Mitt. POLLICHIA	103	7–22	Bad Dürkheim 2025

ISSN 0641-9665 (Druckausgabe)
ISSN 2367-3168 (Download-Veröffentlichung)

Sebastian **Voigt**, Robert **Noll**, Thomas **Schindler** & Jan **Fischer**

Frühpermische Marken und Spuren aus dem Rhyolith-Tuff IV der Donnersberg-Formation (Rotliegend-Gruppe, Nahe-Subgruppe, Saar-Nahe-Becken, SW-Deutschland)

Kurzfassung

Voigt, S., R. Noll, T. Schindler & J. Fischer (2025): Frühpermische Marken und Spuren aus dem Rhyolith-Tuff IV der Donnersberg-Formation (Rotliegend-Gruppe, Nahe-Subgruppe, Saar-Nahe-Becken, SW-Deutschland). – Mitt. Pollichia 103: 7–22. Bad Dürkheim.

Aus tuffitischen Ton-/Siltsteinen des mittleren Abschnitts der Donnersberg-Formation (frühes Perm, Asselium/Sakmarium-Grenzbereich) im Saar-Nahe-Becken, SW-Deutschland, wird eine nach Zusammensetzung und Detailtreue für das Untersuchungsgebiet bislang unbekannte Assoziation von Marken und Spuren vorgestellt. Die sedimentären Marken umfassen Belege für mikrobiell induzierte Strukturen, Regentropfen- und Gegenstandsmarken, Trockenrisse sowie Konturmarken. Letztere werden genetisch auf ein nächtliches Überfrieren pfützenartiger Kleinstgewässer zurückgeführt. Die Spurenfauna umfasst mit *Cochlichnus anguineus*, *Glaciichnium* isp., *Striatichnium natalis*, *Scyoenia gracilis* und *Dromopus lacertoides* Weidespuren aquatischer Arthropoden (Nematodea, Isopoda, Euthycarcinoidea), Wohn- und Fraßspuren sedimentfressender Arthropoden sowie Laufspuren echsenartiger Amnioten. Die Invertebraten-Ichnofauna des Vorkommens enthält mit *Glaciichnium* ein Element, das typisch für kühl temperierte Süßwässer ist. Daneben treten Wurzelspuren und, als einzige Körperfossilreste, Abdrücke von Koniferen-Kurztrieben auf. Die litho- und biofaziellen Merkmale der untersuchten Gesteine sprechen für einen ephemer-fluviatilen Ablagerungsbereich, der von einem Wechsel von Regen- und Trockenzeit im Jahresverlauf sowie dem gelegentlichen Auftreten von Nachtfrost geprägt war.

Abstract

Voigt, S., R. Noll, T. Schindler & J. Fischer (2025): Early Permian marks and traces from the Rhyolite Tuff IV of the Donnersberg Formation (Rotliegend Group, Nahe Subgroup, Saar-Nahe Basin, SW Germany). – Mitt. Pollichia 103: 7–22. Bad Dürkheim.

From tuffaceous mudstones of the middle part of the Donnersberg Formation (early Permian, Asselian/Sakmarian boundary) in the Saar-Nahe Basin, SW Germany, an association of marks and traces, hitherto unknown for the study area in terms of composition and detail, is presented. The sedimentary marks include evidence for microbially induced structures, raindrop and tool marks, desiccation cracks, and contour marks. The latter are genetically attributed to nocturnal freezing over of puddle-like micro-waters. The ichnofauna includes *Cochlichnus anguineus*, *Glaciichnium* isp., *Striatichnium natalis*, *Scyoenia gracilis* and *Dromopus lacertoides*, i.e. grazing traces of aquatic arthropods (Nematodea, Isopoda, Euthycarcinoidea), living and feeding traces of sediment-feeding arthropods as well as walking traces of lizard-like amniotes. The invertebrate trace *Glaciichnium* is a typical element of cool temperate freshwaters. There are also traces of roots and impressions of conifer shoots as the only body fossil remains. Litho- and biofacies of the studied rocks suggest an ephemeral-fluviatile depositional area, which was characterized by an alternation of rainy and dry seasons during the course of the year as well as the occasional occurrence of night frost.

1. Einleitung

Über Fossilien aus den frühpermischen Ablagerungen der Donnersberg-Formation des Saar-Nahe-Beckens wurde bereits im Zuge der bayerischen geologischen Landes-

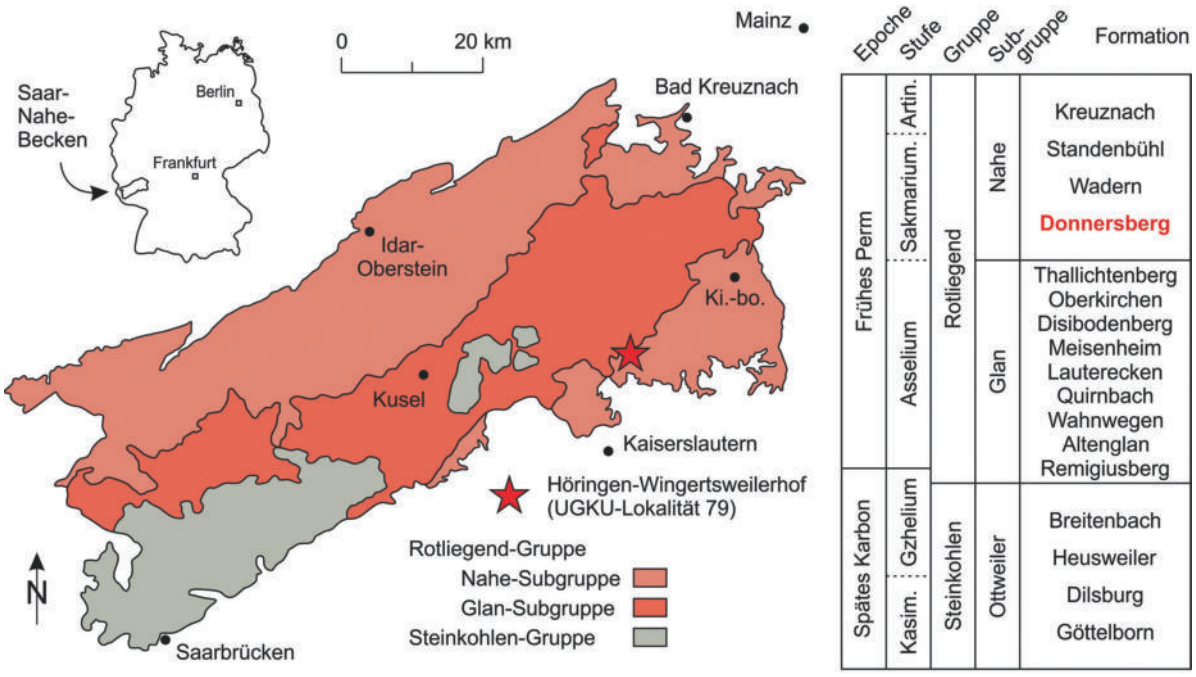


Abb. 1: Vereinfachte geologische Übersichtskarte und Lithostratigraphie des Saar-Nahe-Beckens mit dem Fundpunkt der frühpermischen Marken und Spuren bei Höringen-Wingertsweilerhof in der Donnersberg-Formation (UGKU-Lokalität 79). Abkürzungen: Artin. = Artinskium, Kasimov. = Kasimovium, Ki.-bo. = Kirchheimbolanden.

aufnahme vor mehr als 100 Jahren berichtet (Reis 1890, Schuster 1908a,b). Die ersten Mitteilungen betrafen versteinerte Pflanzenreste, Muscheln, Conchostraken, Fische und Amphibien. Spurenfossilien wurden jedoch erst im Zuge der systematischen Prospektion auf Tetrapodenfährten in der Donnersberg-Formation durch das geowissenschaftliche Institut der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts entdeckt und beschrieben (Fichter 1979, 1983). Der relativ späte Nachweis derartiger Fossilien in der Donnersberg-Formation ist erstaunlich, insofern die weit verbreiteten feinklastischen Sedimente und Tuffite dieses Schichtglieds ideale Voraussetzungen für die detaillierte Überlieferung von Lebensspuren bieten und entsprechende Funde häufig sein sollten (Voigt et al. 2019).

Hier berichten wir über eine Assoziation frühpermischer sedimentärer Marken und Spuren, die in einem kleinen, auflässigen Steinbruch mit Tuffiten des Rhyolith-Tuffs IV der Donnersberg-Formation bei Höringen-Wingertsweilerhof im Donnersbergkreis entdeckt worden sind. Das Vorkommen ist hinsichtlich der Vielfalt und Qualität seiner versteinerten Marken und Spuren interessant und dokumentationswürdig. Zudem liefert es einen wertvollen Ansatz, ökologische Aspekte im Saar-Nahe-Becken zur Zeit des beckeninternen Vulkanismus zu rekonstruieren, die teilweise von überregionaler Bedeutung sein können.

2 Material and Methodik

Diese Arbeit beruht auf der Auswertung von 39 Handstücken mit sedimentären Marken und Spuren (NHMMZ PF 2024/5101-LS bis NHMMZ PF 2024/5110-LS, NHMMZ PF 2024/5112-LS, NHMMZ PF 2024/5113-LS, NHMMZ PF 2024/5115-LS, NHMMZ PF 2024/5117-LS bis NHMMZ PF 2024/5121-LS, NHMMZ PF 2024/5123-LS, NHMMZ PF 2024/5201-LS bis NHMMZ PF 2024/5222-LS) aus dem Rhyolith-Tuff IV der Donnersberg-Formation östlich von Höringen-Wingertsweilerhof, Donnersbergkreis, Rheinland-Pfalz (Abb. 1). Das Material stammt aus im Frühjahr 2014 und Winter 2022 getätigten Oberflächenaufsammlungen in einem kleinen auflässigen Steinbruch der Höringer Flur „Glatte Buchen“ (UGKU-Lokalität 79 = Höringen-9 in der PGIS-Datenbank der GDKE: 413625 E / 5490940 N / 337 m NN / UTM-Zone 32 U / WGS 84; Abb. 2). Die dokumentierten Marken und Spuren von UGKU-Lokalität 79 sind in einem rotbraunen tuffitischen Ton-/Siltstein bis feinkörnigem Vulkanaschentuff als Epi- oder Hyporelief erhalten; nur in wenigen Fällen wurden Druck und Gegendruck der Objekte gefunden. Das gesammelte Material wurde mit Wasser und Bürsten gereinigt und, sofern notwendig, mit Hammer und Fliesenmeißel weiter gespalten. Die Analyse vor allem der meist wenig reliefierten biogenen Strukturen erfolgte unter Streiflicht. Alle Objekte wurden fotografisch dokumentiert (SONY Alpha 6500, Canon EOS 70D) und die am besten erhaltenen Formen auch zeichnerisch erfasst (CorelDraw).

Von ausgewählten Lithoproben wurden von einem der Autoren (RN) auf einer selbst gebauten Gesteinssäge mit einer Nassschleifmaschine (Vorschliff) sowie Diamant-Schleifpads im Trockenschliff (Feinschliff und Politur) Gesteinsanschliffe hergestellt.

Abkürzungen: **NHMMZ/LS** – Naturhistorisches Museum Mainz/Landessammlung für Naturkunde Rheinland-Pfalz; **UGKU** – Urweltmuseum GEOSKOP auf Burg Lichtenberg bei Kusel, Rheinland-Pfalz.

3 Geologischer Rahmen

Die in der Typusregion um den Donnersberg durchschnittlich etwa 800 bis 1.000 m mächtige Donnersberg-Formation bildet die Basis des Oberrotliegend (Nahe-Subgruppe) im Saar-Nahe-Becken. Bei der Donnersberg-Formation handelt es sich um eine Vulkanit-Sediment-Wechselfolge, die mit zahlreichen, vorherrschend rhyolithischen Tuffen und Tuffiten sowie basaltisch-andesitischen Lavadecken in ihrem lithologischen Bau deutlich von einem bimodalen, beckeninternen Magmatismus geprägt ist (Boy et al. 2012).

Zur Zeit der Entstehung der Donnersberg-Formation zählten Lavaströme, Spalteneruptionen, Maare, Vulkanschlote mit Staukuppen, Asche- und Lapilli-fördernde Eruptionen sowie pyroklastische Ströme zu den das Landschaftsbild prägenden Elementen vulkanischer Tätigkeit (Lorenz & Haneke 2004, Haneke & Lorenz 2014). Zeitlich parallel gab es im Becken auch limnisch-fluviatile Sedimentation: Flüsse aus südlich des Saar-Nahe-Beckens gelegenen Kristallin-Gebieten führten vor allem granitische Verwitterungsprodukte heran, die sich in beckenzentralen Abschnitten mit den Schüttungen von Schwemmkegeln vor der Südflanke des heutigen Rheinischen Schiefergebirges verzahnt haben und nach Nordosten entwässerten (Stollhofen 2007, Boy et al. 2012). In Bereichen mit geringem Relief existierten mäandrierende Flüsse mit weit aushaltenden Überflutungsebenen (Stollhofen 1994).

Die Gesteinsabfolgen der Donnersberg-Formation werden auf der Basis geographisch weit verbreiteter Rhyolith-Tuffe in fünf Subformationen unterteilt (Boy et al. 2012). Vom Liegenden zum Hangenden sind das die Schweisweiler-, Schallodenbach-, Wingertsweilerhof-, Höringen- und Jakobsweiler-Subformation. Die Marken und Spuren von UGKU-Lokalität 79 stammen von der Basis des Rhyolith-Tuffs IV aus dem obersten Abschnitt der Wingertsweilerhof-Subformation (Do3). Im Bereich der Fundstelle wie im gesamten südwestlichen Donnersberg-Gebiet bildet der Rhyolith-Tuff IV zusammen mit der Lavaserie 2 (Winnweiler Lager) eine Gesteinsabfolge, die volumetrisch von vulkanischen Ablagerungen dominiert wird. Dieser Abschnitt der Donnersberg-Formation beginnt im Arbeitsgebiet mit einer basalen Tuffit-Lage, auf die mit mehrfachem Wechsel basaltische Andesit-Laven (Flutbasalt) und dünne Tuffit-Lagen folgen. Der Rhyolith-Tuff IV ist die mächtigste vulkaniklastisch-sedimentäre Ablagerung dieses Abschnitts der Donnersberg-Formation und teilt die Lavaserie 2 in einen

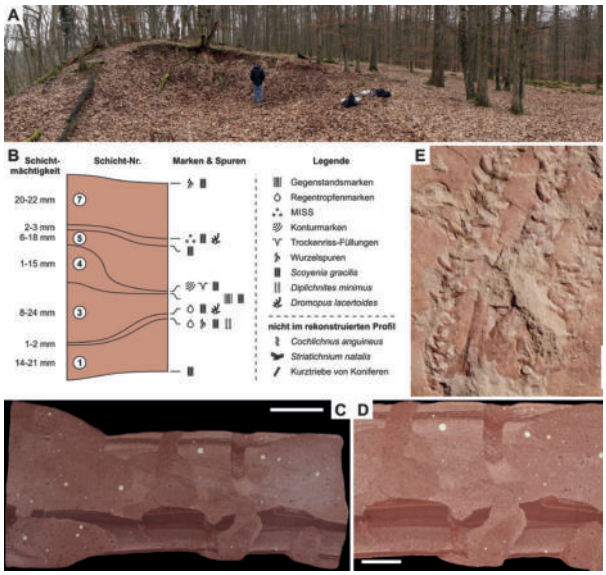


Abb. 2: Fundstelle mit frühpermischen Marken und Spuren bei Höringen-Wingertsweilerhof (UGKU-Lokalität 79): (A) Geländebild des auflässigen Steinbruches im Januar 2022; (B) aus Lesesteinen rekonstruierter Profilabschnitt der tuffitischen Ton-/Siltsteine mit horizontierbaren Marken und Spuren; (C), polierter Anschliff eines Handstückes von UGKU-Lokalität 79 mit Spuren intensiver Bioturbation (cf. *Scoyenia gracilis*); (D) vergrößerter Ausschnitt von (C); (E) Koniferenkurztriebe in verschlammter Erhaltung als einzige Körperfossilbelege der Fundstelle. Material: (C-D) NHMMZ PF 2024/5222-LS in normaler Orientierung = Liegendes unten, Hangendes oben; (E) NHMMZ PF 2024/5201-LS, konvexes Hyporelief. Maßstabsbalken: 10 mm (C, E), 5 mm (D).

unteren Bereich, der zur Wingertsweilerhof-Subformation (Do3) zählt, und einen oberen Bereich, der der im Hangenden folgenden Höringen-Subformation (Do4) zugeordnet wird (Boy et al. 2012).

Die einzig nachgewiesenen Körperfossilien der UGKU-Lokalität 79 stellen isolierte Kurztriebe von Koniferen in verschlammter Abdruckerhaltung dar (Abb. 2E). Die Pflanzenreste sind im Epirelief entweder konkav (NHMMZ PF 2024/5120-LS, NHMMZ PF 2024/5201-LS, NHMMZ PF 2024/5207-LS) oder konvex (NHMMZ PF 2024/5118-LS, NHMMZ PF 2024/5123-LS) überliefert – offenbar je nachdem, ob die untere oder obere Grenzfläche der Reste leichter spaltete. Ursächlich für die detailreiche Erhaltung der Marken und Spurenfossilien von UGKU-Lokalität 79 dürften die Feinkörnigkeit und eine frühdiagenetische Verkieselung des Substrats sein. Im Anstehenden ließen sich keine Flächen mit vergleichbaren Strukturen feststellen. Bei den Funden handelt es sich ausnahmslos um Lesesteine, wahrscheinlich Residuen des Steinbruchbetriebs. Die geborgenen Objekte repräsentieren einen etwa 7,5 cm mächtigen Profilabschnitt aus dem Rhyolith-Tuff IV, wobei die Strukturen von mindestens acht verschiedenen Schichtflächen stammen (Unterseite von Schicht 1 bis Oberseite von Schicht 7, vgl. Abb. 2B).

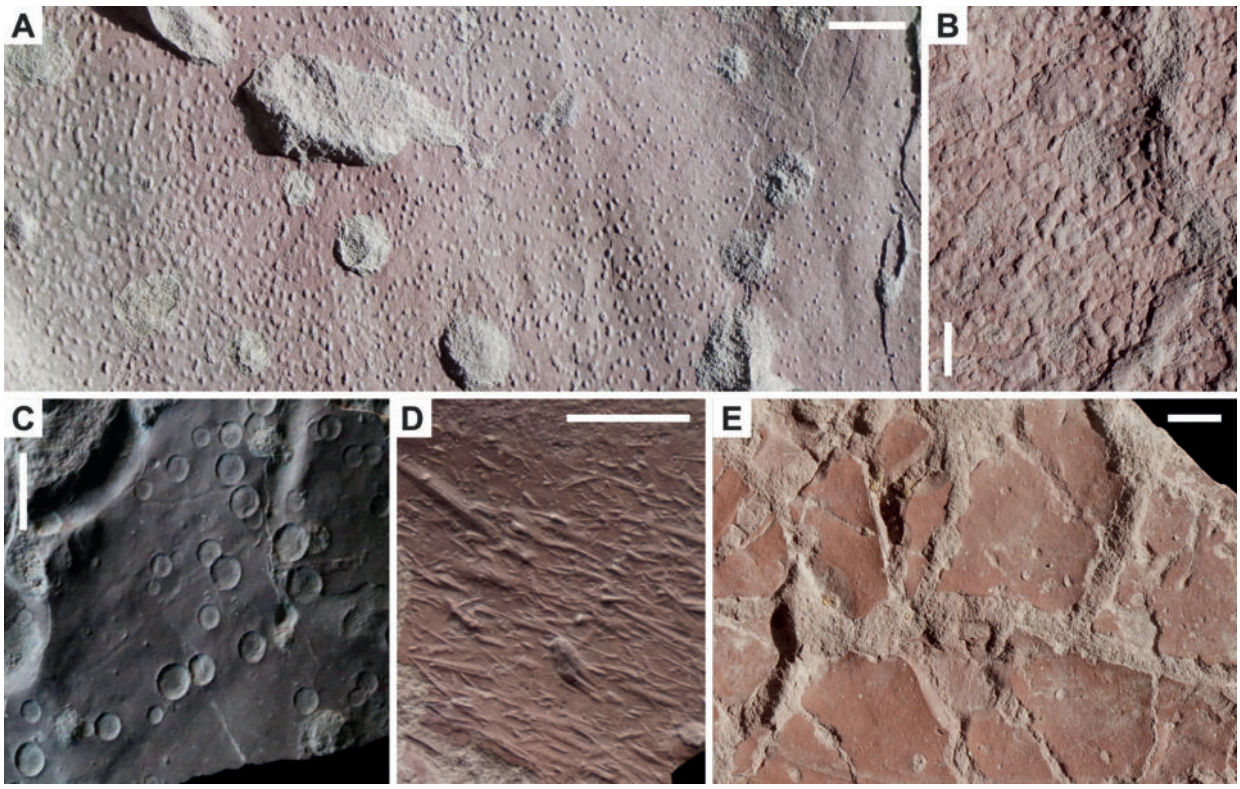


Abb. 3: Ausgewählte sedimentäre Marken von UGKU-Lokalität 79: (A-B) Mikrobiell induzierte sedimentäre Strukturen und cf. *Scoyenia gracilis*; (C) Regentropfenmarken; (D) Gegenstandsmarken; (E) verfüllte Trockenrisse. Material: (A) NHMMZ PF 2024/5101-LS, konvexes Hyporelief; (B) NHMMZ PF 2024/5102-LS, konvexes Hyporelief; (C) NHMMZ PF 2024/5103-LS, konkaves Epirelief; (D) NHMMZ PF 2024/5104-LS, konvexes Hyporelief; (E) NHMMZ PF 2024/5105-LS, Epirelief. Maßstabsbalken: 10 mm.

Nach radioisotopischen Altersdatierungen (Lippolt & Hess, 1983, 1989) ist der beckeninterne Magmatismus im Saar-Nahe-Becken auf einen Zeitraum von vier Millionen Jahren (296 bis 293 Ma) beschränkt. Der Rhyolith-Tuff IV im Steinbruch Giro / Mannbühl zwischen Kirchheimbolanden und Dannenfels im Donnersbergkreis ist kürzlich mittels LA-ICP-MS (U/Pb und Th/Pb von Monaziten) auf 293±1 Ma datiert worden (Kakkar 2020, unveröff. MSc-Arbeit, Goethe-Universität Frankfurt). Den genannten Daten nach kann das hier beschriebene Vorkommen des Rhyolith-Tuffs IV von Höringen-Wingertsweilerhof grob dem Grenzbereich Asselium-Sakmarium (293,52±0,17 Ma; International Chronostratigraphic Chart 2023/09) zugeordnet werden.

4 Sedimentäre Marken

An UGKU-Lokalität 79 wurden Belege für mikrobiell induzierte sedimentäre Strukturen, Regentropfenmarken, Gegenstandsmarken, Trockenrisse und Konturmarken gefunden.

Mikrobiell induzierte sedimentäre Strukturen (MISS) (Abb. 3A-B)

Material: NHMMZ PF 2024/5101-LS, NHMMZ PF 2024/5102-LS, NHMMZ PF 2024/5105-LS, NHMMZ PF 2024/5118-LS, NHMMZ PF 2024/5121-LS, alle konvexes Hyporelief; NHMMZ PF 2024/5201-LS, NHMMZ PF 2024/5123-LS, NHMMZ PF 2024/5213-LS, alle Druck und Gegendruck; NHMMZ PF 2024/5212-LS, NHMMZ PF 2024/5218-LS, NHMMZ PF 2024/5219-LS, NHMMZ PF 2024/5221-LS, alle konkaves Epirelief.

Beschreibung: Punktmarken in Form flacher Depressionen von ovalem oder kreisförmigem Umriss, konkav im Epirelief beziehungsweise konvex im Hyporelief. Der Durchmesser der Marken variiert zwischen 0,5 und 2 mm. Die Marken sind überwiegend unscharf begrenzt und bedecken, soweit beobachtbar, die Schichtflächen gleichmäßig. Marken von geringem Durchmesser treten gewöhnlich isoliert auf; mit zunehmender Größe wird der Abstand zwischen benachbarten Marken immer geringer, bis es letztlich zu unscharfem Überlappen oder der partiellen, ‚perlschnurartigen' Vereinigung einzelner Marken kommt. Abstand und Durchmesser der Marken können sich auf einer Schichtfläche systematisch ändern (Abb. 3A).

Diskussion: Die beschriebenen Punktmarken sehen so genannten ‚siebartigen Oberflächen' ähnlich, die in rezenten Sedimenten mit mikrobiellem Wachstum beobachtet werden können (Bose & Chafetz 2009). Photosynthetisch aktive Mikrobenmatten produzieren Sauerstoff, der sich in flachen, am Boden mit Mikrobenmatten bedeckten Gewässern an der Grenzfläche zwischen Sediment und Wasser in Form kleiner Gasblasen sammelt. Die langsame Produktion

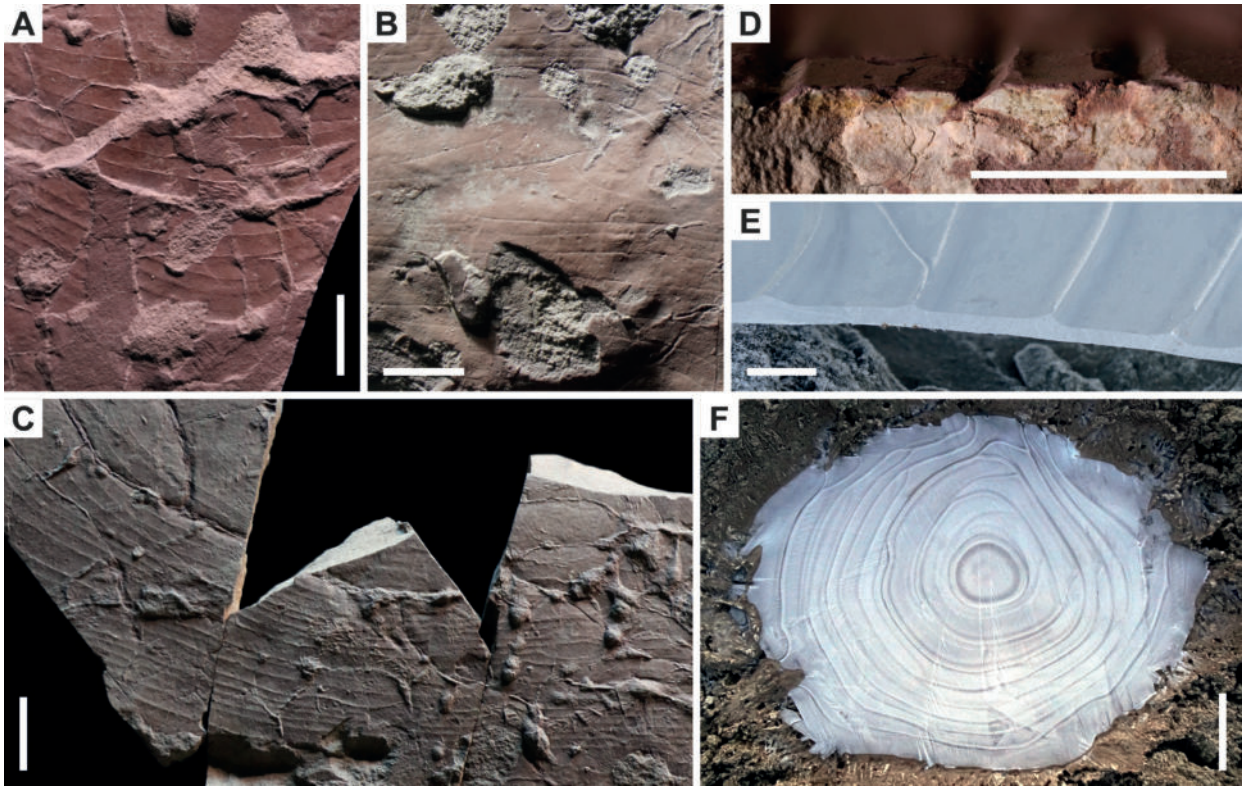


Abb. 4: Konturmarken von UGKU-Lokalität 79 (A-D) und Eisrücken einer rezenten Pfütze (E-F): (A-C) Konturmarken in typischer Ausbildung als feine, weitgehend konzentrische Linien; (D) Konturmarken im natürlichen Querbruch, auffallend ist die Ausbildung als winklige, leicht asymmetrische Kerben; (E-F) Eisplatte mit Eisrippen auf einer künstlich erzeugten Pfütze, wobei die Eisrippen (E) im Querschnitt ziemlich genau mit dem Querschnitt der Konturmarken von UGKU-Lokalität 79 (D) übereinstimmen. Material: (A) NHMMZ PF 2024/5106-LS, konvexes Hyporelief; (B) NHMMZ PF 2024/5107-LS, konkaves Epirelief; (C) NHMMZ PF 2024/5108-LS, konvexes Hyporelief; (D) NHMMZ PF 2024/5109-LS, konkaves Epirelief; (E) konvexes Hyporelief und (F) Aufsicht, beides Betriebsgelände der Basalt AG, Werk Rammelsbach, 20./21. Dezember 2021. Maßstabsbalken: 10 mm (A-E), 100 mm (F).

der Gase und von den Mikroben abgesonderte extrazelluläre polymere Substanzen scheinen die Blasen zu stabilisieren, so dass sie lange am Gewässerboden verweilen (Eriksson et al. 2007). In rezenten Wattsedimenten ist beobachtet worden, wie neue Matten die Blasen umwachsen und die Blasenzwischenräume ausfüllen, so dass bei zurückgehender Wasserbedeckung und dem Auftreiben der Gasblasen genarbte Sedimentoberflächen mit zirkularen Depressionen zurückbleiben, die an Siebe erinnern (Eriksson et al. 2007, Bose & Chafetz 2009). Es ist zu vermuten, dass die Größe der Punktmarken in Relation zur Wasserbedeckung stehen und größere Punktmarken in tieferem Wasser generiert werden, da aufgrund des höheren hydrostatischen Drucks in diesen Bereichen die Blasen länger am Gewässerboden verweilen können. Isolierte Handstücke mit MISS-Punktmarken sind nicht nur als Oben-Unten-Kriterium nützlich, sondern erlauben auch Aussagen zur Mikrotopographie des Ablagerungsraumes.

Regentropfenmarken (Abb. 3C)

Material: NHMMZ PF 2024/5103-LS, NHMMZ PF 2024/5106-LS, NHMMZ PF 2024/5107-LS, alle konkaves Epirelief; NHMMZ PF 2024/5115-LS, NHMMZ PF 2024/5211-LS, NHMMZ PF 2024/5220-LS, NHMMZ PF 2024/5221-LS, alle konvexes Hyporelief.

Beschreibung: Punktmarken in Form flacher Depressionen von schwach ovalem oder kreisförmigem Umriss, konkav im Epirelief beziehungsweise konvex im Hyporelief. Der Durchmesser der Marken variiert zwischen 2 und 6 mm. Auffallend scharfer äußerer Ringwall im Epirelief beziehungsweise Ringgraben im Hyporelief. Die Punktmarken sind statistisch verteilt, können isoliert auftreten oder einander partiell überlappen und bedecken oft die gesamte Schichtfläche, soweit diese freiliegt oder erhalten ist.

Diskussion: Die beschriebenen Punktmarken werden aufgrund des Größenspektrums, der kraterartigen Morphologie und dem partiellen Überlappen genetisch Niederschlagsereignissen in Form von Regen zugeordnet. Der Durchmesser rezenter Regentropfen variiert zwischen 0,5 und 6,0 mm (Ahrens 1985). Ursächlich auf Regen zurückgeführte Punktmarken in Sedimentgesteinen sind seit mehr als 150 Jahren Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion (Cunningham 1839, Redfield 1843, Lyell 1851). Ähnliche Punktmarken können durch von Pflanzen ablaufenden Regen, Hagel, Wasserspritzer oder im Sediment aufsteigende Gasblasen erzeugt werden (Twenhofel 1921). Regentropfenmarken unterscheiden sich aufgrund ihrer Regelmäßigkeit und in der Kombination oben genannter

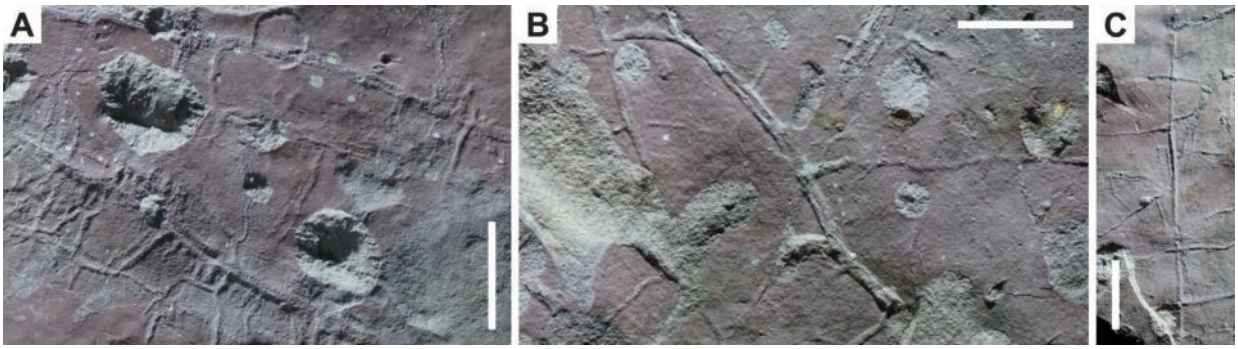


Abb. 5: Wurzelspuren von UGKU-Lokalität 79: (A) Typ 1 mit relativ geraden Hauptachsen und oft dicht aufeinander folgenden, kurzen Abzweigungen. (B) Typ 2 mit eher gekrümmten Hauptachsen und weitständigen, langen Abzweigungen. (C) Mischtyp mit relativ gerader Achse und weitständigen, langen Abzweigungen. Material: (A) NHMMZ PF 2024/5110-LS; (B) NHMMZ PF 2024/5101-LS; (C) NHMMZ PF 2024/5112-LS; jeweils konvexes Epirelief. Maßstabsbalken: 10 mm.

Merkmale in aller Regel deutlich von diesen Strukturen. Regentropfenmarken entstehen vorzugsweise in sehr feinkörnigem, kohäsivem Substrat gegen Ende eines Regenschauers (Metz 1981). Der annähernd kreisförmige Umriss der beschriebenen Punktmarken von UGKU-Lokalität 79 deutet auf nahezu senkrechten Fall der Tropfen zum Zeitpunkt der Entstehung hin; stärker ovale und mit der Längsachse parallel orientierte Regentropfenmarken, wie sie für windgetriebenen Regen typisch sind (Hladil & Beroušek 1993), wurden an UGKU-Lokalität 79 nicht beobachtet.

Gegenstandsmarken (Abb. 3D)

Material: NHMMZ PF 2024/5211-LS, NHMMZ PF 2024/5214-LS, NHMMZ PF 2024/5217-LS, alle konkaves Epirelief; NHMMZ PF 2024/5104-LS, konvexes Hyporelief; NHMMZ PF 2024/5221-LS, konkaves Epirelief und konvexes Hyporelief.

Beschreibung: Es handelt sich um einige Millimeter bis wenige Zentimeter lange, Submillimeter bis Millimeter breite, irreguläre Furchen im Epirelief beziehungsweise entsprechend schmale und kurze Rücken im Hyporelief (NHMMZ PF 2024/5104-LS, NHMMZ PF 2024/5211-LS, NHMMZ PF 2024/5214-LS, NHMMZ PF 2024/5217-LS, NHMMZ PF 2024/5221-LS; Abb. 3D). Die Marken treten ausschließlich im Grenzbereich der Schichten 3 und 4 auf (vgl. Abb. 2B) und sind, soweit beobachtbar, grob subparallel orientiert. Auf zwei Handstücken desselben Profilabschnitts sind lineare Furchen mit v-förmiger Runzelung erhalten (NHMMZ PF 2024/5104-LS, NHMMZ PF 2024/5211-LS).

Diskussion: Nach Relief, Gestalt und Orientierung der beschriebenen Strukturen handelt es sich um Gegenstandsmarken, die durch den Kontakt von in strömendem Wasser transportierten Objekten (z.B. Pflanzendetritus, Schalen,

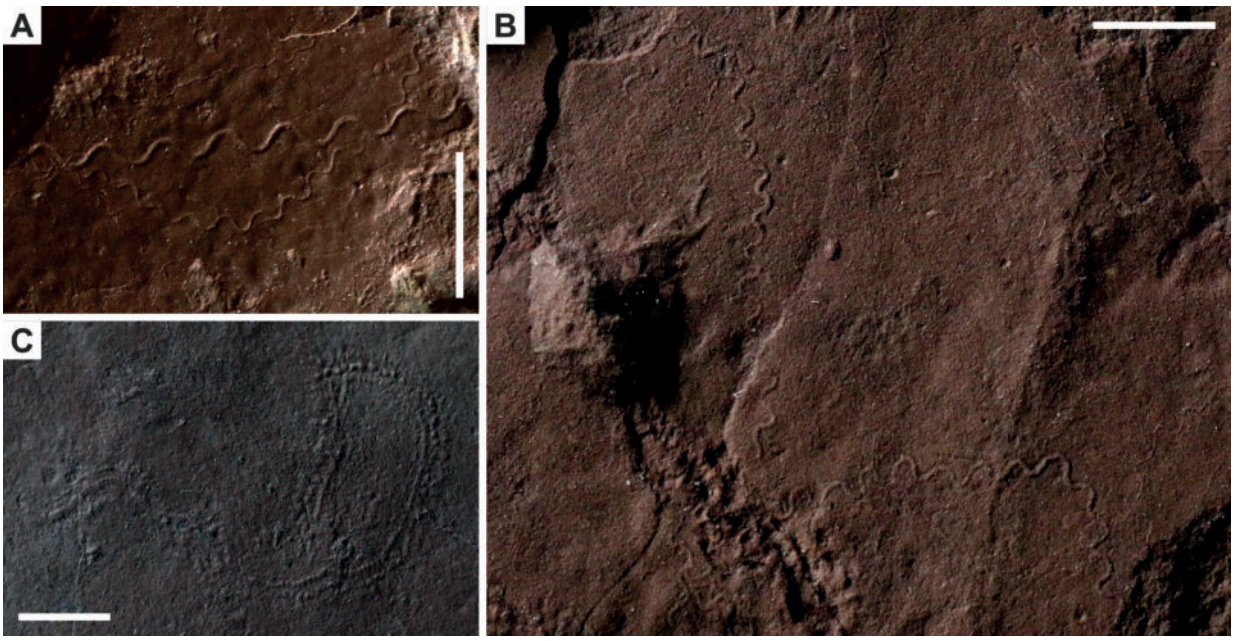


Abb. 6: *Cochlichnus anguineus* Hitchcock, 1858 (A-B) und *Glaciichnium* isp. Walter, 1985 (C) von UGKU-Lokalität 79. Material: (A) NHMMZ PF 2024/5113-LS, konkaves Epirelief; (B) NHMMZ PF 2024/5109-LS, konvexes Hyporelief; (C) NHMMZ PF 2024/5115-LS, konvexes Hyporelief. Maßstabsbalken: 2 mm.

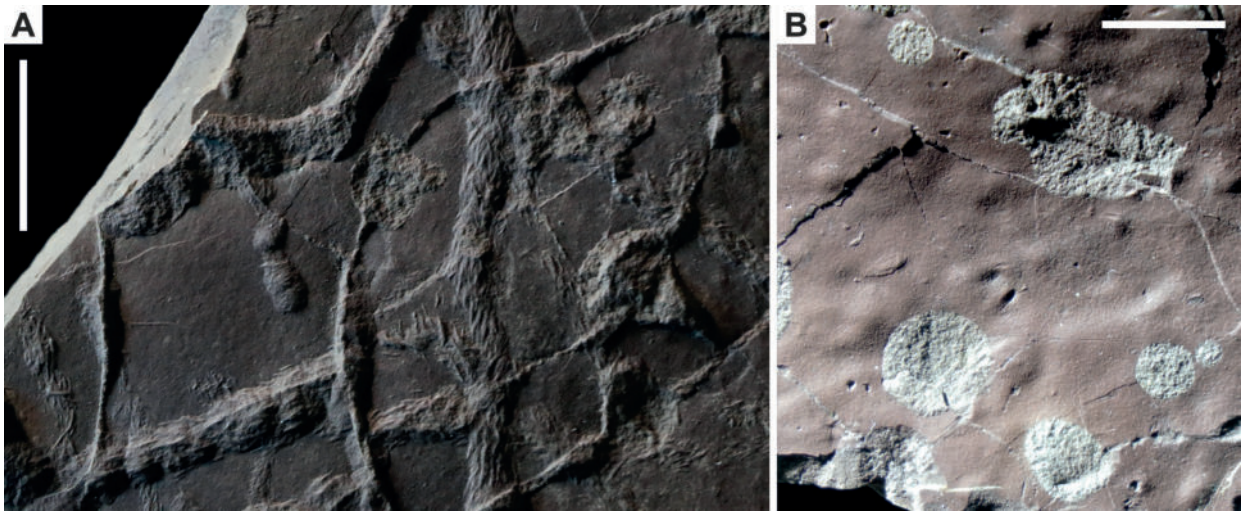


Abb. 7: *Scoyenia gracilis* White, 1929 (A) und mit diesem Ichnotaxon vergleichbare Spuren (B) von UGKU-Lokalität 79. Material: (A) NHMMZ PF 2024/5106-LS, konvexes Hyporelief; (B) NHMMZ PF 2024/5117-LS, Hyporelief. Maßstabsbalken: 10 mm.

Knochen, Gesteinsbruchstücken) mit kohäsivem Substrat am Boden eines Fließgewässers entstanden sind (Picard & High 1973). Die geringe Größe der Strukturen deutet auf eher kleine Objekte und relativ kurzzeitigen Stoß- oder Prallkontakt mit dem Boden hin. Einen etwas längeren und eher schleifenden Bodenkontakt dokumentieren die linearen Furchen mit v-förmiger Runzelung (cut chevron marks) (Peakall et al. 2020).

Trockenrisse (Abb. 3E)

Material: NHMMZ PF 2024/5105-LS bis NHMMZ PF 2024/5108-LS, NHMMZ PF 2024/5113-LS, NHMMZ PF 2024/5115-LS, NHMMZ PF 2024/5118-LS, NHMMZ PF 2024/5120-LS, NHMMZ PF 2024/5201-LS, NHMMZ PF 2024/5202-LS, NHMMZ PF 2024/5205-LS, NHMMZ PF 2024/5207-LS bis NHMMZ PF 2024/5209-LS, NHMMZ PF 2024/5212-LS, NHMMZ PF 2024/5213-LS, NHMMZ PF 2024/5216-LS, NHMMZ PF 2024/5218-LS, NHMMZ PF 2024/5219-LS.

Beschreibung: Mehr oder weniger parallel begrenzte Netzleisten, Submillimeter (z.B. NHMMZ PF 2024/5118-LS) bis maximal fünf Millimeter (z.B. NHMMZ PF 2024/5105-LS) breit, die drei-, vier- oder fünfseitige Polygone von 1-10 cm Durchmesser begrenzen. Es dominieren vierseitige Polygone, wobei rechte Winkel nahezu fehlen; drei- und fünfseitige Polygone sind in etwa gleich häufig. Die Strukturen konnten im vorhandenen Material nirgends im Querschnitt beobachtet werden. Die breitesten Strukturen (NHMMZ PF 2024/5105-LS) erreichen weniger als 15 Millimeter Tiefe, da sich im betreffenden Objekt die Netzleistenmuster von Ober- und Unterseite unterscheiden. Auf der Schichtfläche scheint die Orientierung der Netzleisten weitgehend zufällig.

Diskussion: Die beschriebenen Strukturen werden als Ausfüllungen von Trockenrissen gedeutet, die entstehen, wenn feuchtes, feinkörniges Sediment über längere Zeit an der Luft exponiert liegt, Tonminerale einen Teil ihres Kristallwassers abgeben und das Sediment schrumpft (Picard & High 1973). Der Wasserentzug und die damit einhergehende Volumenreduktion eines feinkörnigen Sediments kann prinzipiell auch unter Wasserbedeckung durch Kompaktion, seismisch-induzierte Schockwellen oder unterschiedliche Salzkonzentration zwischen Porenwasser und dem über dem Sediment stehenden freien Wasser erfolgen. Gegen diese alternativen Erklärungsmuster sprechen im vorliegenden Fall die Absenz von Evaporiten im Profil, die überwiegend parallelrandigen Netzleisten mit nichtorthogonalen Winkeln sowie die vollständig ausgebildeten Polygone (Aston & Rogers 1991, Pratt 1998, Pratt & Ponce 2019).

Konturmarken (Abb. 4)

Material: NHMMZ PF 2024/5106-LS, NHMMZ PF 2024/5108-LS, NHMMZ PF 2024/5202-LS, NHMMZ PF 2024/5203-LS, NHMMZ PF 2024/5205-LS bis NHMMZ PF 2024/5208-LS, NHMMZ PF 2024/5218-LS, NHMMZ PF 2024/5219-LS, alle konvexes Hyporelief; NHMMZ PF 2024/5109-LS, NHMMZ PF 2024/5113-LS, NHMMZ PF 2024/5221-LS, Druck und Gegendruck; NHMMZ PF 2024/5104-LS, NHMMZ PF 2024/5107-LS NHMMZ PF 2024/5115-LS, NHMMZ PF 2024/5216-LS, NHMMZ PF 2024/5217-LS, NHMMZ PF 2024/5220-LS, alle konkaves Epirelief.

Beschreibung: Überwiegend konzentrisch angeordnete Rillen (Epirelief) beziehungsweise gratartige Erhebungen (Hyporelief), vereinfachend ‚Linien' genannt, von Submillimeter bis wenige Millimetern Breite. Die Linien verlaufen in den meisten Fällen weitgehend parallel zueinander, vereinzelt gibt es aber auch signifikante Abweichungen (NHMMZ PF 2024/5107-LS, NHMMZ PF 2024/5108-LS; Abb. 4B-C). Blind endende oder verzweigte Linien sind sehr selten. Eng gescharte Linien sind in der Regel von geringerem Relief und folgen dichter aufeinander als weit-

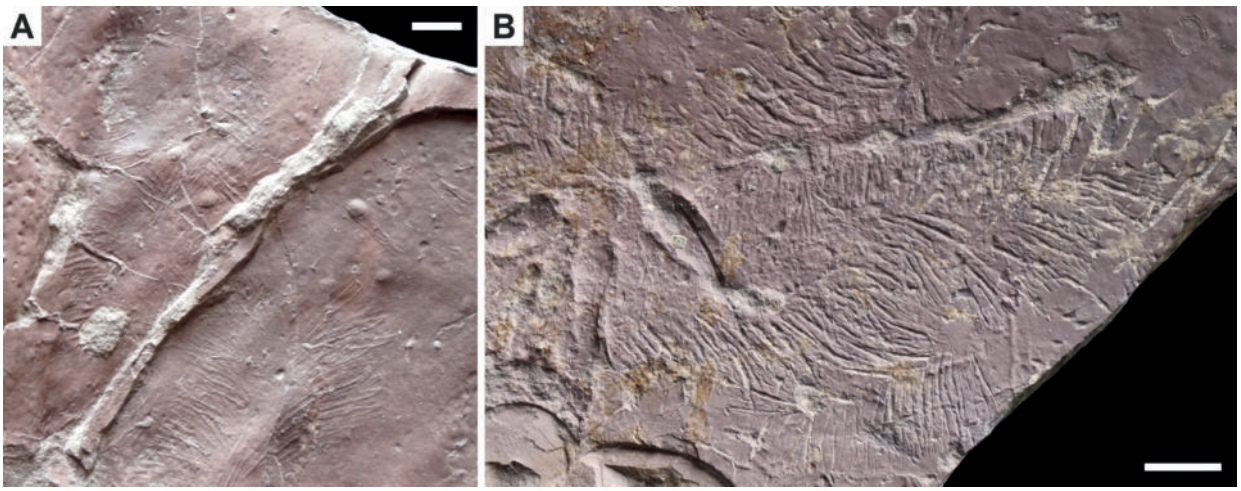


Abb. 8: *Striatichnium natalis* Walter, 1982 von UGKU-Lokalität 79: Arttypisch sind die bandartige Anordnung, der gekrümmte Verlauf und das partielle Überlappen der Striemen in der Mitte der Spur. Material: (A) NHMMZ PF 2024/5118-LS, konvexes Hyporelief; (B) NHMMZ PF 2024/5119-LS, konkaves Epirelief. Maßstabsbalken: 5 mm (A), 10 mm (B).

ständige Linien. Der vertikale Abstand der Linien schwankt zwischen etwas mehr als einem und etwa drei Millimetern. NHMMZ PF 2024/5207-LS zeigt mit 29 Linien in vertikaler Abfolge die größte beobachtete Linienzahl. Bei nahezu allen Objekten halten die Linien über die gesamte Schichtfläche durch; die meisten Schichtflächen wirken fast eben, bei den größeren Objekten deutet sich eine ganz flache Wölbung an. Der Querschnitt der Rillen/Grate ist spitzwinklig und leicht asymmetrisch (Abb. 4D).

Diskussion: Die bezeichneten Strukturen sind in ähnlicher, aber größerer dimensionierter Ausprägung aus dem frühpermischen Tambach-Sandstein der Tambach-Formation im Thüringer Wald, Mitteldeutschland als sogenannte Konturmarken bekannt (Pabst 1908, Martens 2022, Pint et al. 2023). In dem Thüringer Vorkommen wurden die Konturmarken lange Zeit als Wasserstandsmarken gedeutet (Martens et al. 1981, Martens 1982, Eberth et al. 2000). Diese Erklärung setzt ein trocken-heißes Klima voraus, unter dem tagsüber von der Oberfläche stehender Kleingewässer Wasser in signifikanten Mengen und relativ rasch verdunstet, während nachts bei kühlen Temperaturen und quasi fehlender Verdunstung der Wasserstand ortskonstant bleibt und durch geringste Wasserbewegung am Uferrand des Gewässers eine Linie erodiert wird. Dieser Tag-Nacht-Wechsel wiederholt sich, bis das Gewässer ausgetrocknet ist. Eine alternative Erklärung führt die Konturmarken aus dem Tambach-Sandstein auf oberflächliches Zufrieren der Wasserkörper zurück (Martens 2007, 2022). Unter bestimmten Bedingungen entstehen an der Unterseite der Eisplatte oberflächlich zugefrorener Pfützen konzentrisch angeordnete Eisrippen, die den Konturmarken frühpermischer Rotsedimente ähneln (Abb. 4E-F; Redd 1991). Rezente Konturmarken hat Martens (2007, 2022) im Schlamm ausgetrockneter Pfützen der Atacama-Wüste, Chile, in Gebieten beobachtet, die zwar Nachtfrost erfahren, aber leider ohne den direkten Nachweis, dass die dort auftretenden Linien tatsächlich auf Eis zurückzuführen sind. Die genaue Entstehung von Konturmarken ist unbekannt. Dass Eis eine entscheidende Rolle spielen dürfte, legt das Material von UGKU-Lokalität 79 nahe: Experimentell erzeugte Eisrippen zeigen den gleichartig asymmetrischen und spitzwinkligen Querschnitt wie der Querschnitt der fossilen Konturmarken (Abb. 4D-E). Wasserstandsmarken, die durch Erosion im Uferbereich stehender Gewässer generiert werden, erscheinen morphologisch wie die Stufen einer Treppe, da sie gewöhnlich einen rechtwinkligen Querschnitt aufweisen (z.B. Dalrymple et al. 1990: Fig. 23D).

5 Paläoichnologie

An UGKU-Lokalität 79 wurden Belege zu Wurzelspuren, *Cochlichnus anguineus*, *Glaciichnium* isp., *Scoyenia gracilis*, *Striatichnium natalis* und *Dromopus lacertoides* gefunden.

Wurzelspuren (Abb. 5)

Material: NHMMZ PF 2024/5101-LS, NHMMZ PF 2024/5110-LS, NHMMZ PF 2024/5112-LS, NHMMZ PF 2024/5113-LS, NHMMZ PF 2024/5209-LS, Wurzelspuren erhalten als konvexes Epirelief; NHMMZ PF 2024/5210-LS, Wurzelspuren erhalten in Druck und Gegendruck.

Beschreibung: Verzweigte, flächig ausgebreitete, linienartige Halbreliefs; Erhaltung als konvexes Epirelief oder konkaves Hyporelief. Achsen samt Verzweigungen 0,5 bis 2 mm breit, gerade oder leicht gekrümmt und schichtparallel auf beobachtbarer Strecke (maximal 4 cm). Dem Verzweigungsmuster nach lassen sich zwei generelle Spurentypen unterscheiden: (1) Multipel verzweigte, eher gerade Achsen mit häufig rechtwinkligen, relativ kurzen Abzweigungen, die im Millimeterabstand aufeinander folgen können (NHMMZ PF 2024/5110-LS, NHMMZ PF 2024/5113-LS, NHMMZ PF 2024/5209-LS, NHMMZ

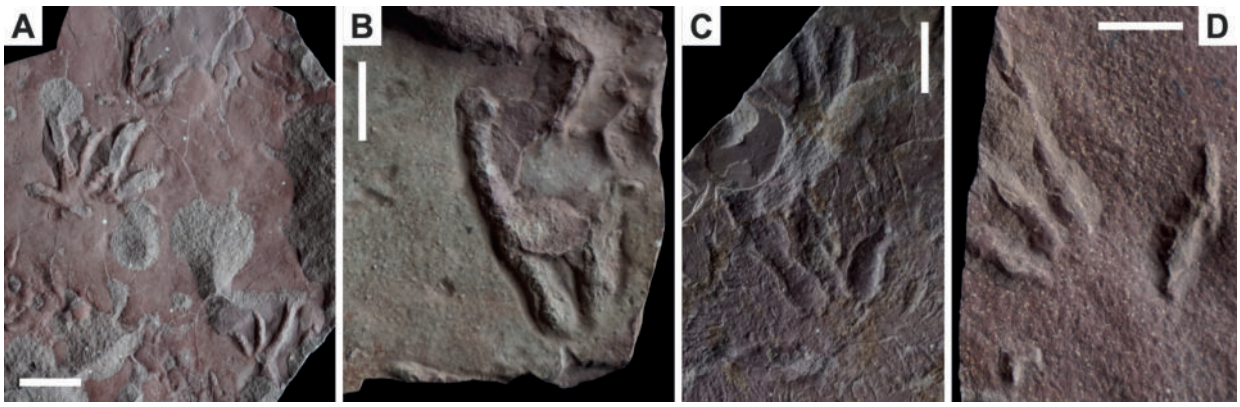


Abb. 9: *Dromopus lacertoides* (Geinitz, 1861) von UGKU-Lokalität 79: Arttypisch sind die langen, schlanken Zehenstrahlen, der stark verlängerte vierte Zeh, der nach außen gerichtete fünfte Zeh und die kurzen Sohleneindrücke von Fuß und Hand. Material: (A) NHMMZ PF 2024/5120-LS, konvexes Hyporelief; (B) NHMMZ PF 2024/5121-LS, konvexes Hyporelief; (C) NHMMZ PF 2024/5119-LS, konkaves Epirelief; (D) NHMMZ PF 2024/5123-LS b, konvexes Hyporelief. Maßstabsbalken: 10 mm.

PF 2024/5210-LS) (Abb. 5A); (2) eher gekrümmte Achsen mit relativ langen Abzweigungen, die in weiterem, etwa 5–10 mm großem Abstand aufeinander folgen (NHMMZ PF 2024/5101-LS) (Abb. 5B). NHMMZ PF 2024/5112-LS (Abb. 5C) zeigt eine Mischung von Merkmalen der Typen 1 und 2 — eine weitgehend gerade Achse mit rechtwinkligen, langen und weitständigen Abzweigungen.

Diskussion: Die vielfachen Verzweigungen und das generell geflechtartige Erscheinungsbild der beschriebenen Spuren erinnert an rezente Wurzeln (Gregory 2006). Als entscheidendes Merkmal für die Identifikation fossiler Wurzelspuren wird häufig eine Verjüngung der Achsen betrachtet (Klappa 1980). Eine solche ist im vorliegenden Fall nicht zu beobachten, aufgrund der schichtparallelen Erstreckung der Spuren aber auch nicht zwingend zu erwarten. Wurzelspuren frühpermischer Pflanzen haben bisher kaum wissenschaftliches Interesse gefunden, weil Organzusammenhänge weitgehend fehlen (Barthel 2009). Die Aussagekraft derartiger Fossilien scheint begrenzt, insofern der Habitus von Pflanzenwurzeln (selbst innerartlich) stark von der Art des Bodens und der Wasserverfügbarkeit abhängt (Cohen 1982).

Interpretation: Geringe Größe und die ausnahmslos schichtparallele Orientierung der Spuren deuten auf das Werk flach wurzelnder Pflanzen von niedrigem Wuchs. Im stratigraphischen und ökologischen Kontext sind als Spurenerzeuger vor allem krautige Vertreter von Filicophyten (Echte Farne) und Pteridospermen (Farnsamer) denkbar (Kerp et al. 2007, Barthel 2009, Voigt & Noll 2015).

Cochlichnus anguineus Hitchcock, 1858 (Abb. 6A-B)

Material: NHMMZ PF 2024/5113-LS (Abb. 6A), sechs Spuren als konkaves Epirelief (partieller Gegendruck von NHMMZ PF 2024/5113-LS ist erhalten, aber ohne *Cochlichnus*-Spuren); NHMMZ PF 2024/5109-LS (Abb. 6B), mehr als 10 Spuren als konvexes Hyporelief (Gegendruck von NHMMZ PF 2024/5109-LS mit nur einer *Cochlichnus*-Spur; übrigen Spuren vermutlich weggewittert).

Beschreibung: Schichtparallel-sinusförmige Spuren, die als konkaves Epirelief oder konvexes Hyporelief erhalten sind und kein Ornament zeigen. Die Windungen können einer geraden, gleichmäßig gekrümmten oder unregelmäßig geschwungenen Linie folgen und sind unverzweigt. Der Querschnitt der Spuren erscheint zylindrisch und variiert zwischen ca. 0,1 und 1,0 mm Durchmesser. Spuren von unterschiedlichem Durchmesser treten zusammen auf und können einander überschneiden. Die Länge der vollständigsten Spuren erreicht knapp über 10 mm, die Wellenlänge der sinusförmigen Mäander beträgt zwischen 0,5 und 1,0 mm, die Amplitude zwischen 0,25 und 0,5 mm. Im Verlauf einer Spur können Wellenlänge und Amplitude sehr einheitlich, aber auch deutlichen Schwankungen unterworfen sein.

Diskussion: Die überwiegend regelmäßig sinusförmigen Spuren zeigen alle Merkmale von *Cochlichnus* Hitchcock, 1858. Die glatten, ornamentlosen Windungen unterscheiden die Typusart *Cochlichnus anguineus* von der einzig deutlich unterscheidbaren zweiten Art *C. annulatus* Orlowski, 1989 mit charakteristischen Einschnürungen im Spurenverlauf. *Cochlichnus* ist vom Präkambrium bis Quartär aus marinen (Cruziana-Ichnofazies) und kontinentalen Sedimenten (Mermia-Ichnofazies) beschrieben (Hitchcock 1858, Orlowski 1989, Buatois et al. 1996, Hminna et al. 2020, Dernov 2023).

Interpretation: *C. anguineus* wird meist als Weidespur oder kombinierte Lokomotions- und Weidespur von Nematoden gedeutet (Moussa 1970, Chamberlain 1975, Buatois et al. 1996, Metz 1998, Dernov 2023).

Glaciichnium isp. Walter, 1985 (Abb. 6C)

Material: NHMMZ PF 2024/5115-LS (Abb. 6C), ca. 15 mm lange Spur als konvexes Hyporelief; NHMMZ PF 2024/5216-LS, ca. 15–20 mm lange Spur als konkaves Epirelief.

Beschreibung: unregelmäßig gewundene Horizontalspur, Spurenbreite etwas mehr als einen Millimeter, medial

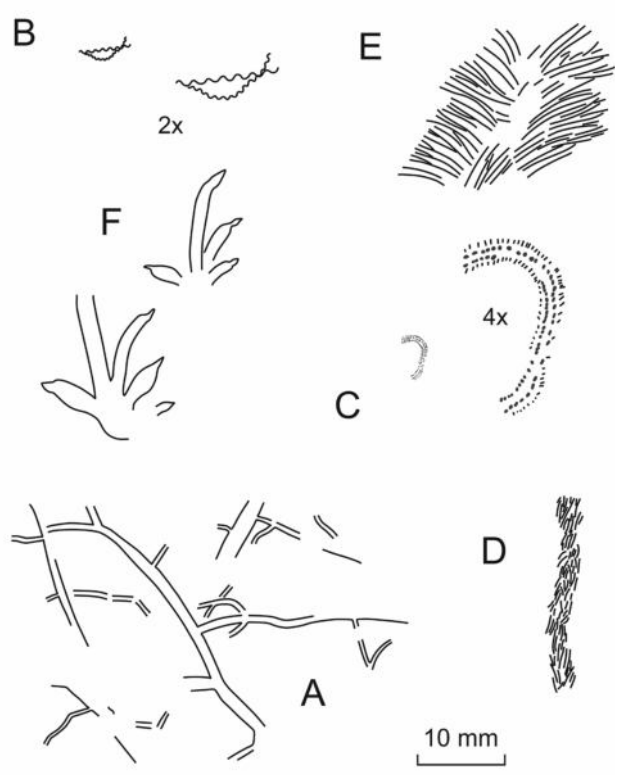


Abb. 10: Zeichnungen ausgewählter Spurenfossilien von UGKU-Lokalität 79: (A) Wurzelspuren, (B) *Cochlichnus anguineus* Hitchcock, 1858, (C) *Glaciichnium* isp. Walter, 1985, (D) *Scoyenia gracilis* White, 1929, (E) *Striatichnium natalis* Walter, 1982, (F) *Dromopus lacertoides* (Geinitz, 1861). Material: (A) NHMMZ PF 2024/5101-LS, (B) NHMMZ PF 2024/5113-LS, (C) NHMMZ PF 2024/5115-LS, (D) NHMMZ PF 2024/5106-LS, (E) NHMMZ PF 2024/5118-LS, (F) NHMMZ PF 2024/5120-LS. Die Spuren sind im gleichen Maßstab zueinander dargestellt. Die sehr kleinen Spuren sind zusätzlich noch vergrößert wiedergegeben (*Cochlichnus* zweifach, *Glaciichnium* vierfach vergrößert).

Doppelspur aus Einzelpunktreihen (konkav im Epirelief, konvex im Hyporelief), Einzelpunkte können zu durchgehenden Linien verschmelzen, lateral kurze, lineare Spuren (konkav im Epirelief, konvex im Hyporelief), die bisweilen distal aufgabeln, laterale Spuren stehen nahezu orthogonal oder zumindest in großem Winkel zur gedachten Mittellinie der Gesamtspur; die mediane Spur und die lateralen Eindrücke sind mitunter nur einseitig ausgebildet, abschnittsweise kann die mediane Spur auch komplett ausfallen (NHMMZ PF 2024/5216-LS), so dass nur die lateralen Spuren erhalten bleiben. Partiell wird Medianspur lateral nur von sehr kurzen Graten in Längsrichtung begleitet (NHMMZ PF 2024/5115-LS). Die lateralen Eindrücke sind etwas kürzer als die Breite der bilobat ausgebildeten Mittelspur, also ca. 30 % der Breite der Gesamtspur.

Diskussion: Die geringe Größe und die, mutmaßlich substratbedingt, hohe morphologische Variabilität der Spuren erschweren eine ichnotaxonomische Bewertung. Isoliert betrachtet, erinnert die Medianspur an *Diplichnites-Diplopodichnus*, in Verbindung mit den lateralen Spuren besteht am meisten Ähnlichkeit mit *Glaciichnium* Walter, 1985. Der Holotypus der Typusart, *G. liebegastensis* Walter, 1985, ist eine 3 mm breite Spur aus glaziallakustrischen Feinklastika des Pleistozäns in Sachsen. Für morphologisch ähnliche, aber breitere Spuren mit in größerem Winkel ansetzenden länglichen Lateraleindrücken aus kühl temperierten Seesedimenten des Eozäns der Antarktis wurde *G. australis* eingeführt (Uchman et al. 2018). *Glaciichnium* ist bisher aus dem Känozoikum von Europa und der Antarktis sowie aus dem Karbon von Brasilien bekannt (Lima et al. 2017, Uchman et al. 2018). Alle Nachweise stammen aus periglazialen oder glazialen Süßwassersedimenten. Die generische Übereinstimmung von UGKU 3155/56 mit *Glaciichnium* scheint relativ sicher. Für eine ichnospezifische Zuordnung wären Belege wünschenswert, bei denen Medianspur und Lateraleindrücke über größere Erstreckung zu verfolgen sind.

Interpretation: Die Morphologie der Spuren mit dichter Segmentierung und distal gespaltenen Lateraleindrücken deutet auf Arthropoden. Ethologisch handelt es sich um eine Laufspur, aufgrund der relativ hochfrequenten und engen Windungen ist auch eine Kombination aus Lauf- und Fraßspur möglich. *G. liebegastensis* wird nach Experimenten mit der rezenten *Asellus aquaticus* als Spur von Wasserasseln gedeutet, die als typische Bewohner glazialer Seen vor allem von Pflanzendetritus leben bzw. Algenmatten abweiden und temporäres Überfrieren des Wasserkörpers tolerieren (Gibbard & Dreimanis 1978; Uchman & Kumpulainen 2018). Für *G. australis* wurde auch eine Entstehung durch Köcherfliegenlarven diskutiert (Uchman et al. 2018).

Scoyenia gracilis White, 1929 (Abb. 7)

Material: NHMMZ PF 2024/5106-LS (Abb. 7A), ornamentierte Grabgänge als konvexes Hyporelief. Mit dem Ichnotaxon vergleichbar sind zylindrische Grabgangfüllungen, die abschnittsweise nahezu horizontal (z.B. NHMMZ PF 2024/5119-LS, NHMMZ PF 2024/5216-LS), schräg (z.B. NHMMZ PF 2024/5101-LS, NHMMZ PF 2024/5211-LS) oder senkrecht (z.B. NHMMZ PF 2024/5117-LS, NHMMZ PF 2024/5215-LS; Abb. 7B) angeschnitten sind. Jedes der 39 von UGKU-Lokalität 79 dokumentierten Handstücke weist *Scoyenia gracilis* oder mit dem Ichnotaxon vergleichbare Spuren auf (vgl. Abb. 2-9).

Beschreibung: Füllungen zylindrischer, im Durchmesser ca. 4 bis 8 mm großer Grabgänge, die mit variabler Orientierung, von schichtparallel bis nahezu senkrecht dazu, das Gestein in großer Zahl und Dichte durchsetzen. Schichtparallel orientierte Spuren zeigen schwach gewundenen Verlauf, wirken zopfförmig aufgrund von Einschnürungen etwa im Halbzentimeterabstand und sind kräftig ornamentiert. Das Ornament besteht aus längsparallelen bis sublängsparallelen, 2–3 mm langen Striemen, die im Hyporelief als Grate ausgebildet sind. Schichtparallele Grabgänge lassen sich über mehrere Zentimeter Länge verfolgen. Verzweigungen der Gänge wurden nicht beobachtet, Überschneidungen

scheinen hingegen häufig. Grabgangfüllungen im Längsschnitt deuten Stopfgefüge an (Abb. 2C-D).

Diskussion: Dimension, Geometrie, Orientierung, Ornament und aktive Füllung der Spuren stimmen mit den Charakteristika von *Scoyenia gracilis* White, 1929 überein. Das Ichnogenus ist monospezifisch und erstmals aus kontinentalen Rotsedimenten des Hermit Shale im Grand Canyon, Arizona, beschrieben worden. Die ersten Erwähnungen aus dem Rotliegend des Saar-Nahe-Beckens stammen von Reineck (1955) und Schwab (1966). *S. gracilis* ist ein häufiges und typisches Spurenfossil in fluvio-laksutrinen Sedimenten, die genetisch einem mehrfachen Wechsel von Durchfeuchtung und Austrocknung unterworfen waren (Buatois & Mángano 1993, 1995, 2011).

Interpretation: *S. gracilis* wird gewöhnlich als Spur sedimentfressender Arthropoden gedeutet (Bromley & Asgaard 1979, Frey et al., 1984, Hasiotis 2002).

Striatichnium natalis Walter, 1982 (Abb. 8)

Material: NHMMZ PF 2024/5118-LS, drei Spuren als konvexes Hyporelief (Abb. 8A); NHMMZ PF 2024/5119-LS, vier Spuren als konkaves Epirelief (Abb. 8B).

Beschreibung: Bandartig, grob bilateral symmetrisch angeordnete Striemen, die als Vertiefungen im Epirelief und Erhebungen im Hyporelief erhalten sind. Striemenbänder zwischen 20 und 25 mm breit, bis zu 65 mm lang. Einzelne Striemen meist scharf begrenzt, 10 bis 12 mm lang, deutlich unter 1 mm breit und überwiegend leicht gekrümmt. Einzelstriemen sind quer zur Längsrichtung der Spur angeordnet, folgen sehr dicht aufeinander, der Abstand zwischen benachbarten Striemen beträgt 1 mm oder weniger. Die Striemen von linker und rechter Seite der Spur berühren oder überlappen einander entlang der Mittellinie in Winkeln von 70–80°.

Diskussion: Die beschriebenen Spuren fallen in das morphologische Spektrum von *Striatichnium natalis* Walter, 1982. Arttypisch sind die bandartige Anordnung, der gekrümmte Verlauf und das partielle Überlappen der Striemen in der Mitte der Spur. Erstmals beschrieben aus dem Blätterton-Horizont der Hornburg-Formation des Saale- bzw. Hornburg-Beckens im östlichen Harzvorland (Walter 1982) ist die Ichnospezies mittlerweile auch aus der Georgenthal-, Oberhof- und Rotterode-Formation des Thüringer Wald-Beckens (Voigt 2005), aus der Standenbühl-Formation des Saar-Nahe-Beckens (Minter et al. 2007) sowie aus der Ikakern-Formation des Argana-Beckens in Marokko (Hminna et al. 2012) belegt. Möglichweise zu *Striatichnium natalis* gehörende Spurenfossilien gibt es ferner aus der Tambach-Formation des Thüringer Wald-Beckens (Martens 1982) und aus der Abo-Formation in New Mexico (Minter & Lucas 2009; Voigt & Lucas 2017). Das Ichnotaxon ist bisher nur aus jungpaläozoischen (spätes Karbon und Perm, Gzhelium bis Changsingium), fluviolakustrinen Rotsedimenten bekannt (vgl. Schneider et al. 2020 für die regionale und globale Korrelation der oben genannten lithostratigraphischen Einheiten).

Interpretation: *Striatichnium natalis* wird als kombinierte Lokomotions- und Weidespur überwiegend aquatischer Arthropoden gedeutet (Martens 1982, Walter 1982, Schneider 1983, Voigt 2005, Minter & Braddy 2009, Minter & Lucas 2009, Hminna et al. 2012). Als mögliche Erzeuger wurden bisher u.a. notostrake, anostrake und lipostrake Branchiopoden (Minter & Lucas 2009) sowie Euthycarcinoiden (Schneider 1983) in Betracht gezogen. Die stratigraphische Reichweite und die relative Seltenheit von *Striatichnium natalis* sprechen dafür, dass die Spur am ehesten von limnischen Euthycarcinoiden stammt. Körperfossilien letzterer sind mit wenigen Exemplaren aus dem Thüringer Wald-Becken (Schneider 1983) und einem noch unpublizierten Exemplar aus dem Saar-Nahe-Becken (Remigiusberg-Formation, Karbon/Perm-Grenzbereich) bekannt.

Dromopus lacertoides (Geinitz, 1861) (Abb. 9)

Material: NHMMZ PF 2024/5120-LS (Abb. 9A), mehrere Eindrücke von mindestens zwei verschiedenen Fährten, Druck und Gegendruck; NHMMZ PF 2024/5121-LS (Abb. 9B), dritter, vierter und partiell fünfter Zeh eines Fuß- oder Handeindruckes, konvexes Hyporelief; NHMMZ PF 2024/5118-LS, unvollständiges Hand-/Fuß-Eindruckpaar, konvexes Hyporelief; NHMMZ PF 2024/5119-LS (Abb. 9C), unvollständiges Hand-Fuß-Eindruckpaar, konkaves Epirelief; NHMMZ PF 2024/5123-LS, unvollständiger Fuß- oder Handeindruck, Druck und Gegendruck (Abb. 9D).

Beschreibung: Fährte fünfzehiger, quadrupeder Tetrapoden. Eindrücke ca. 15 bis 50 mm lang und etwa ein Drittel länger als breit. Fuß- und Handeindruck morphologisch nicht zu unterscheiden. In Eindruckpaaren Fuß größer als Hand und hinter selbiger positioniert. Zehen lang und schlank, spitz zulaufend. Enden der Zehen II bis IV distal häufig einwärts gekrümmt. Fünfter Zeh kurz und gerade, lateral exponiert. Zehenproportionen: I<II~V<III<<IV. Sohlen kurz, selten abgedrückt.

Diskussion: *Dromopus* gehört zu den häufigsten Tetrapodenfährten in frühpermischen Sedimenten sowohl des Saar-Nahe-Beckens als auch weltweit (Voigt 2007, Meade et al. 2016, Voigt & Lucas 2018). Die Eindrücke sind mit ihren langen schlanken Zehen, kurzen Sohlen und dem stark verlängerten vierten Zeh nahezu unverwechselbar. Kennzeichnend ist ferner, dass der Fußeindruck meist vollständiger erhalten ist als der Handeindruck. Eine Unterscheidung von *Dromopus*-Fährten auf Art-Niveau wurde verschiedentlich vorgeschlagen (Marsh 1894, Moodie 1929), erscheint aber nicht reproduzierbar (Voigt 2005, Meade et al. 2016). Fährten des Ichnogenus sind vom spätesten Karbon (Kasimovium) bis ins späte Perm (Lopingium) belegt (Voigt & Lucas 2018, Schneider et al., 2020).

Interpretation: Frühpermische Belege von *Dromopus* werden meist als Fährte diapsider Eureptilien (Araeoscelidia) und bolosaurider Parareptilien gedeutet (Voigt 2005, 2007, Voigt & Lucas 2018, Marchetti et al. 2021). Auch Vertreter mesenosauriner Varanopiden wie *Cabarzia* aus dem frühen Perm von Thüringen haben lacertoide

Autopodien, deren Zehenproportionen zu *Dromopus* passen (Spindler et al. 2019).

6 Paläoökologie

Litho- und biofazielle Merkmale der Gesteine von UGKU-Lokalität 79 sprechen für einen ephemer-fluviatilen Ablagerungsraum mit wechselnden hydrodynamischen Bedingungen. Die geringen Korngrößen und die Absenz von Geröllen im untersuchten Sediment legen einen Absatz aus mäßig bewegtem oder gar stehendem Wasser nahe. Die einzigen Hinweise auf zeitweise fließendes Wasser sind Gegenstandsmarken, in den Ablagerungsraum eingespülte Koniferen-Kurztriebe und das in allen untersuchten Schichten präsente erosive Kleinrelief.

Die Mehrzahl der dokumentierten Marken und Spuren entstand unter Stillwasserbedingungen oder subaerischer Exposition des Ablagerungsraumes. Wurzelspuren deuten an, dass zumindest saisonal ausreichend Feuchtigkeit für das Wachstum vermutlich krautartiger Pflanzen im Sinne einer Pioniervegetation vorhanden war. Stehende Wasserkörper dürften, dem Kleinrelief und der Ausbildung von bodenlebenden Mikroben nach zu urteilen, sehr flachgründig und damit eher von pfützenartigem Charakter gewesen sein. An aquatischen Invertebraten lebten in diesen Pfützen wohl vor allem Fadenwürmer (Nematodea), Wasserasseln (Isopoda) und Euthycarcinoiden, die sich von Mikroben oder organischem Detritus ernährt haben. Höhere Landwirbeltiere von echsenartigem Habitus (*Dromopus*-Fährten) dürften den Ablagerungsraum nur gequert haben. Eine Interaktion zwischen Wirbeltieren und Invertebraten ist anhand der vorliegenden Spuren nicht zu belegen. Regentropfenmarken und Trockenrisse zeigen ein temporäres Trockenfallen des Ablagerungsraumes an. In diesen Zeitraum fällt vermutlich auch die Bioturbation durch sedimentfressende Arthropoden (*Scoyenia*-Spuren).

Die Konturmarken deuten darauf hin, dass der Ablagerungsraum Nachtfrost erfahren haben kann. Dies mag in Anbetracht der paläotropischen Breitenlage des Saar-Nahe-Beckens (Ziegler 1990) zunächst ungewöhnlich erscheinen. Dass die Temperaturen damals in den Tropen zeitweise unter den Gefrierpunkt abgesunken sein müssen, belegen allerdings auch versteinerte Eiskristallmarken in frühpermischen, äquatorialen Sedimenten (Lützner 1981, Pfeifer et al. 2021, Voigt et al. 2021). Fossile Eiskristallmarken aus dem Oberrotliegend des Saar-Nahe-Beckens hat bereits Reineck (1955) beschrieben. Der Nachweis der Invertebratenspur *Glaciichnium*, die bisher nur aus periglazialen und glazialen Süßwassersedimenten bekannt geworden ist (Lima et al. 2017, Uchman et al. 2018), scheint diesen Aspekt der paläoklimatischen Interpretation des Ablagerungsraumes zu unterstützen. Die Ursachen für das gelegentliche Auftreten von Nachtfrost können vielfältig sein, z.B. Höhenlage, saisonale Aridität, niedrige globale Mitteltemperatur während der spätpaläozoischen Eiszeit oder Reduktion der Sonneneinstrahlung infolge Vulkanasche-Eruptionen, und sind für das Untersuchungsgebiet bisher nicht zu präzisieren.

Über die Geometrie des ehemaligen Strombetts an der UGKU-Lokalität 79 kann aufgrund des begrenzten Aufschlusses und fehlender Lateralprofile keine Aussage getroffen werden. Ebenso wenig ist zu fassen, ob Regenereignisse im Ablagerungsraum zu flächigem oder kanalisiertem Abfluss geführt haben. Die temporären Kleinstgewässer haben sich nach dem Niederschlag in Bodendepressionen entwickelt, möglicherweise auch infolge von Rückstaueffekten durch von Vulkanasche blockierten Abfluss-Systemen (Stollhofen & Stanistreet, 1994). *Cochlichnus*, *Glaciichnium* und *Striatichnium* sind Elemente der Mermia-Ichnofazies und typisch für kontinental-aquatische Lebensräume, während Wurzelspuren, *Scoyenia* und *Dromopus* Indikatoren der Scoyenia-Ichnofazies darstellen und auf temporäres Trockenfallen derartiger Lebensräume hinweisen (Buatois & Mángano 2011). Für Ichnozönosen aus Wurzelspuren, Invertebratenspuren und Tetrapodenfährten im hydrodynamisch niedrigenergetischen Übergangsbereich Sediment-Wasser-Luft, die Elemente der Mermia- und Scoyenia-Ichnofazies vereinen, hat Hogue (2018) die Cochlichnus-Ichnofazies vorgeschlagen.

Alle aus den litho- und biofaziellen Merkmalen der Gesteine von UGKU-Lokalität 79 abzuleitenden paläökologischen Schlussfolgerungen stimmen mit der Annahme eines monsunalen Klimas, also eines Wechsels von Regen- und Trockenzeit im Jahresverlauf, für den zentraleuropäischen Teil Pangäas zur Zeit des frühen Perms überein (Clausing & Boy 2000, Roscher & Schneider 2006, Paul 2012).

7 Ausblick

Feinklastische sedimentäre und vulkano-sedimentäre Gesteine der Donnersberg-Formation des Saar-Nahe-Beckens haben ein großes Potenzial, vielfältige Marken und Spuren in hoher Detailtreue zu überliefern. Die systematische Auswertung derartiger Belege kann wertvolle Hinweise auf Organismen liefern, die aufgrund fehlender biomineralischer Hartteile der Fossilwerdung gewöhnlich entzogen sind. Neben dem Erkenntnisgewinn zur Paläobiodiversität ermöglichen derartige Analysen potenziell auch detailliertere Aussagen zum Paläoenvironment und lokalem Klima. Eine gezielte Prospektion auf feinklastische Gesteine mit reichem Marken- und Spureninhalt erscheint insbesondere in enger räumlicher Assoziation zu Vulkaniten lohnenswert, da dort offenbar frühdiagenetische Lithifizierung der Substrate die Überlieferung sehr filigraner Strukturen begünstigt.

8 Dank

Wolfgang Conrath, Ortwin Emrich, Alexander Kehl, Hans-Rieder Matzenbacher, Helen Rapin und Jörg Schneider wird für anregende Diskussionen zur Entstehung von

Konturmarken, Fynn Bott und Helen Rapin für Hilfe bei den Geländearbeiten gedankt. Spencer Lucas und Jörg Schneider haben Literatur zur Verfügung gestellt.

9 Literatur

Ahrens, C.D. (1985): Meteorology Today. – West Publishing.

Astin, T.R. & Rogers, D.A. (1991): „Subaqueous shrinkage cracks" in the Devonian of Scotland reinterpreted. – Journal of Sedimentary Petrology 61: 850–859.

Barthel, M. (2009): Die Rotliegendflora des Thüringer Waldes. – Naturhistorisches Museum Schleusingen, Sonderveröffentlichung: 1–62.

Bose, S. & Chafetz, H.S. (2009): Topographic control on distribution of modern microbially induced sedimentary structures (MISS): A case study from Texas coast. – Sedimentary Geology 213: 136–149.

Bromley, R.G. & Asgaard, U. (1979) Triassic freshwater ichnocoenoses from Carlsberg Fjord, East Greenland. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 28: 39–80.

Buatois, L.A. & Mángano, M.G. (1993): Trace fossils from a Carboniferous turbiditic lake: Implications for the recognition of additional nonmarine ichnofacies. – Ichnos 2: 237–258.

Buatois, L.A. & Mángano, M.G. (1995): The paleoenvironmental significance of the lacustrine *Mermia* ichnofacies, an archetypal subaqueous nonmarine trace fossil assemblage. – Ichnos 4: 151–161.

Buatois, L.A. & Mángano, M.G. (2011): Ichnology: Organism-Substrate Interactions in Space and Time. – Cambridge University Press.

Buatois, L.A., Mángano, M.G., Wu, X. & Zhang, G. (1996): Trace fossils from Jurassic lacustrine turbidites of the Anyao Formation (central China) and their environmental and evolutionary significance. – Ichnos 4: 287–303.

Chamberlain, C.K. (1975): Recent Lebensspuren in non-marine environments. – In: The study of trace fossils, ed. R.W. Frey, 431–458: Springer.

Clausing, A. & Boy, J.A. (2000): Lamination and primary production in fossil lakes: relationship to palaeoclimate in the Carboniferous-Permian transition. – In: Hart, M.B. (ed.): Climates: past and Present. – Geological Society London Special Publ., 181: 5–16.

Cohen, A.S. (1982): Paleoenvironments of root casts from the Koobi Formation, Kenya. – Journal of Sedimentary Petrology 52: 401–414.

Cunningham, J. (1839): An account of impressions and casts of drops of rain, discovered in the quarries at Storeton Hill, Cheshire. – Proceedings of the Geological Society of London 3: 99–100.

Dalrymple, R.W., Knight, R.J., Zaitlin, B.A. & Middleton, G.V. (1990): Dynamics and facies model of a macrotidal sand-bar complex, Cobequid Bay-Salmon River Estuary (Bay of Fundy). –Sedimentology 37: 577–612.

Dernov, V. (2023): The first record of the trace fossils *Cochlichnus* from the Pennsylvanian continental and marine deposits in the Donets Basin, Ukraine. – GEO & BIO 25: 109–120.

Eberth, D.A., Berman, D.S., Sumida, S.S. & Hopf, H. (2000) Lower Permian terrestrial paleoenvironments and vertebrate paleoecology of the Tambach Basin (Thuringia, central Germany): the upland holy grail. – Palaios 15: 293–313.

Eriksson, P.G., Schieber, J., Bouougri, E., Gerdes, G., Porada, H., Banerjee, S., Bose, P.K. & Sarkar, S. (2007): Classification of structures left by microbial mats in their host sediments. – In: Schieber, J., Bose, P.K., Eriksson, P.G., Banerjee, S., Altermann, W. & Catuneanu, O. (eds.), Atlas of Microbial Mat Features Preserved within the Clastic Rock Record, 39–52: Elsevier.

Fichter, J. (1979): Aktuopaläontologische Studien zur Lokomotion rezenter Urodelen und Lacertilier sowie paläontologische Untersuchungen an Tetrapodenfährten des Rotliegenden (Unter-Perm) SW-Deutschlands. – Unveröffentlichte Dissertation, Johannes-Gutenberg-Universität, Mainz.

Fichter, J. (1983): Tetrapodenfährten aus dem saarpfälzischen Rotliegenden (?Ober-Karbon - Unter-Perm; SW-Deutschland). 1. Die Fährten der Gattungen *Saurichnites*, *Limnopus*, *Amphisauroides Protritonichnites*, *Gilmoreichnus*, *Hyloidichnus* und *Jacobiichnus*. – Mainzer geowissenschaftliche Mitteilungen 12: 9–121.

Frey, R.W., Pemberton, S.G. & Fagerstrom, J.A. (1984): Morphological, ethological and environmental significance of the ichnogenera *Scoyenia* and *Ancorichnus*. – Journal of Paleontology 58: 511–528.

Geinitz, H.B. (1861): Dyas oder die Zechsteinformation und das Rothliegende (Permische Formation zum Theil). – Leipzig: W. Engelmann.

Gibbard, P.L. & Dreimanis, A. (1978): Trace fossils from late Pleistocene glacial lake sediments in southwestern Ontario, Canada. – Canadian Journal of Earth Sciences 15: 1967–1976.

Gregory, P.J. (2006): Plant Roots – Growth, Activity and Interaction with Soils. – Blackwell Publishing.

Haneke, J. & Lorenz, V. (2014): Vulkanismus im Rotliegenden des Saar-Nahe-Beckens in der Nordpfalz (Exkursion L am 26. April 2014). – Jahresberichte und Mitteilungen des oberrheinischen geologischen Vereins 96: 247–274.

Hasiotis, S.T. (2002): Continental Trace Fossils. – SEPM Short Course Notes 51, 1–132.

Hitchcock, E. (1858): Ichnology of New England. A report on the sandstone of the Connecticut Valley, especially its footprints. – S. 1–220, Boston: W. White.

Hladil, J. & Beroušek, P. (1993): Oblique raindrop impacts. – Bulletin of the Czech Geological Survey 68: 23–32.

Hminna, A., Voigt, S., Saber, H., Schneider, J.W. & Hmich, D. (2012): On a moderately diverse continental ichnofauna from the Permian Ikakern Formation (Argana Basin, Western High Atlas, Morocco). – Journal of African Earth Sciences 68: 15–32.

Hminna, A., Lagnaoui, A., Zouheir, T., Saber, H. & Schneider, J.W. (2020): Late Triassic ichnoassemblage from a playa-lake system of the Coastal Meseta, Morocco: Palaeoenvironmental and palaeoecological implications. – Journal of African Earth Sciences 172: 103995.

Hogue, J.D. (2018): Ichnotaxonomy of the Eocene Green River Formation, Soldier Summit and Spanish Fork Canyon, Uinta Basin, Utah: Interpreting behaviors, lifestyles, and erecting the Cochlichnus ichnofacies. – Unveröffentlichte Masterarbeit, University of Kansas.

International Chronostratigraphic Chart 2023/09. - Cohen, K.M., Finney, S.C., Gibbard, P.L. & Fan, J.-X. (2013; updated): The ICS International Chronostratigraphic Chart. – Episodes 36: 199–204.

Kerp, H., Noll, R. & Uhl, D. (2007): Vegetationsbilder aus dem saarpfälzischen Permokarbon. – In: Schindler, T. & Heidtke, U.H.J. (Hrsg.), Kohlesümpfe, Seen und Halbwüsten. Dokumente einer rund 300 Millionen Jahre alten Lebewelt zwischen Saarbrücken und Mainz; POLLICHIA-Sonderveröffentlichung 10: 76–109.

Klappa, C.F. (1980): Rhizoliths in terrestrial carbonates: classification, recognition, genesis and significance. – Sedimentology 27: 613–629.

Lima, J.H.D., Minter, N.J. & Netto, R.G. (2017): Insights from functional morphology and neoichnology for determining tracemakers: a case study of the reconstruction of an ancient glacial arthropod-dominated fauna. – Lethaia 50: 576–590.

Lippolt, H.J. & Hess, J.C. (1983): Isotopic evidence for the stratigraphic position of the Saar-Nahe Rotliegend volcanism. I. 40Ar/40K and 39Ar/40Ar investigation. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Monatshefte, 1983: 713–730.

Lippolt, H.J. & Hess, J.C. (1989): Isotopic evidence for the stratigraphic position of the Saar-Nahe Rotliegend volcanism. III. Synthesis of results and geological implication. – Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie, Monatshefte, 1989: 553–559.

Lorenz, V. & Haneke, J. (2004): Relationship between diatremes, dykes, sills, laccoliths, intrusive-extrusive domes, lava dlows, and tephra deposits with unconsolidated water-saturated sediments in the late Variscan intermontane Saar-Nahe Basin, SW Germany. – Geological Society London, Special Publications 234: 75–124.

Lützner, H. (1981): Sedimentation der variszischen Molasse im Thüringer Wald. – Schriftenreihe für geologische Wissenschaften 17: 1–217.

Lyell, C. (1851): On fossil rain marks of the Recent, Triassic and Carboniferous Periods. – Proceedings of the Geological Society of London 7: 238–247.

Marchetti, L., Voigt, S., Buchwitz, M., MacDougall, M.J., Lucas, S.G., Fillmore, D.L., Stimson, M.R., King, O.A., Calder, J.H. & Fröbisch, J. (2021): Tracking the Origin and Early Evolution of Reptiles. – Frontiers in Ecology and Evolution 9: 696511.

Marsh, O.C. (1894): Footprints of vertebrates in the Coal Measures of Kansas. – American Journal of Science 48, 81–84.

Martens, T. (1982): Zur Stratigraphie, Taxonomie, Ökologie und Klimaentwicklung des Oberrotliegenden (Unteres Perm) im Thüringer Wald (DDR). – Abhandlungen und Berichte des Museums der Natur Gotha 11, 33–57.

Martens, T. (2007): Die Bedeutung von Sedimentmarken für die Analyse der Klimaelemente im kontinentalen Unterperm. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften 35, 177–211.

Martens, T. (2022): Wetter- und Klimamarken der Tambach- Formation (Oberrotliegend, Unteres Perm, mittlerer Thüringer Wald, Deutschland) – ein aktualistischer Vergleich. – Göttingen: Cuvillier Verlag.

Martens, T., Schneider, J., & Walter, H. (1981): Zur Paläontologie und Genese fossilführender Rotsedimente – der Tambacher Sandstein, Oberrotliegendes, Thüringer Wald (DDR). – Freiberger Forschungshefte, C 363, 75–100.

Meade, L.E., Jones, A.S. & Butler, R.J. (2016): A revision of tetrapod footprints from the late Carboniferous of the West Midlands, UK. – PeerJ, 4: e2718. DOI:10.7717/peerj.2718.

Metz, R. (1981): Why not raindrop impressions? – Journal of Sedimentary Petrology 51: 265–268.

Metz, R. (1998): Nematode trails from the Late Triassic of Pennsylvania. – Ichnos 5:303–308.

Minter, N.J. & Braddy, S.J. (2009): Ichnology of an Early Permian intertidal flat: the Robledo Mountains Formation of southern New Mexico, USA. – Special Papers in Palaeontology 82: 1–107.

Minter, N.J. & Lucas, S.G. (2009): The arthropod trace fossil *Cruziana* and associated ichnotaxa from the lower Permian Abo Formation, Socorro County, New Mexico. – New Mexico Geological Society Guidebook, 60th Field Conference, Geology of the Chupadera Mesa Region: 291–298.

Minter, N.J., Braddy, S.J. & Voigt, S. (2007): Klein aber fein – Die Arthropodenfährten aus dem Permokarbon des Saar-Nahe-Beckens. – In: Schindler, T. & Heidtke, U.H.J. (Hrsg.), Kohlesümpfe, Seen und Halbwüsten. Dokumente einer rund 300 Millionen Jahre alten Lebewelt zwischen Saarbrücken und Mainz; POLLICHIA-Sonderveröffentlichung 10: 288–303.

Moodie, R.L. (1929): Vertebrate footprints from the red beds of Texas. – American Journal of Science 97: 352–368.

Moussa, M.T. (1970): Nematode fossil trails from the GreenRiver Formation (Eocene) in the Uinta Basin, Utah. – Journal of Paleontology 44: 304–307.

Orlowski, S. (1989): Trace fossils in the Lower Cambrian sequence in Swietokryskie Mountains, Central Poland. – Acta Paleontologica Polonica 34: 211–231.

Pabst, W. (1908): Die Tierfährten in dem Rotliegenden ‚Deutschlands'. – Nova Acta Leopoldina 89: 316–481.

Paul, J. (2012): Das Klima des Rotliegend.– In: Deutsche Stratigraphische Kommission (Hrsg.; Koordination und Redaktion: H. Lützner & G. Kowalczyk für die Subkommission Perm-Trias): Stratigraphie von Deutschland X. Rotliegend. Teil I: Innervariscische Becken. – Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 61: 731–742.

Peakall, J., Best, J., Baas, J.H., Hodgson, D.M., Clare, M.A., Talling, P.J., Dorrell, R.M. & Lee, D.R. (2020): An integrated process-based model of flutes and tool marks in deep-water environments: Implications for palaeohydraulics, the Bouma Sequence and hybrid event beds. – Sedimentology 67: 1601–1666.

Pfeifer, L.S., Birkett, B.A., Van Den Driessche, J. Pochat, S. & Soreghan, G.S. (2021): Ice-crystal traces imply ephemeral freezing in early Permian equatorial Pangea. – Geology 49: 1397–1401.

Picard, M.D. & High, L.R. (1973): Sedimentary structures of ephemeral streams. – Developments in Sedimentology 17: 1–223.

Pint, A., Hildebrandt, A., Landwehrs, J. P., Feulner, G., Scholze, F., Nyakatura, J., Ispas, L., Grützner, C. & Frenzel, P. (2023): Contour marks as potential indicators of evaporation rates in the early Permian continental vertebrate site Bromacker (Thuringia, Central Germany).– Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 628: 111749

Pratt, B.R. (1998): Syneresis cracks: subaqueous shrinkage in argillaceous sediments caused by earthquake-induced dewatering. – Sedimentary Geology 117: 1–10.

Pratt, B.R. & Ponce, J.J. (2019): Sedimentation, earthquakes, and tsunamis in a shallow, muddy epeiric sea: Grinnell Formation (Belt Supergroup, ca. 1.45 Ga), western North America. – Geological Society of America Bulletin 131: 1411–1439.

Redd, E. (1991): Simple Experiments in Atmospheric Physics: Puddle Ice Ridges. – Weatherwise, 1991: 47-50.

Redfield, W.C. (1843): Notice on newly discovered fish beds and a fossil foot in the red sandstone formation of New Jersey. – American Journal of Science 44: 134–136.

Reineck, H.-E. (1955): Marken, Spuren und Fahrten in den Waderner Schichten (ro) bei Martinstein/Nahe. – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 101: 75–90.

Reis, O.M. (1890): Zur Kenntnis des Skeletts der Acanthodinen. – Geognostische Jahreshefte 3: 1–43.

Roscher, M. & Schneider, J.W. (2006): Early Pennsylvanian to late Permian climatic development of central Europe in a regional and global context. – Geological Society of London, Special Publications 265: 95–136.

Schneider, J. (1983): *Euthycarcinus martensi* n.sp. – ein neuer Arthropode aus dem mitteleuropäischen Rotliegenden (Perm) mit Bemerkungen zu limnischen Arthropoden-Assoziationen. – Freiberger Forschungshefte, C 384: 49–57.

Schneider, J.W., Lucas, S.G., Scholze, F., Voigt, S., Marchetti, L., Klein, H., Opluštil, S., Werneburg, R., Golubev, V.K., Barrick, J.E., Nemyrovska, T., Ronchi, A., Day, M.O., Silantiev, V.V., Rössler, R., Saber, H., Linnemann, U., Zharinova, V. Shen, S. (2020): Late Paleozoic–early Mesozoic continental biostratigraphy — links to the Standard Global Chronostratigraphic Scale. – Palaeoworld 29: 186–238.

Schwab, K. (1966): Ein neuer Fund von *Scoyenia gracilis* White, 1929. – Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte, 1966: 326–332.

Schuster, J. (1908a): Kieselhölzer der Steinkohlenformation und des Rotliegenden aus der bayerischen Rheinpfalz. – Geognostische Jahreshefte 20: 1–17.

Schuster, J. (1908b): Zur Kenntnis der Flora der Saarbrücker Schichten und des pfälzischen Oberrotliegenden. – Geognostische Jahreshefte 20: 183–243.

Spindler, F., Werneburg, R. & Schneider, J.W. (2019): A new mesenosaurine from the lower Permian of Germany and the postcrania of *Mesenosaurus*: implications for early amniote comparative osteology. – PalZ 93: 303–344.

Stollhofen, H. (1994): Synvulkanische Sedimentation in einem fluviatilen Ablagerungsraum: Das basale „Oberrotliegend" im permokarbonen Saar-Nahe-Becken. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 145: 343–378.

Stollhofen, H. (2007): Postvulkanische Rotliegend-Schwemmfächersysteme am Hunsrück-Südrand, Saar-Nahe-Becken, SW-Deutschland. – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins 89: 285–306.

Stollhofen, H. & Stanistreet, I.G. (1994): Interaction between bimodal volcanism, fluvial sedimentation and basin development in the Permo-Carboniferous Saar-Nahe-Basin (south-west Germany). – Basin Research 6: 245–267.

Twenhofel, W.E. (1921): Impressions made by bubbles, rain-drops, and other agencies. – Bulletin of the Geological Society of America 32: 359–371.

Uchman, A. & Kumpulainen, R.A. (2011): Trace fossils in Quaternary glacial varved clays near Uppsala, Sweden. – GFF 133: 135–140.

Uchman, A., Gaździcki, A. & Błażejowski, B. (2018): Arthropod trace fossils from Eocene cold climate continental strata of King George Island, West Antarctica. – Acta Palaeontologica Polonica 63: 383–396.

Voigt, S. (2005): Die Tetrapodenichnofauna des kontinentalen Oberkarbon und Perm im Thüringer Wald—Ichnotaxonomie, Paläoökologie und Biostratigraphie. – Dissertation, Göttingen: Cuvillier Verlag.

Voigt, S. (2007): Auf den Spuren der Saurier: Die Tetrapodenfährten aus dem Oberkarbon und Unterperm des Saar-Nahe-Beckens. – In: Schindler, T. & Heidtke, U.H.J. (Hrsg.), Kohlesümpfe, Seen und Halbwüsten. Dokumente einer rund 300 Millionen Jahre alten Lebewelt zwischen Saarbrücken und Mainz; POLLICHIA-Sonderveröffentlichung 10: 288–303.

Voigt, S. & Lucas, S.G. (2017): Early Permian tetrapod footprints from central New Mexico. – New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin 77: 333–352.

Voigt, S. & Lucas, S.G. (2018): Outline of a Permian tetrapod footprint ichnostratigraphy.– In: Lucas, S.G. & Shen, S.Z. (eds.) The Permian Timescale. – Geological Society of London, Special Publications, 450: http://doi.org/10.1144/SP450.10.

Voigt, S. & Noll, R. (2015): Erste Ergebnisse einer geologisch-paläontologischen Grabung im Tuff III der Donnersberg-Formation (Rotliegend, Nahe-Subgruppe) zwischen Olsbrücken und Schallodenbach. – In: Diehl, P., Imhoff, A. & Möller, L. (Hrsg.): Wissensgesellschaft Pfalz – 90 Jahre Pfälzische Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften.– S. 455–465, Ubstadt-Weiher: Verlag Regionalkultur.

Voigt, S., Oliver, K. & Small, B.J. (2021): Potential ice crystal marks from Pennsylvanian-Permian equatorial red-beds of northwest Colorado, U.S.A. – Palaios 36: 377–392.

Voigt, S., Schindler, T., Thum, H. & Fischer, J. (2019): Field trip C2: Pennsylvanian-Permian of the Saar-Nahe Basin, SW Germany. – Kölner Forum für Geologie und Paläontologie 24: 217–250.

Walter, H. (1982): Zur Ichnologie der Oberen Hornburger Schichten des östlichen Harzvorlandes. – Freiberger Forschungshefte, C 366: 45–63.

Walter, H. (1985): Zur Ichnologie des Pleistozäns von Liebegast. – Freiberger Forschungshefte, C 400: 101–116.

White, C.D. (1929): Flora of the Hermit Shale Grand Canyon, Arizona. – Carnegie Institution of Washington Publication 405: 1–221.

Ziegler, P.A. (1990): Geological Atlas of Western and Central Europe (2nd edition). – Shell Internationale Petroleum Maatschappij B.V., Bath: Geological Society Publishing House.

Anschriften der Autoren:
Sebastian Voigt
Urweltmuseum GEOSKOP / Burg Lichtenberg (Pfalz)
Burgstraße 19
66871 Thallichtenberg

Robert Noll
In den Birkengärten 30
67311 Tiefenthal

Thomas Schindler
Generaldirektion Kulturelles Erbe Rheinland-Pfalz, Direktion Landesarchäologie, Erdgeschichtliche Denkmalpflege
Niederberger Höhe 1
56077 Koblenz

Jan Fischer
Urweltmuseum GEOSKOP / Burg Lichtenberg (Pfalz)
Burgstraße 19
66871 Thallichtenberg

Eingegangen bei der Schriftleitung am 5. August 2024

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der POLLICHIA

Jahr/Year: 2025

Band/Volume: 103

Autor(en)/Author(s): Voigt Sebastian, Noll Robert, Schindler Thomas, Fischer Jan

Artikel/Article: Frühpermische Marken und Spuren aus dem Rhyolith-Tuff IV der Donnersberg-Formation (Rotliegend-Gruppe, Nahe-Subgruppe, Saar-Nahe-Becken, SW-Deutschland) 7-22