass occurrence of the ostracode *Cypridopsis* in the Breitenlohe freshwater sediments points to a correlation with the middle part of the Clay Unit of the central basin (research drilling Nördlingen 1973). Furthermore, the covariation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values indicates hydrologically closed basin conditions. Therefore, the freshwater sediment relics of the crater margin heights at Breitenlohe do not represent a final freshwater stage of the Ries lake, but climate driven, temporary freshwater conditions. Likewise, there is no evidence for the formation of an outlet and hydrological opening. The end of the Ries crater lake with a hypothetical silting-up is not preserved.

▪ **Keywords:** *Nördlinger Ries, impact crater, Miocene, lacustrine, stable isotopes*

Einleitung

Das ca. 15 Ma alte Nördlinger Ries mit seinen gut erhaltenen Seesedimenten (Abb. 1) ist ein Modellsystem für das Verständnis sedimentärer Kraterfüllungen, das auch für Kraterfüllungen auf dem Mars (ARP & HEAD 2014) in Betracht gezogen wird. Die übergeordnete Fragestellung ist hierbei die Differenzierung von kraterinternen (Abtragungsgeschichte, chemische Entwicklung) und äußeren (Klimaveränderungen) Steuerungsfaktoren der Sedimentabfolge (ARP et al. 2013). Während weite Abschnitte der Sedimentationsgeschichte im Zentralkrater infolge der Forschungsbohrung Nördlingen 1973 sehr gut erforscht sind (FÜCHTBAUER et al. 1977; DEHM et al. 1977; JANKOWSKI 1981, SCHAUDERNA 1983, HÖFLING 2003), bestehen allerdings bezüglich der Korrelation von Beckenzentrum- und Beckenrand-Sedimenten sowie Gesamtdauer und Ende des Riesees noch deutliche Unklarheiten, so dass noch kein abgeschlossenes Bild seiner Entwicklungsgeschichte vorliegt.

Die im Kraterzentrum bis 350 m Mächtigkeit (MOSEBACH 1964) erhaltenen Sedimente können auf Grundlage der Forschungsbohrung Nördlingen 1973 in folgende lithostratigraphische Einheiten unterteilt werden (JANKOWSKI 1981):

- I. eine überwiegend grob-siliziklastische Basalfolge (Teufe 314,3-256 m) aus umgelagertem Suevit-Material,
- II. eine Laminatfolge aus feinschichtigen, vielfach bituminösen Tonmergeln (Teufe 256-111 m),
- III. eine von Dolomitmergeln dominierte Mergelfolge (Teufe 111-52 m), sowie
- IV. eine Tonfolge (Teufe 52-0 m) mit eingeschalteten Kalkbänken, Diatomiten und Braunkohle-Flözen.

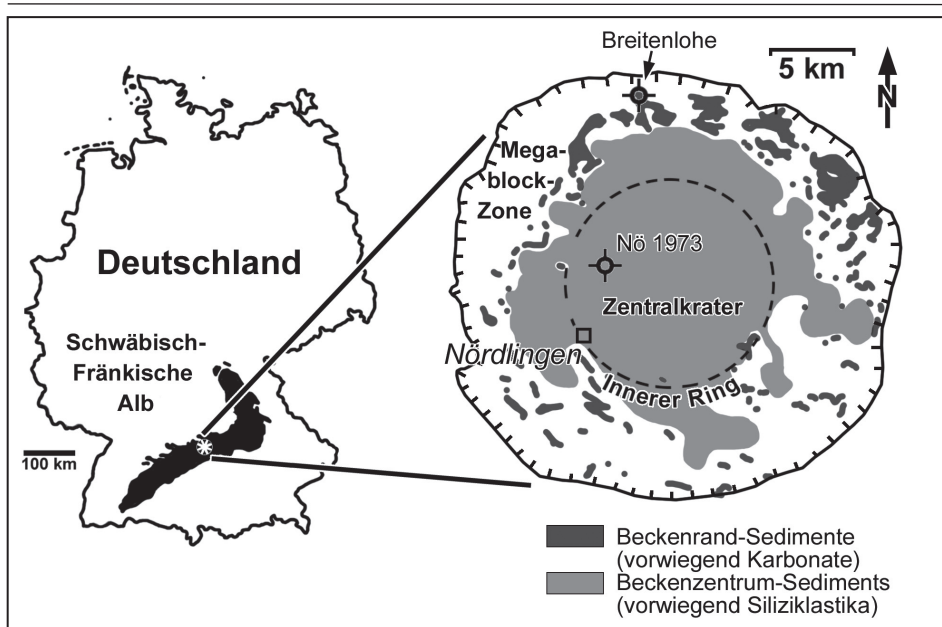


Abb. 1: Überblick zur geographische Lage des Ries-Kraters, seiner Struktur und Sedimentfüllung sowie Lage der Forschungsbohrung Nördlingen 1973 und Rammkernsondierung Breitenlohe.

Fig. 1: Geographic overview of the Ries Crater, its geological structure and sedimentary fill with position of the research drilling Nördlingen 1973 and the percussion drill core Breitenlohe.

Diese Abfolge spiegelt nach FÜCHTBAUER et al. (1977) und JANKOWSKI (1981) eine Entwicklung von (i) einer Salzpflanze (Playa), gefolgt von (ii) einem alkalinen Salzsee (Soda-See: DEHM et al. 1977) mit permanenter Wasserschichtung, über (iii) einen weniger salinaren, ungeschichteten See hin (iv) zu einem Süßwassersee mit temporären Kohlesümpfen wider. Die Salinitätsabnahme während der fortgeschrittenen Seegeschichte ist diesen Autoren zufolge mit einer klimatisch bedingten Zunahme des Süßwassereintrags zu erklären.

Auf den Kraterrandhöhen und Hügeln des kristallinen Ringes dominieren dagegen Karbonate, insbesondere Travertine und Grünalgen-Stromatolith-Riffe mit artenarmer, individuenreicher Fauna und Algenflora (REIS 1926, BOLTEN & MÜLLER 1969, WOLFF & FÜCHTBAUER 1976, RIDING 1979, JANKOWSKI 1981, ARP 1995, HÖFLING 1998, PACHE et al. 2001.). Insbesondere in den höheren Abschnitten der Algenriffe finden sich Hinweise auf marin-ähnliche Bedingungen (Foraminiferen, skeletäre Stromatolithen thalassischer Salzseen) (ARP 1995, ARP et al. 2013). Zusammen mit einem gerichteten Trend in der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopie der Karbonate entwickeln ARP et al. (2013) ein hydrochemisches Modell der Riessee-Entwicklung, welches eine Einwicklung von einem alkalinen Süßwassersee über einen brackischen Sodasee und einen marin-ähnlichen See zu einem hochsalinaren Steinsalzsee postuliert.

Die jüngsten noch erhaltenen Ablagerungen am Beckenrand in Form von Mergeln, Kalken und Kalksandsteinen bei 500-510 m ü NN. (u. a. bei Breitenlohe, Ursheim, Trendel) sollen schließlich aufgrund ihrer reichhaltigen Süßwasserfauna nach BOLTEN (1977) eine finale Aussüßungsphase repräsentieren. Diese Interpretation wird auch von ARP et al. (2013) übernommen und mit der hypothetischen Bildung eines Ausflusses aus dem Riesbecken (VON COTTA 1834; WOLF & FÜCHTBAUER 1976) erklärt.

Diese Süßwassersediment-Relikte waren bis dato jedoch nur unzureichend aufgeschlossen und untersucht. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher mittels einer Rammkernsondierung bei Breitenlohe (Abb. 1) die Sedimentologie, Paläontologie und Isotopensignale dieser möglicherweise jüngsten Rieseesedimente zu untersuchen und eine mögliche Verlandung oder abrupte Aussüßung durch eine hydrologische Öffnung des Seebeckens zu überprüfen.

Material und Methoden

Die Rammkernsondierung wurde am 20.10.2015, etwa 200 m östlich Breitenlohe (Blatt 7029 Oettingen i. Bay., R 43 93 045; H 54 27 979) bei 502 m ü. NN, durchgeführt (Abb. 1). Das Belegmaterial der Rammkernsondierung ist im Bohrprobenarchiv des Bayerischen Landesamtes für Umwelt in Hof hinterlegt.

Sieben Mikrofossilproben wurden in einem mit Soda angereicherten, warmen Wasserbad aufbereitet und anschließend nass gesiebt (Fraktionen 63-125 µm, 125-250 µm, >250 µm). Die mikroskopische Dokumentation erfolgte an einem Zeiss-Binokular Stemi 2000-C mit einer Spiegelreflexkamera Canon DS 126 231.

Die geochemische Zusammensetzung von 11 Gesamtgesteinsproben wurde mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) mit dem wellenlängendispersiven Sequenz-Röntgenspektrometer Axios Advanced der Fa. PANalytical durchgeführt. Das Spektrometer ist ausgerüstet mit einem 4kW-Generator, einer SST-mAX Röntgenröhre mit Rh-Anode und acht verschiedenen Analysator-Kristallen. Die Messungen und Berechnungen, wie z.B. die Matrixkorrekturen oder Peaküberlagerungsfaktoren wurden mittels der SuperQ4.0 Software ausgeführt. Das Gerät wurde mit ca. 50 internationalen Referenzmaterialien geeicht. Die Richtigkeit der Werte wurde während der Messungen permanent durch die Messung von internationalen Referenzmaterialien z. B. vom USGS überprüft. Die Schmelztabletten wurden automatisiert mit dem mikroprozessorgesteuerten Schmelzaufschlußgerät »autofluxer« der Firma Breitländer hergestellt. Dafür wurden 5,6 g Flußmittel Spectromelt A 12 von Merck (Di-Lithium-Tetraborat, Lithium-Metaborat), 0,64 g LiF und 2,8 g Probenmaterial bei 1200 °C in Platin-Gold Tiegeln verschmolzen, homogenisiert und in Tablettenform gegossen.

Die Messung der Gesamt-Kohlenstoff, -Stickstoff und -Schwefel-Gehalte erfolgte mittels Euro EA 3000 CNS Elementaranalysator (HEKAtech GmbH, Germany).

Hierzu wurden jeweils 10 mg Probenpulver mit Vanadium-Pentoxid versetzt und in Zinnkapseln verbrannt. Gehalte an organischem Kohlenstoff (C_{org}) und Karbonat-Kohlestoff (C_{carb}) wurden von jeweils 30 mg Probenpulver an einem Mehrphasen-Kohlenstoffanalysator LECO RC612 gemessen.

Proben für die Messung stabiler Kohlen- und Sauerstoff-Isotopenverhältnisse wurden mittels Stahlnadel und Skalpell von frischen Bruchflächen der Proben und Gastropodenschalen unter dem Binokular gewonnen. Jeweils 70 μg Probenpulver reagieren mit 100%-iger Phosphorsäure (Dichte > 1,9) bei 70 °C in einer Thermo Kiel IV Karbonataufbereitungsanlage, welche an ein Finnigan Delta plus Massenspektrometer angeschlossen ist. Alle Werte sind in Promille relative zum Standard V-PDB (Vienna PeeDee Belemnite) angegeben, wobei dem verwendeten Standard NBS 19 ein $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von +1,95 ‰ und ein $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von -2,20 ‰ zugeordnet wird. Die Reproduzierbarkeit wurde durch wiederholte Messungen des Laborstandards kontrolliert und ist besser als $\pm 0,05$ ‰ (1σ Standardabweichung).

Lithofaziestypen und Geochemie

Folgende fünf Lithofaziestypen (LFT) bauen die Sedimentabfolge des Bohrkerns Breitenlohe auf (Tab. 1, 2):

LFT 1: grünlichgrauer siltiger Tonmergel

Dieser Lithofaziestyp (Taf. 1A) zeichnet sich durch eine grünlichgraue Farbe und einen hohen Tonanteil aus. Komponenten in Form kleiner Gastropodenschalen-Fragmente und einzelner Peloiden sind in die tonmergelige Matrix eingestreut. Vereinzelt sind Characeen-Reste und kohlige Pflanzenhäcksel zu finden. Probe BL 11 enthält zudem einzelne umgelagerte Eisenooide. Das Gestein ist undeutlich im mm- bis cm-Bereich geschichtet (Taf. 1A). Silt ist in tonmergeliger Matrix fein verteilt und nur vereinzelt in undeutlichen Lagen angereichert. Fleckenhafte, orangebraune Jarosit-Fällungen gehen auf eine rezente Sulfidoxidation im meteorischen Bereich zurück.

Geochemisch sind hohe Al_2O_3 -Gehalte (13-15 Gew.-%) bei niedrigen CaCO_3 -Gehalten (14-31 Gew.-%) charakteristisch. Auch zeichnet sich LFT 1 durch hohe Fe_2O_3 -Gehalte, ebenso vergleichsweise hohe Gehalte anderer Metalle (Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) und Zr aus (Tab. 2). Primär war das Gestein sulfidhaltig.

LFT 2: mittelgrauer sandiger Tonmergel/Mergel

Für diesen Lithofaziestyp (Taf. 1B) ist ein hoher Quarzsandanteil bei mittelgrauen bis hellgrünlichgrauen Farben der tonmergeligen Matrix charakteristisch. Neben Quarzsand finden sich Schalenbruch von Gastropoden und Characeenreste (BL 4).

Das Gefüge ist matrixgestützt und ungeschichtet. Als Besonderheit ist ein Kalkstein-Geröllchen aus zementiertem Kalkgrobsand bei Teufe 3,9 m zu erwähnen (Taf. 1C).

Geochemisch sind hohe SiO_2 -Gehalte (44-57 Gew.-%) bei niedrigen Al_2O_3 -Gehalten (5-9 Gew.-%) bezeichnend. Der CaCO_3 -Gehalt ist mit 30-31 Gew.-% etwas höher als beim vorhergehenden LFT 1. Konzentrationen von Fe_2O_3 wie auch anderer Metalle (Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) sind niedrig (Tab. 2).

LFT 3: hellgrauer sandiger Mergel bis Kalkmergel

Dieser Lithofaziestyp (Taf. 1D) zeigt gegenüber dem vorhergehenden deutlich erhöhte Karbonatgehalte und eine entsprechend mittelgraue Farbe. Der Quarzsand-Anteil ist niedriger im Vergleich zu LFT 2. Weitere Komponenten umfassen einzelne eingeschwemmte Grobquarze und Eisenooide, Gastropoden-Schalenbruch sowie einzelne Characeenreste. Das Gefüge ist matrixgestützt und ungeschichtet. Geochemisch sind verringerte SiO_2 -Gehalte (13-32 Gew.-%) und niedrige Al_2O_3 -Gehalte (4-8 Gew.-%) zu bemerken, bei einem deutlich erhöhten CaCO_3 -Gehalt von 47-74 Gew.-%. Die Metallgehalte (Fe_2O_3 , Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) sind intermediär (Tab. 2).

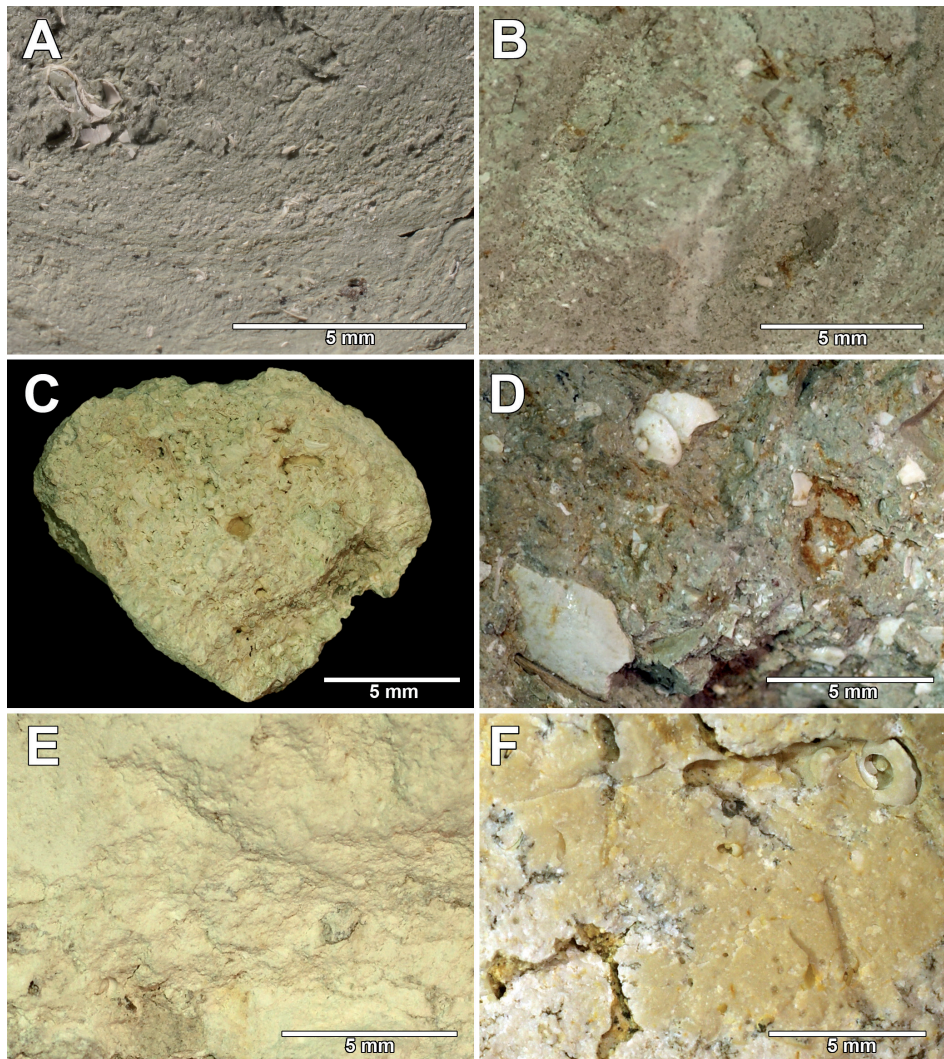
LFT 4: weißgrauer bioklastischer Kalkmergel

Bezeichnend für diesen Lithofaziestyp (Taf. 1E) ist der hohe Anteil einer feinkörnigen kreideartigen Karbonatmatrix. In diese sind zahlreiche Gastropoden-Gehäuse, Ostrakoden und Characeenreste eingetreut. Schalenbruch ist ebenso vertreten, aber weniger dominant als im vorhergehenden Lithofaziestyp. Quarzkörner sind selten. Das Gefüge ist matrixgestützt und ungeschichtet. Wurzelspuren und Tonkutane sind rezente Bildungen.

Dieser Lithofaziestyp weist bei kaum vorhandenem Quarzsand und Tonanteil entsprechend hohe Karbonatgehalte von 75-87 Gew.-% auf. Entsprechend sind SiO_2 und Al_2O_3 niedrig. Ebenso finden sich nur noch niedrige Fe_2O_3 -Gehalte (1,3-2,3 Gew.-%) und weitere Metalle (Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn) nur noch in Spuren. Die vergleichsweise hohen Sr-Gehalte von 800-1100 ppm gehen auf die zahlreichen aragonitischen Schalen zurück (Tab. 2).

LFT 5: gelblichgrauer Kalkstein

Dieser Faziestyp (Taf. 1F), ein bioturbater Ostracoden-Wackestone, ist mit Fragmenten im rezenten Bodenbildungsbereich der Rammkernsondierung vertreten. Eine mikrofazielle Beschreibung erfolgte bereits durch Arp (1995). Der Kalkstein zeigt eine mikritische Matrix mit zahlreichen eingestreuten Ostrakodenschalen. Daneben sind Gehäuse des Gastropoden *Gyraulus* sowie einzelne Characeenstengel



Taf. 1: Lithofazies der miozänen Seesedimente bei Breitenlohe. **A.** Grünlichgrauer siltiger Tonmergel (LFT 1) mit Schichtung und Schalenresten von *Hydrobia*, Teufe 2,95 m (Probe BL 7). **B.** Mittelgrauer, sandiger Tonmergel/Mergel (LFT 2), Teufe 3,9 m (Probe BL 8). **C.** Kalkstein-Geröll aus zementiertem Kalkgrobsand, Teufe 3,9 m (Probe BL 8). **D.** hellgrauer sandiger Mergel bis Kalkmergel (LFT 3) mit Gastropoden-Bruch, Teufe 2,05 m (Probe BL 5). **E.** Weißgrauer bioklastischer Kalkmergel (LFT 4), Teufe 0,95 m (Probe BL 2). **F.** Gelblichgrauer Kalkstein (LFT 5) mit *Gyraulus* und Wurzelspuren, Teufe 0,4 m (Probe BL 162).

Plate 1: Lithofacies of the Miocene lake sediments at Breitenlohe. **A.** Greenishgrey silty argillaceous marl (LFT 1) showing stratification and shell fragments of *Hydrobia*, depth 2,95 m (sample BL7). **B.** Medium-grey arenaceous marl (LFT 2), depth 3,9 m (sample BL 8). **C.** Limestone pebble composed of cemented coarse carbonate sand, depth 3,9 m (sample BL 8). **D.** Light-grey arenaceous marl to calcareous marl (LFT 3) with gastropod fragments, depth 2,05 m (sample BL 5). **E.** White-grey bioclastic calcareous marl (LFT 4), depth 0,95 m (sample BL 2). **F.** Yellowish-grey limestone (LFT 5) with *Gyraulus* and root voids, depth 0. 4 m (sample BL 162).

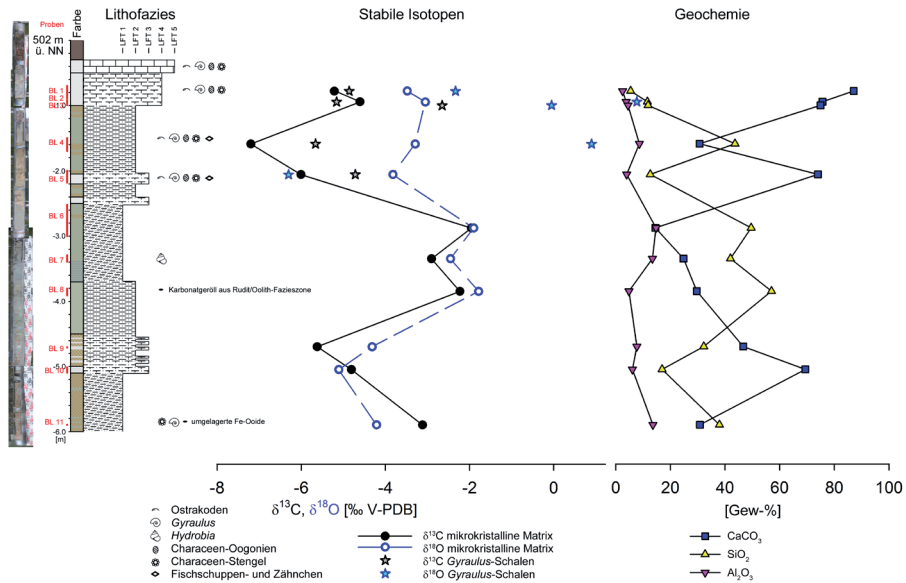


Abb. 2: Lithologisches Säulenprofil der Rammkernes Breitenlohe mit Verlauf der stabilen Isotopenwerte und geochemischen Hauptbestandteilen.

Fig. 2: Lithological section of the percussion drill core Breitenlohe with stable isotope variations and major geochemical components.

und Oogonien vertreten. Das Gefüge ist matrixgestützt, bioturbat und von wenigen, offenen Wurzelspuren durchzogen (Taf. 1F). Eine geochemische Analyse wurde nicht durchgeführt.

Sedimentabfolge

Die Rammkernsondierung Breitenlohe durchteuft 6 m miozäne Seesedimente des Rieskratersees, wobei die liegenden Bunten Trümmersmassen nicht mehr erreicht wurden (Abb. 2). Aus den Kartierungen von BOLTEN (1977: Abb. 21) und ARP (1995) ist für die miozänen Sedimente eine Gesamtmächtigkeit von 7-8 m zu erwarten, so dass etwa 1-2 m unter Endteufe der Kontakt zu den Trümmersmassen zu erwarten ist. Vom Liegenden zum Hangenden wurden folgende Sedimente durchteuft (Tab. 1):

Die basalen 90 cm der untersuchten Sedimente werden von Tonmergeln des LFT 1 gebildet. Umgelagerte Eisenooide des Braunen Juras weisen auf die Nähe zu den Bunten Trümmersmassen hin.

Es folgte eine 60 cm mächtige Wechsellagerung von sandigen Tonmergeln und ersten Mergeln (LFT 2 und 3). Die anschließenden 80 cm Tonmergel sind stark sandig und lieferten ein 1,5 cm großes Karbonatgeröll aus dem ruditischen Faziesgür-

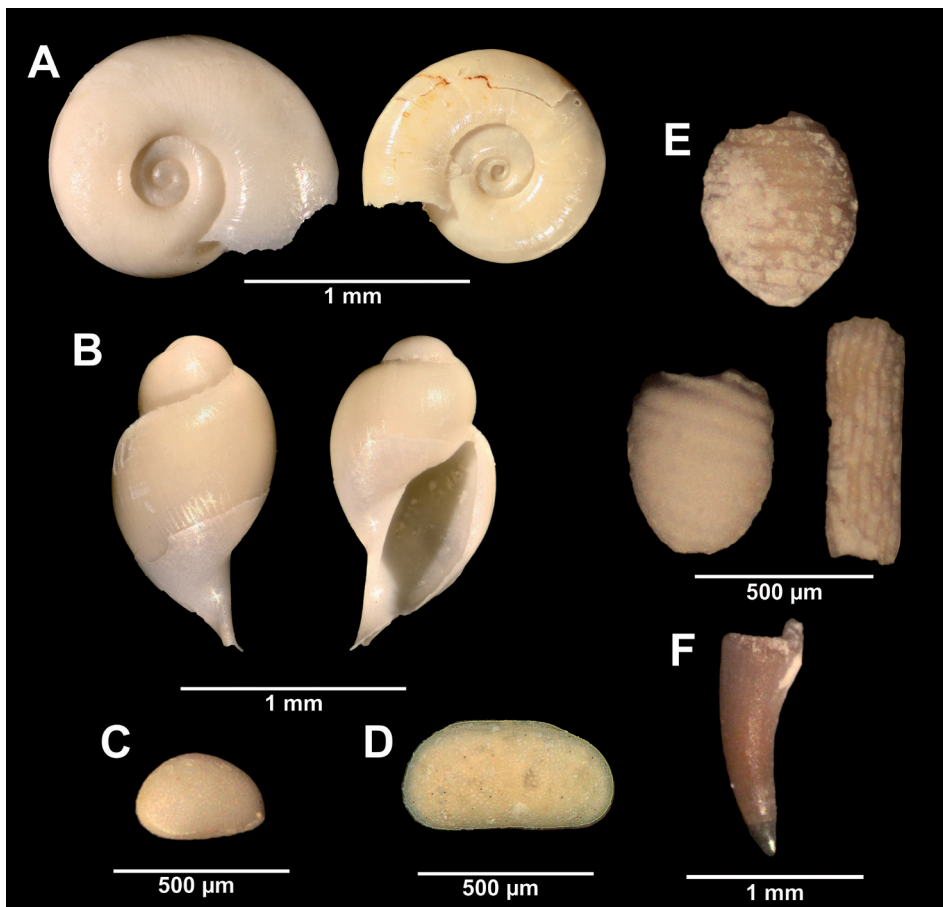


Abb. 3: Mikro- und Mesofossilien der Süßwassermergel von Breitenlohe, Tiefe 60-80 cm (Probe BL 1). A. *Gyraulus kleini* (Gottschick & Wenz). B. *Radix* sp.. C. *Cypridopsis biplanata* Straub, Außenansicht rechte Klappe. D. *Pseudocandona steinheimensis* (Sieber), Außenansicht rechte Klappe. E. Oogonien und Stengelfragment von Characeen. F. Fischzähnen.

Fig. 3: Micro- and mesofossils of the freshwater marls of Breitenlohe, depth 60-80 cm (sample BL 1). A. *Gyraulus kleini* (Gottschick & Wenz). B. *Radix* sp.. C. *Cypridopsis biplanata* Straub, external view right valve. D. *Pseudocandona steinheimensis* (Sieber), external view right valve. E. Oogonia and stem fragment of charophytes. F. Fish tooth.

tel südlich Breitenlohe. Die nachfolgende, 123 cm mächtige Schicht besteht dann wieder aus Tonmergeln des LFT 1, mit weißen Gastropodenschalen und -bruchstücken (Hydrobien). Eine Schichtung im mm- bis cm-Bereich ist erkennbar. Zwei 6 bzw. 12 cm mächtige Einschaltungen aus Mergeln bis Kalkmergeln des LFT 3 leiten dann einen insgesamt 147 cm mächtigen Abschnitt aus sandigen, zunehmend fossilreichen Tonmergeln des LFT 2 ein. Es folgen 50 cm weißgraue, Seekreide-artige Kalkmergel des LFT 4 mit zahlreichen Gehäusen von *Gyraulus* und anderen Süßwassergastropoden. Mikritische Kalksteine mit *Gyraulus* (LFT 5)

sind dagegen nur noch in Relikten überliefert. Damit deutet sich ein zyklischer Aufbau der Sedimentabfolge an, mit generell sinkenden Quarzsand- und steigenden Karbonatgehalten (Abb. 2).

Mikro- und Mesofossilien

Der Fossilreichtum der Süßwassermergel und -kalke von Breitenlohe wurde bereits von BOLTEN (1977, S. 100 ff.) detailliert beschrieben. Die im Schlämnrückstand der Proben BL 1-3 (Teufe 0,6-0,9 m) vorgefundenen Organismen, darunter Gastropoden (*Gyraulus*, *Planorbarius*, *Radix*, *Cepaea*), Ostrakoden, Characeen-Stengel und -Oogonien sowie Fischwirbel und -zähne, bestätigen seine Angaben (Abb. 3).

Der Süßwassergastropode *Gyraulus* wurde zudem zusammen mit Characeen-Resten im tiefsten Teil des Bohrkerns (Probe BL 11, Teufe 5,9 m) gefunden. Desweiteren lieferte Probe BL 7 aus dem mittleren Profilabschnitt (Teufe 3,35 m) zusammen mit einem Fragment von *Discus* sp. verdrückte Gehäuse von *Hydrobia* sp., welche bei der Bergung weitgehend zerfielen. Hauptvertreter der Ostrakoden (Abb. 3) sind *Cypridopsis biplanata* Straub sowie *Pseudocandona steinheimensis* (Sieber) so wie sie auch in nahezu zeitgleichen Schichten des Steinheimer Beckens (JANZ 1997) und der angrenzenden Oberen Süßwassermolasse nachgewiesen wurden (WITT 1998, 2000).

Stabile Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopen

Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der mikrokristallinen Matrix reichen von -7,2 bis -2,0 ‰ V-PDB, die zugehörigen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von -5,1 bis -1,8 ‰ V-PDB (Tab. 3). Im Profilverlauf zeigen sich zunächst intermediäre $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (Teufe 5,9 m), welche dann bei Teufe 5 bis 4,7 m sinken (Abb. 2). Mittlere Profilabschnitte zwischen Teufe 3,9 und 2,8 m zeigen dann relativ erhöhte Werte ähnlich der Profillbasis, wengleich allesamt noch im negativen Skalenbereich. Dagegen sind $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ -Verhältnisse im Topbereich der Rammkernsondierung wieder deutlich erniedrigt. Insgesamt ist eine Kovarianz von $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ erkennbar, wengleich mit einem niedrigen Korrelationskoeffizienten r und einem p -Werte über 0,05 (Abb. 4). Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der *Gyraulus*-Schalen streuen im Vergleich zur mikrokristallinen Matrix erheblich, mit $\delta^{13}\text{C}$ -Werten zwischen -5,7 und -2,7 ‰ V-PDB und zugehörigen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte zwischen -6,3 und +2,0 ‰ V-PDB (Abb. 2). Eindeutige Trends oder eine Kovarianz sind nicht erkennbar.

Im Vergleich zu Mikriten und Grünalgen-Karbonaten des zentralen Kraterbeckens (ARP et al. 2017) sind die $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte deutlich erniedrigt (Abb. 4). Nur späte meteorische Zemente zeigen noch niedrigere Isotopenverhältnisse. Gehäuse

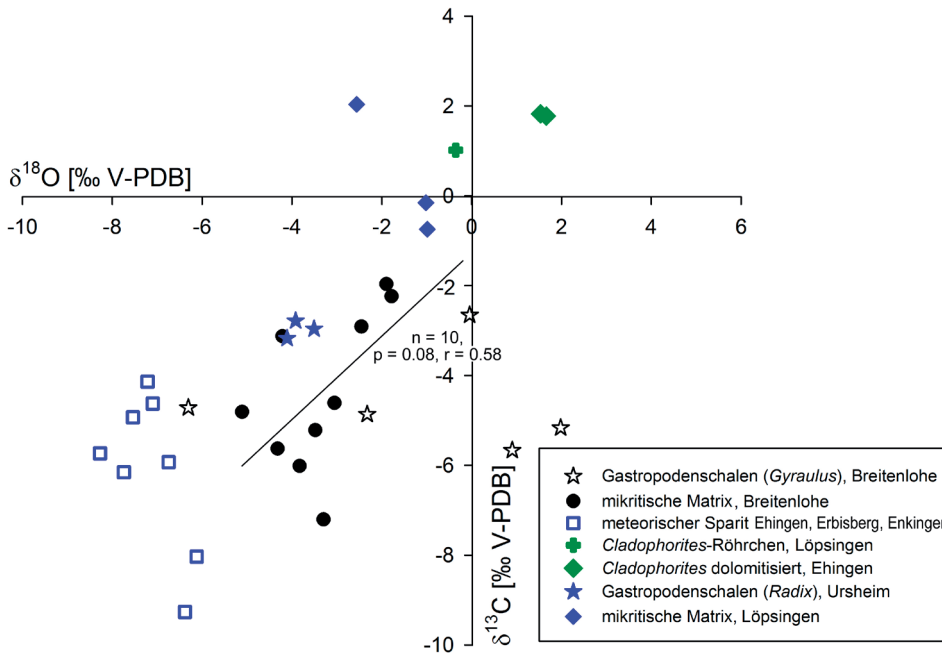


Abb. 4: Streudiagramm der stabilen Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopenverhältnisse von mikrokristalliner Matrix und Gastropodenschalen von Breitenlohe, im Vergleich zu Grünalgenkarbonaten des salinaren Riessees und späten meteorischen Zementen (Sparit).

Fig. 4: Cross-plot of stable carbon and oxygen isotopes of micrites and gastropod shells of Breitenlohe, in comparison with green algal carbonates of the saline Ries crater lake and late meteoric cements.

der Süßwasserschnecke *Radix* fallen in den Streubereich der Isotopenwerte der Breitenlohe-Karbonate.

Interpretation: Ablagerungsbereich und Zyklizität

Alle im Bohrkern Breitenlohe erfassten Lithofaziestypen sind aufgrund der Fauna (aquatische Gastropoden und Ostrakoden), Kalkalgen (Characeen) dem lakustrinen Ablagerungsbereich zuzuordnen. Hinweise auf eine subaerische Exposition (z. B. Trockenrisse, gravitative Zemente) fehlen. Allerdings wird eine Zuordnung zu spezifischen Ablagerungszonen erschwert, da im Bohrkern Sedimentstrukturen vielfach schlecht zu erkennen sind.

LFT 1 kann aufgrund von Schichtung und leichtem Sulfidgehalt dem Übergang Infralittoral-Profundal zugeordnet werden (Taf. 1A). Hydrobien in Probe BL 7 können als Hinweis auf leicht erhöhte Salinitäten gewertet werden. Bezüglich LFT 2 deuten matrixgestütztes Gefüge und fehlende Schichtung auf eine Ablagerung im Infralittoral hin (Taf. 1B). Der erhöhte Quarzsandanteil spricht für einen Eintrag aus den Bunten Trümmermassen (Eisensandstein). Auch LFT 3 ist dem Infrali-

toral zuzuordnen, zeigt aber erhöhte Karbonatgehalte und z.T. schon eindeutige Süßwasser-Faunenelemente (Taf. 1D; Probe BL 5). LFT 4 und 5 belegen mit ihrem entschichteten, bioturbaten Gefüge und der diversen Fauna (Süßwasser-Gastropoden, Ostrakoden) und Kalkalgen (Characeen) eine sehr gute Durchlüftung im Infralittoral (Abb. 3). Wurzelspuren in LFT 5 grenzen den Ablagerungsbereich auf das flache Infralittoral oder schwach bewegte Litoral eines reinen Süßwassersees ein (Taf. 1F).

Insgesamt ist damit eine zyklische Entwicklung erkennbar (Abb. 2). Zwar ist die Transgression über Bunte Trümmersmassen durch die Rammkernbohrung nicht mehr erfasst. Umgelagerte Eisenoide und Quarzfeinsand im tiefsten Kernabschnitt weisen aber auf den nahen Kontakt zu Eisensandstein-Schollen der Bunten Trümmersmassen hin (vgl. BOLTEN 1977). Darüber progradieren dann Mergel bis Kalkmergel des LFT 3 mit größerem Quarzsand. Niedrige $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte deuten auf reine Süßwasserbedingungen hin (Abb. 3). Diese werden dann von LFT 2 mit weiter erhöhtem Quarzsandanteil abgelöst. Der 1,5 cm große Intra-klast (Taf. 1C) bei Teufe 3,9 m entstammt einer 400-500 m südlich der Rammkernsondierung gelegenen Fazieszone mit littoralen grobkörnigen Karbonatsanden (Arp 1995: »Oolitic and ruditic littoral facies«) und belegt eine Flutung aus Richtung des zentralen Riessees. Nachfolgend finden sich auch Hydrobien als Hinweis auf erhöhte Salinitäten. Dieser Abschnitt wird möglicherweise auch durch die von BOLTEN (1977) beschriebenen Hydrobien-führenden Kalksandsteine direkt bei Breitenlohe repräsentiert. Ab Teufe 2,5 m folgt dann eine schrittweise Progradation der Süßwasser-Faziestypen LFT 4 und 5 bei sinkenden Wassertiefen und steigenden Karbonatgehalten (Abb. 2).

Die vorliegende Interpretation wird auch durch die stabilen Isotopenwerte gestützt. Diese liegen zwischen denen der salinaren Riessee-Phasen mit ihren Grünalgenriffen und kontinentalen meteorischen Süßwasserwerten, wie sie durch die späten meteorischen Zemente repräsentiert werden (Abb. 4). Die Kovarianz von $\delta^{13}\text{C}$ und ^{18}O -Werten der mikrokristallinen Matrix lässt auf einen hydrologisch geschlossenen Wasserkörper schließen, so wie dies für weite Abschnitte der zentralen Beckenfüllung gut dokumentiert ist (ROTHE & HOEFS 1977; TALBOT 1990; ARP et al. 2017). Die Werte der mikrokristallinen Matrix der unteren (5,9-4,7 m Teufe) und oberen Profilabschnitte (oberhalb 2,1 m Teufe) dürften daher reine Süßwasserbedingungen eines stehenden, flachen Wasserkörpers widerspiegeln, wohingegen der mittlere Teufenbereich um 3,9 bis 2,8 m eine leicht erhöhte Salinität bei etwas erhöhtem Wasserspiegel erkennen lässt (Abb. 2).

Diskussion: Stratigraphische Korrelation und Beckenhydrologie

Ein wichtiger Aspekt bei der Diskussion der Rieskratersee-Entwicklung ist die stratigraphische Korrelation zwischen Ablagerungen der Randhöhen des Kraters und

der zentralen Beckenfüllung. Bezüglich der jüngsten erhaltenen Seesedimente bestehen allerdings konträre Hypothesen:

BOLTEN (1977) postuliert eine finale Aussüßungsphase, repräsentiert durch reliktische Süßwasserkalk und -mergel-Vorkommen der Kraterrandhöhen (Breitenlohe, Ursheim, Polsingen etc.). Auch DEHM et al. (1977) nehmen an, dass sich das endgültige Vergehen des Riesees in den höher gelegenen Riesseekarbonaten der Kraterrandhöhen widerspiegelt und diese jünger als die letzten erhaltenen Sedimente (Ton-Folge) im Zentralkrater sind. Diese Hypothese wurde später auch von ARP (1995) und ARP et al. (2013) übernommen. Im Gegensatz dazu korreliert SCHAUDERNA (1983: S. 172) die »Süßwassersedimente am Riesrand (Goldberg, Trendel u. a.)« um 500-510 m ü. NN mit den jüngsten im Zentralkrater erhaltenen Seesedimenten, der Ton-Folge (375-418 m ü. NN; Forschungsbohrung Nördlingen 1973). Letzteres impliziert bei den meist sehr geringen Wassertiefen des Rieskratersees (WEBER 1941; KLÄHN 1926; JANKOWSKI 1981; SCHAUDERNA 1983) allerdings eine erhebliche Kompaktion und Absenkung der Sedimentabfolgen im Beckenzentrum um mehr als 100 m.

Das Massenvorkommen des Ostrakoden *Cypridopsis biplanata* Straub (Abb. 3C) in den Süßwasser-Kalkmergeln und -Kalken bei Breitenlohe (um 501 m ü. NN) liefert nun ein Argument für eine Korrelation dieser Schichten mit den tieferen Teilen der Ton-Folge. *Cypridopsis* sp. ist in den Sedimenten des Zentralkraters ein seltener bis sehr seltener Ostrakode, bildet aber in Teufe 33,65 m der Forschungsbohrung Nördlingen 1973 (393 m ü. NN) ein Massenvorkommen (DEHM et al. 1977). Die Korrelation dieser beiden *Cypridopsis*-Massenvorkommen würde damit die Interpretation von SCHAUDERNA (1983) stützen. Bezüglich der damit verbundenen sehr hohen Kompaktionsraten oder einer möglichen Kraterboden-Subsidenz besteht weiter Klärungsbedarf.

Auch eine Öffnung des zuvor hydrologisch geschlossenen Kraterbeckens durch die Bildung eines Ausflusses (WOLF & FÜCHTBAUER 1976; ARP et al. 2013) kann durch die vorliegenden Untersuchungen des Rammkerns Breitenlohe nicht belegt werden. Im Gegenteil deutet die Kovariation der $\delta^{13}\text{C}$ und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte der Mikritmatrix (Abb. 2, 4) auf ein weiterhin hydrologisch geschlossenes Becken hin. Die Verbreitung von Süßwassersedimenten auf den Kraterrandhöhen oberhalb von 500 m ü. NN dürfte damit eher mit einer klimatisch bedingten, temporären Aussüßung im mittleren Teil der Ton-Folge gleichzusetzen sein. Wie leicht steigende Salinitäten bei leicht steigendem Wasserspiegel in der mittleren Sedimentabfolge von Breitenlohe zu erklären sind, bleibt zu diskutieren. Möglicherweise spielen hier auch Sturmereignisse eine Rolle, welche salinares Wasser aus dem Seezentrum in den Uferbereich gedrückt haben könnten.

Schlussfolgerungen

Die Rammkernsondierung Breitenlohe liefert erstmals ein Profil durch die Sedimente der sogenannten Aussüßungsphase des Rieskratersees. Die 6 m mächtige Abfolge aus Tonmergeln, Mergeln, Kalkmergeln und aufliegenden Kalksteinrelikten zeigt einen zyklischen Aufbau.

Stabile Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopenwerte der Mikritfraktion bestätigen die Zyklizität der Sedimente und deuten mit ihrer Kovarianz auf ein hydrologisch geschlossenes Becken, so wie dies auch für die bisher untersuchten Riesseesedimente bekannt ist, hin. Tiefere und höhere Abschnitte des Profils spiegeln Süßwasserbedingungen bei sehr geringen Wasserständen wider, wohingegen der mittlere Profilschnitt erhöhte Salinitäten bei höherem Wasserspiegel dokumentiert. Möglicherweise ist dies durch eine Verschiebung des Salinitätsgradienten im Uferberich (Süßwasser am Ufer, Salzwasser im Seezentrum) bei einem sehr flachen Relief und nur schwachem Seespiegelanstieg zu erklären. Ein Karbonat-Intraklast aus dem Bereich der ruditischen Kalksteinfazies belegt eine temporäre Flutung mit Seewasser aus Richtung Beckenzentrum.

Das massenhafte Vorkommen des Ostrakoden *Cypridopsis* in den Sedimenten von Breitenlohe kann möglicherweise mit einem ähnlichen Vorkommen dieses Ostrakoden im mittleren Teil der Ton-Folge des Zentralkraterbeckens korreliert werden. Summa summarum handelt es sich daher bei den Seesedimenten von Breitenlohe wahrscheinlich um stark ausgesüßte Randbereiche in einer Spätphase des Rieskratersees, korrelierbar mit mittleren Abschnitt der Ton-Folge, nicht aber um die letzten Seesedimente einer endgültigen Aussüßungs- und Verlandungsphase des Kratersees.

Danksagung

Wir danken Herrn Steffen Stark (LfU, Hof), für die Durchführung der Rammkernsondierung. Die Messung der stabilen Isotopenwerte verdanken wir Herrn Dennis Kohl und Andreas Pack, Göttingen. Max Hundertmark, Göttingen, fertigte die fotografische Dokumentation der Lithofaziestypen an.

Literatur

- ARP, G. (1995): Lacustrine bioherms, spring mounds, and marginal carbonates of the Ries-impact-crater (Miocene, Southern Germany). – *Facies*, **33**: 35-90.
- ARP, G. & HEAD, J. (2014): Post-Impact Crater Lake Formation on Earth & Mars: Stages in the Evolution from Closed-Basin to Open-Basin Lake in the Ries Crater, Germa-

- ny. – 45th Lunar and Planetary Science Conference, abstract #1257; The Woodlands/Texas,
- ARP, G., BLUMENBERG, M., HANSEN, B.T., JUNG, D., KOLEPKA, C., LENZ, O., NOLTE, N., POSCHLOD, K., REIMER, A. & THIEL, V. (2013): Chemical and ecological evolution of the Miocene Ries impact crater lake, Germany: a re-interpretation based on the Enkingen (SUBO 18) drill core. – Geological Society of America, Bulletin, **125**: 1125-1145; Boulder.
- ARP, G., HANSEN, B.T., PACK, A., REIMER, A., SCHMIDT, B.C., SIMON, K. & JUNG, D. (2017): The soda lake-mesosaline halite lake transition in the Ries impact crater basin (drilling Löpsingen 2012, Miocene, southern Germany). – Facies, **63**: 1; Erlangen. [DOI 10.1007/s10347-016-0483-7]
- BOLTEN, R. & MÜLLER, D. (1969): Das Tertiär im Nördlinger Ries und in seiner Umgebung. – Geologica Bavarica, **61**: 87-130; München.
- BOLTEN, R. H. (1977): Die karbonatischen Ablagerungen des obermiozänen Kratersees im Nördlinger Ries. – Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität: 229 + XXI S.; München.
- DEHM, R., GALL, H., HÖFLING, R., JUNG, W. & MALZ, H. (1977): Die Tier- und Pflanzenreste aus den obermiozänen Riessee-Ablagerungen in der Forschungsbohrung Nördlingen 1973. – Geologica Bavarica, **75**: 91-109; München.
- FÜCHTBAUER, H., VON DER BRELIE, G., DEHM, R., FÖRSTNER, U., GALL, H., HÖFLING, R., HOEFS, J., HOLLERBACH, H., JANKOWSKI, B., JUNG, W., MALZ, H., MERTES, H., ROTHE, P., SALGER, M., WEHNER, H. & WOLF, M. (1977): Tertiary lake sediments of the Ries, research borehole Nördlingen 1973 - a summary. – Geologica Bavarica, **75**: 13-19; München.
- HÖFLING, R. (1998): Exkursion E2. Das Nördlinger Ries: Entstehungsgeschichte, Fazies der Rieskarbonate. – Erlanger geologische Abhandlungen, Sonderband **2**: 139-150; Erlangen.
- HÖFLING, R. (2003): Das Nördlinger Ries und sein Vorland aus sedimentologisch-paläontologischer Sicht (Exkursion G am 25. April 2003). – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, Neue Folge, **85**: 203-239; Stuttgart.
- JANKOWSKI, B. (1981) Die Geschichte der Sedimentation im Nördlinger Ries und Randcker Maar. Bochumer geologische und geotechnische Arbeiten, **6**: 1-315; Bochum.
- JANZ, H. (1997): Die Ostrakoden der *kleini*-Schichten des miozänen Kratersees von Steinheim am Albuch (Süddeutschland). – Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, B 251: 1-101; Stuttgart.
- KLÄHN, H. (1926): Vergleichende paläolimnologische, sedimentpetrographische und tektonische Untersuchungen an miocänen Seen der Schwäbischen Alb. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, **LV**. Beilage-Band (Abteilung B. Geologie und Paläontologie): 274-428; Stuttgart.
- MOSEBACH, R. (1964): Das Nördlinger Ries, vulkanischer Explosionskrater oder Einschlagstelle eines Großmeteoriten? - Bericht der Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde, Neue Folge, **33**: 165-204; Gießen.

- PACHE, M., REITNER, J. & ARP, G. (2001): Geochemical evidence for the formation of a large Miocene »travertine« mound at a sublacustrine spring in a soda lake (Wallerstein castle rock, Nördlinger Ries, Germany). – *Facies*, **45**: 211-230; Erlangen.
- REIS, O.M. (1926): Zusammenfassung über die im Ries südlich von Nördlingen auftretenden Süßwasserkalke und ihre Entstehung. – *Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins, Neue Folge*, **14** (1925): 176-190; Stuttgart.
- RIDING, R. (1979): Origin and diagenesis of lacustrine algal bioherms at the margin of the Ries crater, Upper Miocene, southern Germany. – *Sedimentology*, **26**: 645-680; Oxford.
- ROTHER, P. & HOEFS, J. (1977): Isotopen-geochemische Untersuchungen an Karbonaten der Ries-See-Sedimente der Forschungsbohrung Nördlingen 1973. – *Geologica Bavarica*, **75**: 59-66; München.
- SCHAUDERNA, H. (1983): Die Diatomeenflora aus den miozänen Seeablagerungen im Nördlinger Ries. – *Palaeontographica*, **B 188**: 83-193; Stuttgart.
- TALBOT, M.R. (1990): A review of the palaeohydrological interpretation of carbon and oxygen isotopic ratios in primary lacustrine carbonates. – *Chemical Geology*, **80**: 261-279; Amsterdam.
- VON COTTA, B. (1834): Geognostische Beobachtungen im Riesgau und dessen Umgebungen. – *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde*, **1834 (3)**: 307-318; Stuttgart.
- WEBER, E. (1941): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Wemding. – *Abhandlungen des Naturkunde- und Tiergartenvereins für Schwaben e.V.*, **3** (geol.-paläont. Reihe, 2. Heft): 1-248; Augsburg.
- WITT, W. (1998): Die miozäne Fossil-Lagerstätte Sandelzhausen. 14. Ostracoden. – *Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie*, **38**: 135-165; München.
- WITT, W. (2000): Süßwassertostracoden der miozänen Vorlandmolasse Süddeutschlands. – *Mitteilungen der Bayerischen Staatssammlung für Paläontologie und historische Geologie*, **40**: 109-151; München.
- WOLFF, M. & FÜCHTBAUER, H. (1976): Die karbonatische Randfazies der tertiären Süßwasserseen des Nördlinger Ries und des Steinheimer Beckens. – *Geologisches Jahrbuch*, **D 14**: 3-53; Hannover.

Anhang

Teufe [cm]	Lithologische Beschreibung	Litho- fazie- styp	Proben- Num- mer	Teufe [cm]	C _{org} [Gew.-%]	C _{inorg} [Gew.-%]	C _{lurch} [Gew.-%]	CaCO ₃ * [Gew.-%]	N _{org} [Gew.-%]	S _{org} [Gew.-%]	C _{org} /N	C _{org} /S
-11	schwarzbrauner Mutterboden;											
-39	brauner Lehm mit diversen Kalksteinfragmenten (anthropogener Schutt);											
-50	gelblichgraue Kalksteinfragmente in mittelgrauem Lehm;	LFT 5			n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
-100	weißgrauer bioklastischer Kalkmergel, ungeschich- tet, fossilreich (kompaktierte Gastropoden; Ostra- koden);	LFT 4	BL1	-78	10,71	0,26	10,45	87,1	0,032	0,062	8,1	4,2
-206	mittelgrauer bis grünlichgrauer, stark sandiger Ton- mergel, viel Schalenbruch (Gastropoden);	LFT 2	BL4	-159	3,92	0,24	3,68	30,7	0,029	0,043	8,3	5,6
-218	hellgrauer bis weißgrauer, schwach sandiger Kalk- mergel, viel Schalenbruch; keine Schichtung er- kennbar;	LFT 3	BL5	-206	9,05	0,17	8,88	74,0	0,022	0,051	7,7	3,3
-241	gelblicher-grünlichgrauer Tonmergel;	LFT 1			n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
-247	gelblich-weißgrauer, schwach sandiger Mergel;	LFT 3			n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
-300	grünlichgrauer, siltiger mergeliger Ton, schwach sandig, weiße Pellets und winzige Schalenreste ein- gestreut; schwache Schichtung erkennbar;	LFT 1	BL6	-288	1,84	0,10	1,74	14,5	0,028	0,013	3,6	7,7
-370	grünlichgrauer siltig-sandiger Mergelton mit wei- ßen Schalenresten (verdrückte Hydrobrien), ein koh- liger Pflanzenhäcksel, unten grob geschichtet;	LFT 1	BL7	-335	3,17	0,19	2,98	24,8	0,032	0,048	5,9	4,0
-450	mittelgrauer bis grünlichgrauer, stark sandiger Ton- mergel, mit einem 1,5 cm großen Kalkgeröll bei -90 cm (Intraklast); keine Schichtung erkennbar;	LFT 2	BL8	-385	3,65	0,09	3,56	29,7	0,019	0,020	4,7	4,5
-500	grünlichgrau-braun-weißgrau marmorierter, sandi- ger Mergel, mit einzelnen Grobquarzen; ein Limo- nitoid; keine Schichtung erkennbar;	LFT 3	BL9	-470	5,70	0,10	5,60	46,7	0,020	0,011	5,0	9,1
-510	hellgrauer, schwach siltig-feinsandiger Kalkmergel; keine Schichtung erkennbar;	LFT 3	BL10	-505	8,45	0,12	8,33	69,4	0,022	0,019	5,5	6,3
-600	grünlichgrauer, braun marmorierter, siltig-feinsan- diger Tonmergel; keine Schichtung erkennbar;	LFT 1	BL11	-590	3,80	0,10	3,70	30,8	0,030	0,013	3,3	7,7

Table 1: Schichtenverzeichnis und Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefel-Gehalte der Sedimente des Rammkernes Breitenlohe, Miozän, Nördlinger Ries.
Table 1: Lithological description and carbon, nitrogen, and sulfur contents of lithofacies types of the percussion drill core Breitenlohe, Miocene, Nördlinger Ries.

Proben-Nummer	BL1	BL2	BL3	BL4	BL5	BL6	BL7	BL8	BL9	BL10	BL11
Teufe [cm]	78	95	100	159	206	288	335	385	470	505	590
Lithofaziestyp	LFT 4	LFT 4	LFT 4	LFT 2	LFT 3	LFT 1	LFT 1	LFT 2	LFT 3	LFT 3	LFT 1
Glühverlust [Gew.-%]	40,2	37,8	37,5	21,8	36,8	17,4	20,6	16,5	29,9	35,4	21,3
Summe [Gew.-%]	59,8	62,2	62,5	78,2	63,2	82,6	79,4	83,5	70,1	64,6	78,7
SiO ₂ [Gew.-%]	5,5	11,6	11,9	43,7	12,6	49,6	42,0	57,0	32,2	17,0	38,0
TiO ₂ [Gew.-%]	0,001	0,033	0,036	0,306	0,06	0,668	0,566	0,289	0,335	0,196	0,627
Al ₂ O ₃ [Gew.-%]	2,5	3,9	4,5	8,7	4,0	14,8	13,4	4,8	7,7	6,1	13,6
MnO [Gew.-%]	0,124	0,11	0,112	0,074	0,116	0,039	0,057	0,053	0,095	0,168	0,053
MgO [Gew.-%]	0,86	0,85	0,9	0,95	1,19	1,69	1,73	0,82	0,97	0,6	1,27
CaO [Gew.-%]	49,0	43,0	41,9	18,8	40,8	8,5	14,1	16,7	24,5	37,5	17,4
Na ₂ O [Gew.-%]	0,01	0,01	0	0,06	0,01	0,1	0,09	0,07	0	0,01	0,07
K ₂ O [Gew.-%]	0,31	0,58	0,64	1,52	0,8	2,51	2,77	1,5	1,75	1,15	2,47
P ₂ O ₅ [Gew.-%]	0,191	0,181	0,249	0,609	0,397	0,15	0,189	0,425	0,163	0,076	0,155
Fe ₂ O ₃ [Gew.-%]	1,3	2,0	2,3	3,6	3,2	4,6	4,5	1,8	2,4	1,8	5,1
Ba [ppm]	86	98	115	225	153	238	224	239	146	102	230
Ce [ppm]	6	16	17	47	20	77	60	36	43	31	63
Co [ppm]	2	4	3	12	9	12	20	8	7	3	12
Cr [ppm]	15	26	30	58	28	95	86	52	57	40	97
Cu [ppm]	1	1	1	1	7	14	24	6	3	1	15
Ga [ppm]	2	4	5	10	4	18	17	6	8	6	17
Hf [ppm]	1	1	2	4	1,5	4,5	3	8,8	3,4	2	4,5
La [ppm]	5	8	9	21	9	38	32	17	24	16	37
Mo [ppm]	5,1	4,8	5,1	2,9	5,1	2,6	3,1	2,7	4,2	5	3,2
Nb [ppm]	2	4	4	9	4	17	15	10	11	9	17
Nd [ppm]	0	3	3	20	3	35	26	20	20	9	28

Tabelle 2: Haupt- und Spurenelement-Gehalte (RFA-Messungen Gesamtgestein) der Lithofaziestypen des Rammkernes Breitenlohe, Miozän, Nördlinger Ries
Table 2: Major and trace element concentrations (whole rock XRF analysis) of lithofacies types of the percussion drill core Breitenlohe, Miocene, Nördlinger Ries.

Proben-Nummer	BL1	BL2	BL3	BL4	BL5	BL6	BL7	BL8	BL9	BL10	BL11
Ni [ppm]	9	15	16	34	43	55	60	19	23	15	46
Pb [ppm]	3	9	6	14	7	23	25	12	19	14	19
Rb [ppm]	23	42	48	86	44	145	141	57	75	54	112
S [ppm]	706	441	566	506	1053	261	853	473	320	524	415
Sc [ppm]	1	1	1	9	1	14	15	4	2	1	10
Sm [ppm]	1,2	1,6	1,1	4,5	1,3	6,9	5,4	5	4,4	2,5	5,8
Sr [ppm]	1076	807	1042	577	1373	328	349	525	200	148	171
Th [ppm]	4,9	4,9	6,3	7,1	5,4	12,7	10,6	8	8,2	7,3	10,5
U [ppm]	5,1	4,7	5,9	3,4	4	4,1	3,1	4,2	4,1	4,1	2,8
V [ppm]	30	46	49	87	53	129	127	50	68	56	124
Y [ppm]	4	8	8	22	7	31	26	18	21	17	28
Yb [ppm]	3,5	3,7	3,6	3,5	3,3	3,4	3,1	3,5	3,6	3,6	3,2
Zn [ppm]	19	28	34	45	44	83	88	42	55	31	81
Zr [ppm]	48	59	69	163	61	163	140	423	145	93	147

Tabelle 2: Haupt- und Spurenelement-Gehalte (RFA-Messungen Gesamtgestein) der Lithofaziestypen des Rammkernes Breitenlohe, Miozän, Nördlinger Ries
Table 2: Major and trace element concentrations (whole rock XRF analysis) of lithofacies types of the percussion drill core Breitenlohe, Miocene, Nördlinger Ries.

Probe	Teufe	Lithofaziestyp	Material	$\delta^{13}\text{C}$	Standardabweichung	$\delta^{18}\text{O}$	Standardabweichung
Nummer	[cm]			[‰ V-PDB]	1 s	[‰ V-PDB]	1 s
BL1	78	LFT 4	mikrokristalline Matrix	-5,21	$\pm 0,05$	-3,48	$\pm 0,05$
BL2	95	LFT 4	mikrokristalline Matrix	-4,61	$\pm 0,05$	-3,05	$\pm 0,05$
BL3	100	LFT 4	mikrokristalline Matrix	n.a.		n.a.	
BL4	159	LFT 2	mikrokristalline Matrix	-7,2	$\pm 0,05$	-3,30	$\pm 0,05$
BL5	206	LFT 3	mikrokristalline Matrix	-6,01	$\pm 0,05$	-3,83	$\pm 0,05$
BL6	288	LFT 1	mikrokristalline Matrix	-1,96	$\pm 0,05$	-1,90	$\pm 0,05$
BL7	335	LFT 1	mikrokristalline Matrix	-2,90	$\pm 0,05$	-2,46	$\pm 0,05$
BL8	385	LFT 2	mikrokristalline Matrix	-2,23	$\pm 0,05$	-1,78	$\pm 0,05$
BL9	470	LFT 3	mikrokristalline Matrix	-5,62	$\pm 0,05$	-4,32	$\pm 0,05$
BL10	505	LFT 3	mikrokristalline Matrix	-4,81	$\pm 0,05$	-5,11	$\pm 0,05$
BL11	590	LFT 1	mikrokristalline Matrix	-3,12	$\pm 0,05$	-4,21	$\pm 0,05$
BL1-Fos	78	LFT 4	<i>Gyraulus</i> -Schale (Aragonit)	-4,86	$\pm 0,05$	-2,33	$\pm 0,05$
BL2-Fos	95	LFT 4	<i>Gyraulus</i> -Schale (Aragonit)	-5,16	$\pm 0,05$	1,98	$\pm 0,05$
BL3-Fos	100	LFT 4	<i>Gyraulus</i> -Schale (Aragonit)	-2,65	$\pm 0,05$	-0,05	$\pm 0,05$
BL4-Fos	159	LFT 2	<i>Gyraulus</i> -Schale (Aragonit)	-5,66	$\pm 0,05$	-0,90	$\pm 0,05$
BL5-Fos	206	LFT 3	<i>Gyraulus</i> -Schale (Aragonit)	-4,71	$\pm 0,05$	-6,31	$\pm 0,05$

Tabelle 3: Stabile Kohlenstoff- und Sauerstoff-Isotopenverhältnisse von mikrokristalliner Matrix und Gastropodenschalen der Süßwassersedimente von Breitenlohe, Miozän, Nördlinger Ries.

Table 3: Stable carbon and oxygen isotope ratios of microcrystalline matrix and gastropod shells of the freshwater sediments of Breitenlohe, Miocene, Nördlinger Ries