

Die Wirbeltierfährtenfundstelle Borgholzhausen (Teutoburger Wald, NW-Deutschland) aus der Oolith-Zone (Unterer Muschelkalk, Mitteltrias)

The vertebrate track site Borgholzhausen (Teutoburger Wald, NW Germany) of the Oolith Member (Lower Muschelkalk, Middle Triassic)

CAJUS DIEDRICH, Porrentruy

mit 16 Abbildungen und 1 Tabelle

Abstract: At a new Middle Triassic vertebrate track site, Borgholzhausen sports field in the central Teutoburger Wald (NW Germany), 36 superimposed track horizons were discovered in the Graue Zwischenmittel beds of the Oolith Member (Lower Muschelkalk Formation, Bithynian substage, Middle Triassic). The track-bearing beds consist of micritic laminites with a variety of sediment surface marks. They document extensive tidal flat facies along the northern margin of the Rhenish Massif. The track inventory consists of *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER) and *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA), as well as scratch marks, drag marks, and an unidentified tetrapod track. The *R. peabodyi* ichnofacies is associated with the moist carbonates of intertidal ponds. The tracks in this facies show a variety of preservational types and were left by reptiles such as prolacertilians. *P. haarmuehlensis*, on the other hand, was produced by small terrestrial reptiles, and the *P. haarmuehlensis* ichnofacies originated in the partially dry intertidal to supratidal carbonates. Borgholzhausen sports field and other new localities indicate that tracks of both ichnotaxa are widespread in several stratigraphic units of the Lower and Middle Muschelkalk along the northern margin of the Rhenish Massif and represent megatracksites.

Keywords: Vertebrate tracks, Muschelkalk, Teutoburger Wald, Germany, ichnofacies

Kurzfassung: An der Wirbeltierfährtenfundstelle Borgholzhausen/Sportplatz im mittleren Teutoburger Wald (NW-Deutschland) treten 36 Fährtenhorizonte in der Oolith-Zone (Untere Muschelkalk Formation, Bithyn, Mitteltrias) auf. Die fährtenführenden mikritischen Laminite des Grauen Zwischenmittels und die wechselnden Sedimentoberflächenmarken weisen auf einen ausgedehnten Karbonatwatt-Faziesraum nördlich der Rheinischen Masse hin. Die Fährten-Ichnofauna besteht aus *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER) und *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA), Kratz- und Schleifspuren sowie einem unbestimmten Fährtentyp. Die durch *R. peabodyi* charakterisierte Ichnofazies deutet auf noch feuchte Karbonate der Resttümpel des Intertidals, in denen die typischen Fährten in verschiedenen Erhaltungen auftreten und von Reptilien wie Prolacertiliern erzeugt wurden. Die von *P. haarmuehlensis* dominierte und von kleinen terrestrischen Reptilien verursachte Ichnofazies ist typisch für angetrocknete Karbonate des Inter- bis Supratidals. Borgholzhausen-Sport-

platz und weitere neue Fundstellen deuten auf ein weites Verbreitungsgebiet der beiden Ichnotaxa im Unteren und Mittleren Muschelkalk nördlich der Rheinischen Masse und damit auf Megatracksites hin.

Schlüsselwörter: Wirbeltierfährten, Muschelkalk, Teutoburger Wald, Deutschland, Ichnifazies

Einleitung

Die Wirbeltierfährten-Fundstelle Borgholzhausen befindet sich im mittleren Teutoburger Wald (NW Deutschland) (Abb. 1). Hier wurden im Spätsommer 1996 bei Bauarbeiten an einem Sportplatz südlich des Riesberges erste Wirbeltierfährten entdeckt (DIEDRICH 1996), die am nordwestlichen Rande des Sportplatzgeländes im Parkplatzbereich zum Vorschein kamen. Das Sportplatzgelände ist unter den Koordinaten 3452,65 R und 5774,30 H zu finden. Der Grabungsbereich liegt an der Böschung am nordöstlichen Rand des Parkplatzes. Hier wurde im Auftrag der Unteren Denkmalbehörde Borgholzhausen vom Autor eine kleine Probegrabungsfläche (Abb. 1, Fläche I) von 4 m² aufgegraben, um die Bedeutung der Fundstelle zu klären. Die ausführliche Darstellung der Fundumstände findet sich bei DIEDRICH (1998a, c), während die vorliegende Arbeit die wissenschaftlichen Ergebnisse dieser Grabung zum Thema hat.

Material und Methoden

Die Probegrabung (Fläche I) wurde von Herbst 1996 bis Frühjahr 1997 durchgeführt und von einer zeichnerischen und fotografischen Grabungsdokumentation begleitet (DIEDRICH 1996). Fährten, Marken sowie Sedimentstrukturen und Bioturbation wurden vor Ort mittels eines 1 m² großen, in ein 5 × 5 cm-Raster eingeteilten Meßrahmens auf Millimeterpapier im Maßstab 1 : 5 in Befundpläne übertragen.

Anschrift des Verfassers: Dr. Cajus DIEDRICH, Office du Patrimoine Historique du Canton du Jura, Section de Paléontologie, Case Postale 64, CH-2900 Porrentruy, Schweiz; e-mail <cdiedri@gmx.net>, website: www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/1654 und www.palaeojura.ch.

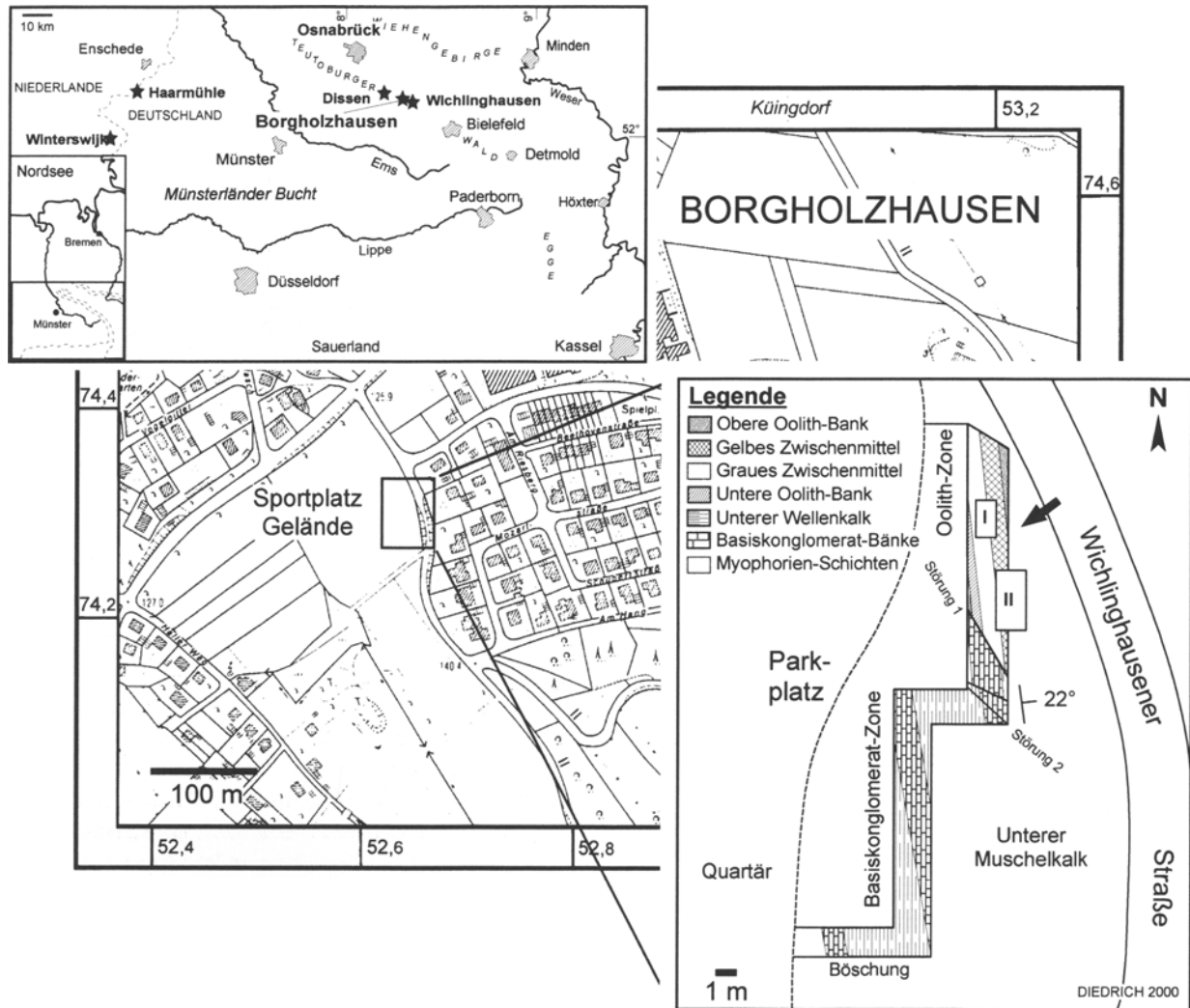


Abb. 1. Lage der Wirbeltierfährtenfundstelle Borgholzhausen/Sportplatz im mittleren Teutoburger Wald (NW-Deutschland) und geologische Situation an der Fährtenfundstelle.

Fig. 1. Geographical location of the vertebrate track site Borgholzhausen/sports field in the central Teutoburg Forest (NW Germany) and geological situation at the track site.

Die Schichten wurden vom Top zur Basis flächig schichtparallel so dünn wie möglich abgetragen. Dabei wurde Schicht für Schicht auf Fährten sowie Sedimentstrukturen untersucht. Nicht alle hauchdünnen Laminae konnten dabei erfasst werden, was auf ihre unvollständige Spaltbarkeit zurückzuführen ist. Die Fährten, die in 36 verschiedenen Horizonten lokalisiert wurden, konnten alle check back w/ D zeichnerisch festgehalten und außerdem mehrere Horizonte anschließend als Fährtenplatten geborgen werden.

Das Material der Grabung wurde nach Verträgen mit der Unteren Denkmalbehörde Borgholzhausen teilweise dem Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, überlassen (Fährtenplatten der Horizonte V, Nr.: Pal. 95; VII, Pal. 96; IX, Pal. 97 und Einzeleindrücke) und wird in Zukunft dort teilweise ausgestellt werden. Der andere Teil (Fährtenplatten der Horizonte XIII und XIV, ohne Nr., und Einzeleindrücke, auch ohne Nr.) ist im Besitz der Stadt Borgholzhausen und soll zukünftig im ErdZeitCenter Borgholzhausen präsentiert werden.

Nachdem das Westfälische Amt für Bodendenkmalpflege zunächst das Grabungsgebiet nicht unter Schutz stellte, wurde vom Heimatverein Borgholzhausen eine weitere Fährtenplatte (Abb. 1, Fläche II) freigelegt, die noch im Boden verblieben ist (DIEDRICH 1996, 1998a, c). Die inzwischen unter dem Aktenzeichen Nr. 12, DKZ 3815, 8 als Bodendenkmal deklarierte Fährtenfundstelle soll möglicherweise zukünftig für Besucher zugänglich gemacht werden.

Mit den Funden aus Borgholzhausen wurde vom Autor in jüngster Zeit an den Fundstellen Winterswijk (NL), Dissen und Wichlinghausen (beide Teutoburger Wald) gewonnenes Material verglichen. Die Funde aus dem Teutoburger Wald von Dissen und Wichlinghausen befinden sich im Museum des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (Nr. B4B.6-3815 Di Fä und B4B.6 3916 Wi Fä), die aus Winterswijk in der Sammlung Oosterink (Winterswijk).

Geologische Situation

An der Probegrabungsstelle (Fläche I) streichen die Muschelkalk-Schichten insgesamt WNW–ESE und fallen mit 22° nach NE ein.

Der basale Untere Muschelkalk ist am Sportplatz Borgholzhausen (Abb. 1) durch die Osning-Tektonik beeinflusst, indem die Schichtlagerung durch mehrere Auf- und Abschiebungen stark gestört ist. Eine größere, für die Fundstelle bedeutende Störung befindet sich im zentralen Bereich an der Parkplatzböschung (Störung 1). Sie streicht NE–SW und überschiebt die westlich hangend gelegene Oolith-Zone über die liegende Basiskonglomerat-Zone, wodurch das Fährtenvorkommen auf den nördlichen Böschungsabschnitt begrenzt wird.

Eine weitere Störung (Störung 2) südlich der Störung 1 stellt eine Abschiebung der oberen Basiskonglomerat-Bank dar. Aufgrund der Überschiebung ist eine Schichtlücke von ca. 15 m entstanden. Dadurch ist der untere Wellenkalk nur noch durch Basis (ca. 1–2 m) und Top (1,5 m) an der östlichen Böschung vertreten und begrenzt mit dieser Störung das Fährtenvorkommen (vgl. Abb. 1).

Stratigraphie

Die stratigraphisch ältesten Schichten, die am Sportplatz Borgholzhausen angeschnitten wurden, sind die Myophorien-Schichten des Oberen Buntsandsteines (Röt), die hier am Top als Wellenkalk ausgebildet sind. Auf diese folgen die drei Basiskonglomerat-Bänke der 15 m mächtigen Basiskonglomerat-Zone des basalen Unteren Muschelkalkes (Abb. 2), in der *Benekeia buchi* mehrfach in den zwischengelagerten Wellenkalken und der Oberen Basiskonglomerat-Bank nachgewiesen werden konnte (Belegstücke im Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt, Osnabrück).

Der Basiskonglomerat-Zone lagert der Untere Wellenkalk auf, der von ca. 80 cm mächtigen grauen Mergeln und einem 20 cm mächtigen Gelbkalk abgeschlossen wird, der hier als gelber, dolomitischer Mergel ausgebildet ist. Die ersten Wirbeltierfährten im Profil finden sich in den grauen Mergeln, die laminiert und von Trockenrissen durchzogen sind und so dem Grauen Zwischenmittel der hangenden Oolith-Zone lithologisch vergleichbar sind. In Borgholzhausen lässt sich die ca. 6 m mächtige Oolith-Zone in eine Untere Oolith-Bank, das Graue Zwischenmittel, das Gelbe Zwischenmittel und die Obere Oolith-Bank gliedern (DIEDRICH 1995, Abb. 2). Diese lithologische Abfolge kann man im gesamten Teutoburger Wald (THIELE 1990; ROSENFELD & THIELE 1992) und Weserbergland (SCHULZ 1972) sowie im Osnabrücker Bergland (LANGER 1989) verfolgen. Eingeleitet wird die 73 cm mächtige Untere Oolith-Bank mit 35 cm grauen, plattigen Kalkmergeln, die Bioturbation durch *Thalassinoides* und *Rhizocorallium* aufweisen. Darüber findet sich ein 5 cm dünner Schillhorizont und, getrennt durch 5 cm Kalkmergel, ein weiterer 5 cm mächtiger Schillhorizont. Nach 7 cm Mergel folgen 14 cm Mergelkalk,

die am Top in einem 2 cm dünnen Bruchschill enden. Der Unteren Oolith-Bank lagert das 3,07 m mächtige Graue Zwischenmittel auf. Seine untersten 60 cm bestehen aus bioturbaten Mergeln, auf die 12 cm harte, kristalline und plattige Kalke folgen. Der obere, ca. 2,5 m mächtige Teil des Grauen Zwischenmittels besteht aus feinlaminierten Mergeln und Mergelkalken sowie dünnen gelben Mergellagen im Wechsel, in denen die hier beschriebenen Wirbeltierfährten in zahlreichen Horizonten auftreten. Neben den Fährten sind Oszillations- und Wellenrippel, Runzelmarken und Trockenrisse sowie granulare Sedimentstrukturen ausgebildet. Insgesamt konnten in dieser Einheit des Grauen Zwischenmittels 36 Fährtenhorizonte (I–XXXVI) ergraben werden, wobei die Nummerierung aus grabungstechnischen Gründen vom Hangenden zum Liegenden erfolgte (Abb. 2).

An Körperfossilien fand sich nur ein 0,5 cm kleines, unbestimmbares Knochenfragment zwischen den Fährtenhorizonten XIII und XIV. Fossile Invertebraten sind in den Mergeln nur durch verschiedene Spurenfossilien belegt. Die im Anschnitt runden bis ovalen Gänge sind im Durchmesser zwischen 0,5 und 2 cm groß. Bei den Erzeugern der meist senkrecht, aber auch teilweise parallel zur Schichtung angelegten Bauten dürfte es sich um Anneliden oder Crustaceen handeln.

Dem Grauen Zwischenmittel folgt das aus Gelbkalken bestehende Gelbe Zwischenmittel mit einer Gesamtmächtigkeit von 1,4 m. Die darüber lagernde 75 cm mächtige Obere Oolith-Bank beginnt mit einer 5 cm dünnen Bank, die aus kristallinen Kalken besteht und in der Mitte einen nur 1–3 cm dünnen Bruchschill-Horizont einschließt. Aus ihm konnten die Bivalven *Myophoria* sp. und *Gervilleia* sp. bestimmt werden. Auf dieser Bank lagern 35 cm graue, bioturbirte Mergel. Es folgt schließlich ein 25 cm mächtiger Schill, bestehend aus unbestimmbaren Gastropoden, Brachiopoden und diversen Bivalven. Dieser Horizont ist am Top als Hartgrund ausgebildet, von dem Bohrgänge der Ichnogattung *Trypanites* bis zu 5 cm hinabgreifen.

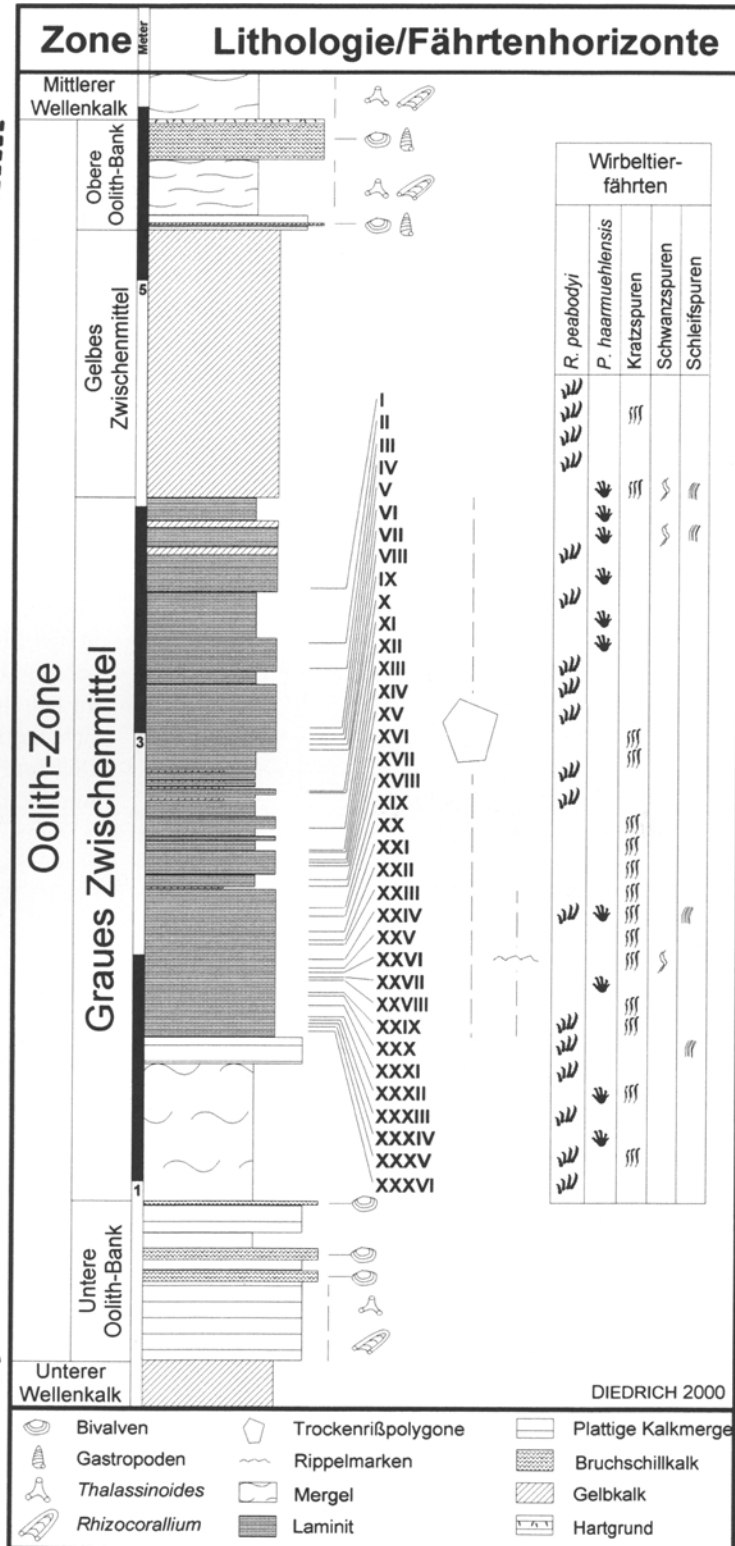
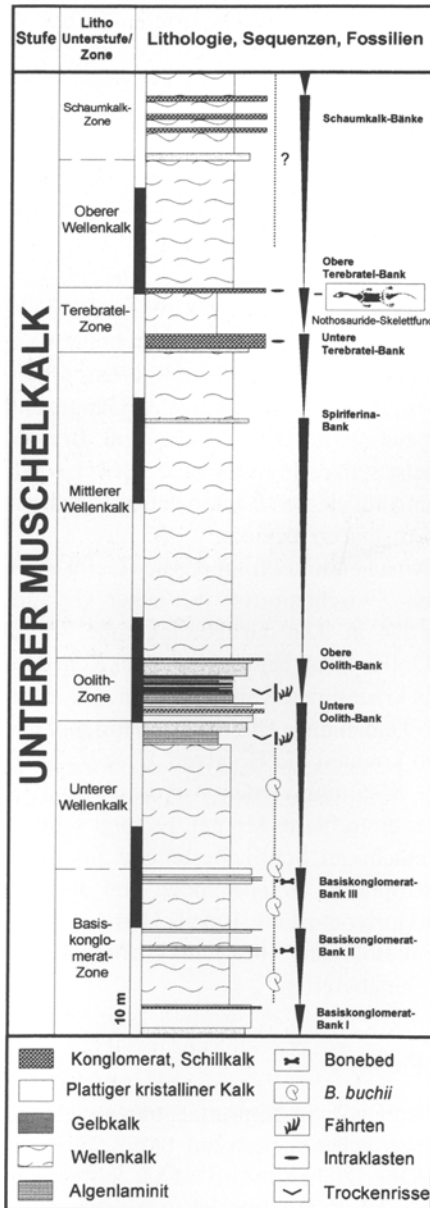
Sedimente und Fazies

Im Bereich des Grauen Zwischenmittels treten verschiedene Sedimentoberflächenmarken auf (Abb. 3), wobei sich granulare Oberflächen (Abb. 3A), polygonale Trockenrisse (Abb. 3B, 4), Rippelmarken mit zungenförmigen Oszillationsrippeln (Abb. 3C) und durch Wasser aufgearbeitete Trockenriss-Polygone (Abb. 3D) abwechseln.

Die granularen Oberflächen (Abb. 3A) treten in vielen Horizonten auf, die aus grauen Laminiten bestehen. Ihre Genese ist zur Zeit noch unklar, allerdings deuten sie aufgrund aktualistischer Beobachtungen auf einen supratidalen Ablagerungsraum hin, da solche Strukturen auf den Oberflächen von Trockenriss-Polygonen in den siltigen Karbonaten der Karbonatwatten der Bahamas oberhalb des Höchstwasserstandes angetroffen werden (REINECK & SINGH 1973; GINSBURG & HARDIE 1975).

Abb. 2. Stratigraphie des Unteren Muschelkalkes und der Fährtenhorizonte in der Oolith-Zone (Bithyn, Mitteltrias) am Fährtenfundplatz Borgholzhausen/Sportplatz.

Fig. 2. Stratigraphy of the Lower Muschelkalk and the track horizons of the Oolith-Zone (Bithyn, Middle Triassic) at the track site Borgholzhausen/sports field.



Rippelmarken sind durch Strömungs- und Oszillationsrippel (Abb. 3C) sowie seltene Runzelmarken in den Laminiten vertreten. Sie kennzeichnen eine intertidale Fazies im Bereich der Hochwasserzone mit periodischer, flacher Wasserbedeckung (SCHWARZ 1975; REINECK & SINGH 1973; FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970). Oszillationsrippelmarken auf den Sedimentoberflächen sind insbesondere für die unteren 70 cm des fährtenführenden Abschnittes des Grauen Zwischenmittels (Fährten-

horizonte XIX-XXXVI) typisch. Die im gesamten Grauen Zwischenmittel seltenen Runzelmarken weisen auf eine geringe Wasserbedeckung von wenigen Zentimetern hin (vgl. REINECK & SINGH 1973).

Trockenrisse (Abb. 3B, 4) sind für den gesamten fährtenführenden Bereich des Grauen Zwischenmittels charakteristisch und ein Anzeiger für inter- bis supratidale Ablagerungsräume, die periodisch überflutet werden (vgl. SCHWARZ 1975; REINECK & SINGH 1973;

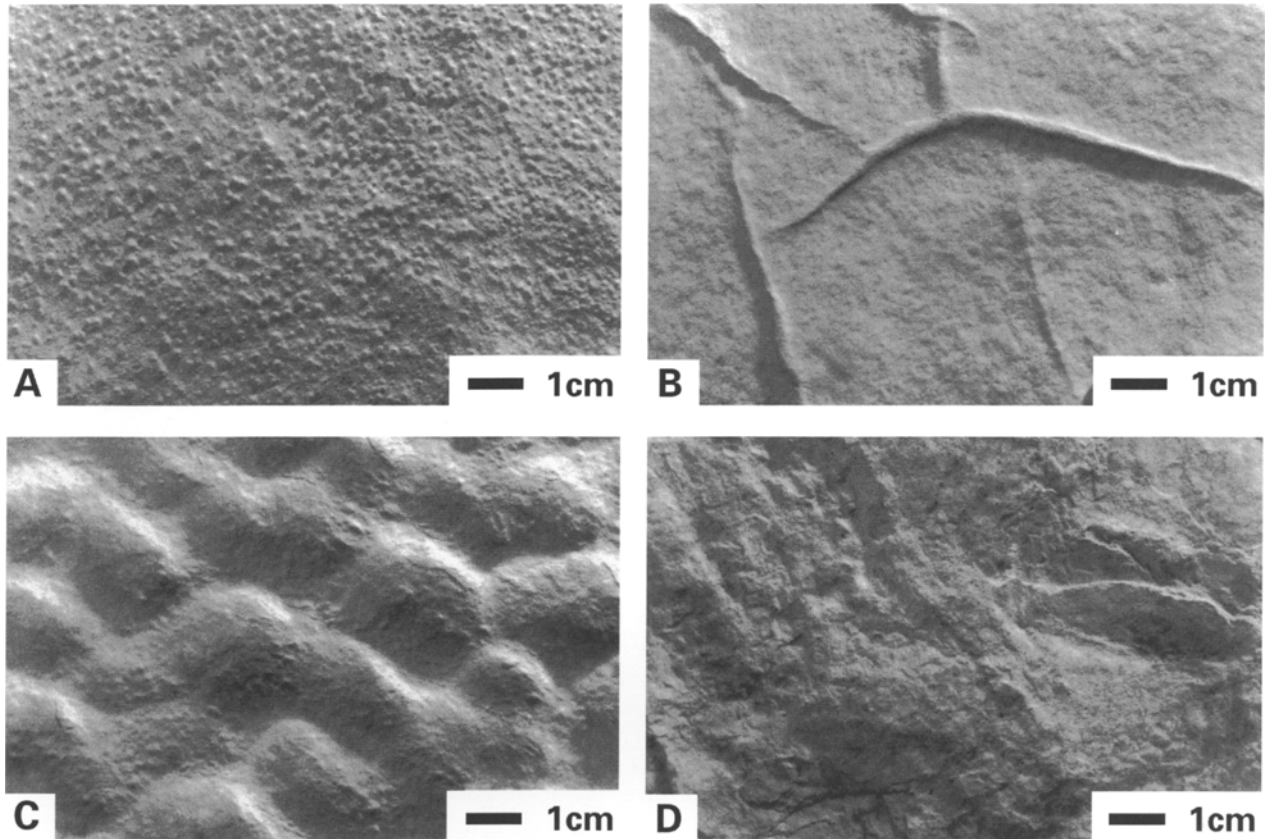


Abb. 3. Sedimentmarken im Grauen Zwischenmittel (Oolith-Zone) der Fährtenfundstelle Borgholzhausen/Sportplatz. – **A:** Granulare Oberfläche, Positiv (Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, Nr. Pet.-17/3). – **B:** Trockenrisse, Negativ (Nr. Pet.-17/4). – **C:** Oszillationsrippeln, Positiv (Nr. Pet.-17/1). – **D:** Aufgearbeitete Trockenrisse, Positiv (Nr. Pet.-17/5).

Fig. 3. Sedimentary structures on bedding planes of the Graue Zwischenmittel (Oolith-Zone) at the track site Borgholzhausen/sports field. – **A:** Granular surface structure, positive (Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, No. Pet.-17/3). – **B:** Mud cracks, negative (No. Pet.-17/4). – **C:** ripple marks, positive (No. Pet. – 17/1). – **D:** reworked mud cracks, positive (No. Pet.-17/5).

FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970). Sie entstehen bei Eintrocknung der Oberfläche oder durch osmotischen Wasserentzug in Feinsiltiten. Je schneller die Eintrocknung, desto dichter das Polygon-Maschenwerk (REINECK & SINGH 1973; FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970). Weiterhin bilden sich in hypersalinen Sedimenten des Supratidals kleinere und in weniger halinen größere Polygone aus (GINSBURG & HARDIE 1975). Die Größe und Form der Trockenrisse variiert in Borgholzhausen beträchtlich und wurde durch den unterschiedlichen Ablagerungsraum, den Karbonat- bzw. Dolomit- und Tongehalt (vgl. GINSBURG & HARDIE 1975) sowie die Salinität (vgl. BAIRA 1977) und Korngröße gesteuert. Je geringer die Salinität, desto schneller neigen karbonatische Feinsiltite zur Trockenriss-Bildung (BAIRA 1977).

Die Polygonengrenzen in den Schichten des Grauen Zwischenmittels wechseln meist zwischen den einzelnen Horizonten und reichen nur im unteren Drittel mehrere Dezimeter hinab. Man kann in den Fährtenhorizonten von Borgholzhausen nach Form und Größe verschiedene Typen von Trockenriss Polygone unterscheiden, die

unterschiedliche Bereiche des Inter- bis Supratidals charakterisieren:

– **Trockenriss Typ 1:** Dieser Typ hat bis zu 50 cm große Polygone, die konvex aufgebogen sind. Die Ecken der Polygone sind rundlich. Trockenrisse des Typs 1 treten in den stärker karbonatischen Bereichen und besonders im basalen fährtenführenden Bereich auf. Die Oberflächen der Polygone sind entweder glatt (Fährtenhorizont XXVI) oder durch Rippelmarken, meist Oszillationsrippeln, strukturiert. An Spuren sind hier große Kratzspuren typisch, seltener Eindrücke des Pes oder der Manus von *Rhynchosauroides peabodyi*. Der im mittleren Teil des fährtenführenden Bereichs ergrabene zertrampelte Horizont (Fährtenhorizont XIV) führt sehr gute Fährten von *Rhynchosauroides peabodyi*, was für diesen Bereich sonst selten ist, und weist große, nach oben gebogenen Polygone des Typs 1 auf. Große Trockenriss-Polygone werden rezente in kleinen Seen des Supratidals angetroffen (GINSBURG & HARDIE 1975). Nach eigenen Beobachtungen kommen sie auch an intramontanen Playaseen wie dem Alkali



Abb. 4. *Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofazies, Untertyp III. Zertrampelter Horizont (Ausgrabungsfläche II, Fährtenhorizont X) mit zahlreichen Manus- und Pes-Eindrücken. Ungeborgen vor Ort.

Fig. 4. *Rhynchosauroides peabodyi* ichnofacies, subtype III. Trampling horizon (excavation area II, track horizon X) with many manus and pes imprints. Not excavated.

Flat (am Humboldt Lake nahe Ocala, 118,85°R, 39,95°H, Nevada, USA) vor und charakterisieren dort den tiefsten Bereich.

- Trockenriss Typ 2: Bei diesem Typ sind die Polygone maximal 20 cm groß und haben scharfe Ecken. Ihr Inneres kann in kleinste konkave Polygone zergliedert sein. Der Karbonatgehalt der Sedimente mit Trockenrissen vom Typ 2 ist gering. An Fährten kommt *Rhynchosauroides peabodyi* vor, der in einigen zertrampelten Horizonten wie im Fährtenhorizont IX massenhaft auftreten kann (über 100 Eindrücke pro m²). Die kleinen Polygone des Typs 2 zergliedern die Randbereiche der Gezeitentümpel und zeigen supratidale Bedingungen an.
- Trockenriss Typ 3: Dieser Typ ist wiederum an den Polygonecken abgerundet und konvex ausgebildet und erinnert so an die Tepee-Strukturen der Salzmarsch. Die Oberfläche der Trockenriss-Polygone vom Typ 3 ist meist granular. An Fährten tritt meist massenhaft mit bis zu 200 Eindrücken pro m² *Procolophonichmium haarmuehlensis* auf sowie eine bisher unbestimmte Spur (nur im Fährtenhorizont VII). Bei *P. haarmuehlensis* sind oft nur die Kralleneindrücke deutlich ausgebildet. Aufgearbeitete Trockenrisse und granulare Oberflächen (Abb. 3D) sind im Grauen Zwischenmittel in vielen Horizonten vorhanden. Sie

sind typisch für das Supratidal und bilden ausgedehnte, scherbige Flächen. Solche Sedimentstrukturen sind bis in die Salzmarsch zu verfolgen und auch in rezenten Karbonatwatten der Bahamas beobachtet worden (vgl. GINSBURG & HARDIE 1975).

Aus dem gesamten Bereich der Fährtenhorizonte des Grauen Zwischenmittels wurden vier Dünnschliffe von Gesteinen mit unterschiedlichen Sedimentmarken angefertigt. Es sind Mergel mit Oberflächenstrukturen wie Rippelmarken, Granularoberflächen und aufgearbeitete, zerscherbte Trockenriss-Polygone. Die abgebildeten Gesteine (Abb. 3) werden im Naturkundemuseum Osnabrück unter den Nummern Pet-17/1 bis Pet-17/4 aufbewahrt.

Sedimentpetrographisch handelt es sich bei allen vier Gesteinen um Mikrite. Die siltigen Partikel befinden sich in einer mikritischen Matrix. In allen Schliffen sind Progradierungen im mm-Bereich zu registrieren. So können innerhalb eines nur 1 cm dünnen Schichtpaketes bis zu 6 Sequenzen aufeinanderfolgen. Die Feinlamination ist damit auf die Abfolge unterschiedlicher Korngrößen und deren Grenzen, höchstwahrscheinlich sogar auf Mikrobenmatten zurückzuführen (vgl. KRUMBEIN et al. 1994). An Sedimentstrukturen kann eine kleindimensionale Schrägschichtung bei den von Oszillationsrippeln bedeckten Schichten vorhanden sein.

Genetisch handelt es sich bei den feingeschichteten Mergeln um Biolaminite, die typisch für Karbonatwatten sind und durch Cyanobakterien erzeugt wurden (vgl. FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970; REINECK & SINGH 1973; SCHWARZ 1975; KRUMBEIN et al. 1994).

Der gesamte fährtenführende Bereich ist leicht dolomitisch, was dem Gestein eine schwach gelbe Farbe verleiht. Zusätzlich sind viermal dottergelbe Dolomikrite als nur wenige mm-dünne Schichten eingeschaltet. Derartige Gelbkalke unterlagern sonst die Oolith-Zone bzw. bauen das Gelbe Zwischenmittel auf. Sie sind charakteristisch für die Sabkha-Fazies (FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970; REINECK & SINGH 1973; SCHWARZ 1975; LUKAS 1991; KRUMBEIN et al. 1994) und verzahnen sich mit den Laminiten. Insgesamt handelt es sich bei dem Ablagerungsraum der fährtenführenden Schichten der Oolith-Zone von Borgholzhausen um ein Karbonatwatt, das sich etwa 60-80 km nördlich der Rheinischen Festlandsmasse befand.

Paläontologie

Zwei Fährtenarten aus zwei Ichnogattungen, *Rhynchosauroides* und *Procolophonichnium*, konnten an mehreren hundert Eindrücken bestimmt werden, die in einigen Horizonten häufiger oder sogar massenhaft (in zertrampelten Horizonten wie V, VII, IX oder XIV) auftreten können. Vorkommen beider Gattungen wurden mehrfach von FABER (1958), REGTEREN ALTENA (1958), BAIRD (1964), DEMATHIEU & HAUBOLD (1972), OOSTERINK (1976, 1980, 1986, 1988), DEMATHIEU & OOSTERINK (1983, 1988) und HAUBOLD (1971, 1984) aus dem Unteren Muschelkalk beschrieben und werden im Vergleich mit dem Borgholzhausener Material diskutiert. Auch sehr fragwürdige Funde im Unteren (HORN 1976) und neue, gut erhaltene Eindrücke aus dem Mittleren Muschelkalk (FICHTER 1997) von Nordhessen werden mit den Borgholzhausener Fährten verglichen.

Die größeren Spuren (Abb. 5-7) können der Art *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER) zugeordnet werden, während die kleineren (Abb. 8-10) zu *Procolophonichnium haarmühlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA) zu stellen sind. Andere aufgefundene Spuren und Fährten konnten bisher noch nicht systematisch eingeordnet werden. Hierzu zählen insbesondere Schleifspuren, aber auch möglicherweise ein neues Fährten-Taxon, das von der niederländischen Fährten-Fundstelle Winterswijk noch nicht bekannt geworden ist.

Die Fährtenhaltung ist bei beiden Ichnotaxa sehr variabel (Abb. 6, 9) und vom Wassergehalt und Tonanteil des Sedimentes sowie von der Salinität des Porenwassers abhängig. Die Fährten sind primäre Fährten nach Vergleichen zu aktualistischen Experimenten mit Eidechsen (vgl. BRAND 1996) und keine Underprints, wie sie oft bei großen Tetrapoden-Fährten (vgl. THULBORN & WADE 1989; THULBORN 1990; LOCKLEY 1991) beobachtet werden.

Die metrische Auswertung und Fährtenbeschreibung sowie die Benutzung der Terminologie erfolgte in Anleh-

nung an die Arbeiten von HAUBOLD (1971, 1984) und DEMATHIEU & OOSTERINK (1983).

Ichnogenus *Rhynchosauroides* MAIDWELL, 1911

Rhynchosauroides peabodyi (FABER, 1958)

Abb. 5-7

- * 1958 *Chirotherium peabodyi* FABER: 318, Abb. 1-4.
- 1958 *Chirotherium* (sic!) *peabodyi* FABER. – REGTEREN ALTENA: 447.
- 1964 *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – BAIRD: 124, Abb. 3c.
- 1971 *Rhynchosauroides* (*Chirotherium*) *peabodyi* (FABER). – HAUBOLD: 46, Abb. 28.11.
- v 1976 *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – OOSTERINK: 142, Fotos 1-4, Abb. 3-5.
- v 1983 *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – DEMATHIEU & OOSTERINK: 11, Abb. 4, 18-30, 32.
- 1983 *Rhynchosauroides* sp. – DEMATHIEU & OOSTERINK: 13, Abb. 7, Foto 31.
- 1984 *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – HAUBOLD: 146, Abb. 98, Fig. 14.
- 1986 *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – OOSTERINK: 97, Abb. 57, Fotos 60, 61.
- 1988 *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – DEMATHIEU & OOSTERINK: 5, Abb. 3.
- 1988 *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – OOSTERINK: 69, Abb. 1.
- 1988 *Rhynchosauroides* sp. – OOSTERINK: 71, Abb. 2.
- v 1996 *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – DIEDRICH: 9, Taf. 1, Fig. 1.
- 1997 *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – DIEDRICH: 42, 138.
- 1998a *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – DIEDRICH: 78, Abb. 3, 4.
- 1998b *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – DIEDRICH: 634, Abb. 3.
- 1998d *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – DIEDRICH: 37.
- 2000a *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – DIEDRICH: 8-9.
- 2000b *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – DIEDRICH: 379, Abb. 3, 4A-M.
- 2000 *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). – DIEDRICH & OOSTERINK: 125-129, Abb. 3c, 4-6.

Material: Es liegen mehrere Hundert Eindrücke der Manus und des Pes aus verschiedenen Horizonten und zwei parallele Fährten (Abb. 13) vor (aufbewahrt im Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, Fährtenplatte aus Horizont V, Nr. Pal. 95; aus Horizont IX, Nr. Pal. 97 und in den Sammlungen der Stadt Borgholzhausen, ErdZeitCenter ohne Nr.).

Erhaltung: Erstmals wird hier die Variabilität der Fährtenhaltung von *Rhynchosauroides peabodyi* dokumentiert, die vor allem ein Resultat unterschiedlicher Wassersättigung des Sedimentes und weniger unterschiedlicher Fortbewegungsart ist (Abb. 6). In diesem Zusammenhang sind die aktuopaläontologischen Studien von BRAND (1996) von besonderem Interesse, der Salamander in unterschiedlich wassergesättigten Sedimenten Fährten erzeugen ließ. Diese zeigen deutliche Übereinstimmungen mit den fossilen Fährten von Borgholzhausen. In fast ausgetrockneten Siltiten sind lediglich die Kralleneindrücke (Abb. 6A), in leicht feuchten

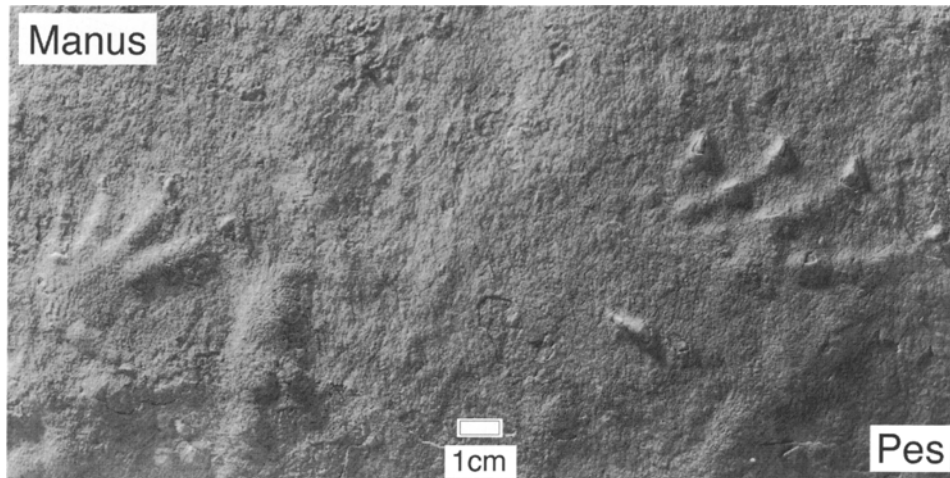


Abb. 5. *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). Manus-Eindruck (mit Sohlstrukturen) und Pes-Eindruck (Negativ) (Fährtenhorizont XXIX). Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, Nr. Pal.-94/1.

Fig. 5. *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). Manus-imprint (showing sole structures) and pes imprint (negativ) (track horizon XXIX). Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, No. Pal.-94/1.

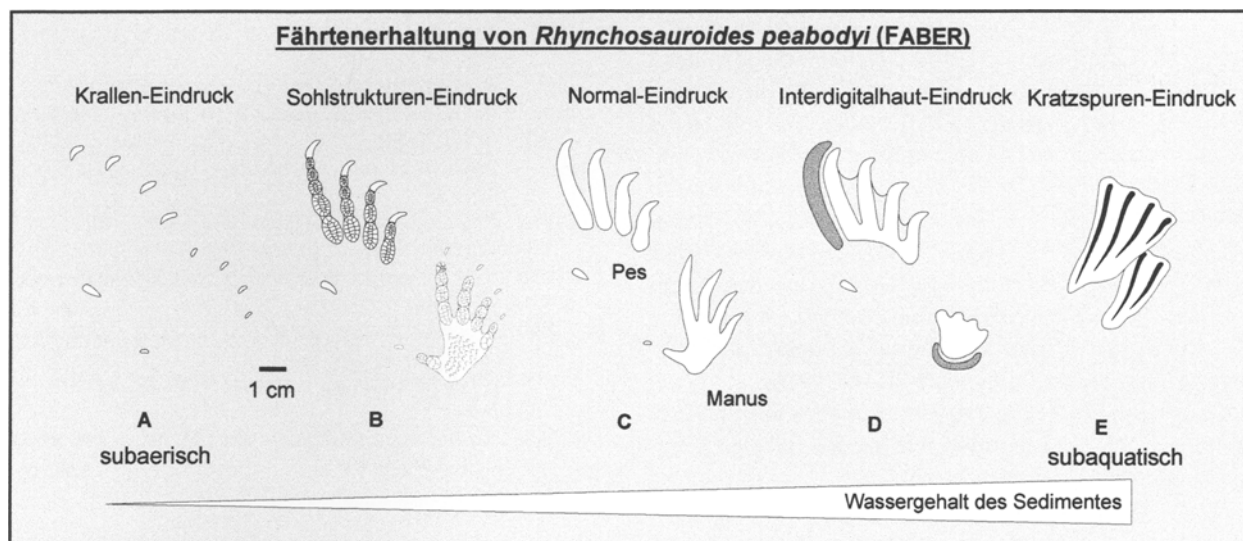


Abb. 6. Erhaltung von *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER) in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Sedimentes.

Fig. 6. Relationship between preservation of *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER) tracks and water content of sediment.

Sedimenten dagegen sogar Sohlenflächen-Strukturen (Abb. 6B) abgedrückt. Der Normalabdruck (Abb. 6C) in leicht plastischen Sedimenten ist die häufigste Fährten-erhaltung, die wie die vorhergehenden Typen subaerisch angelegt wurden.

Die Schwimmhaut-Fährtenerhaltung (Abb. 6D) zeigt die interdigitalen Häute (möglicherweise Schwimmhäute) meist nur bei den Pes-Eindrücken zwischen den Zehen I-IV. Weiterhin ist die Manus nur durch die Handfläche entenfußartig abgedrückt und täuscht einen anderen Fährtentyp vor. An beiden Eindrücken sind oft starke Sedimentwülste aufgeschoben worden. Bei dem Manus-Eindruck befindet sich der Wulst halbmondförmig hinter

dem Ballen, beim Pes-Eindruck liegt dieser Wulst parallel zum Zeh IV. Diese Fährten wurden offensichtlich in sehr plastischem, wassergesättigtem Sediment, möglicherweise schon unter sehr geringer Wasserbedeckung (im cm-Bereich) erzeugt.

Schließlich finden sich subaquatische Kratzspuren, die hier als Schwimmeindruck bezeichnet (Abb. 6E) und nicht als eigene Ichnospecies geführt werden. Sie sind höchstwahrscheinlich dem Erzeuger der anderen Spuren der Art *R. peabodyi* zuzuschreiben. Die Zuweisung erfolgt durch die Auswertung des Abstandes der einzelnen Kratzer zueinander der etwa denen der Kralleneindrücke der Strahlen I-IV von Manus und des Pes entspricht. Sol-

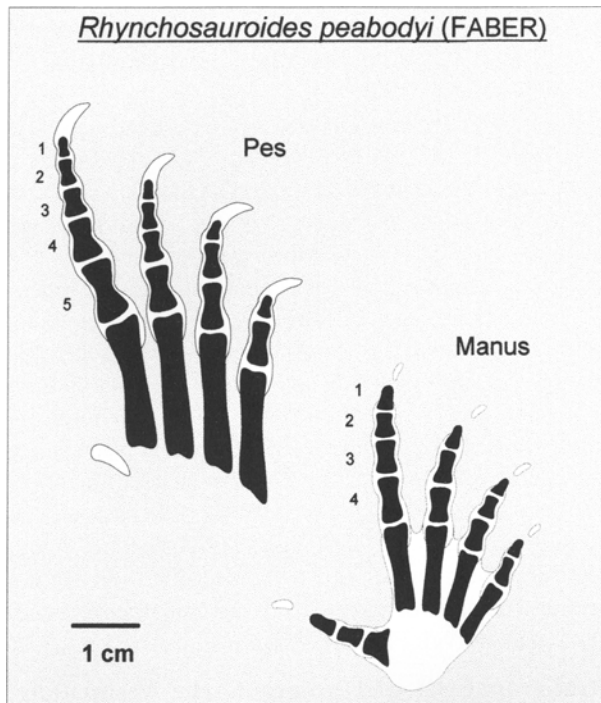


Abb. 7. *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). Manus- und Pes-Skelettrekonstruktion.

Fig. 7. *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). Reconstruction of the skeleton of manus and pes.

che Kratzspuren wurden auch von OOSTERINK (1986) und Demathieu & OOSTERINK (1983, 1988) aus dem Unteren Muschelkalk und von FICHTER (1997) aus dem Mittleren Muschelkalk abgebildet. Wesentlich kürzere von Tetrapoden erzeugte Kratzspuren beschreibt MC ALLISTER (1989).

Beschreibung:

Manus-Eindruck (Abb. 6, 7).

Die Finger und die Handfläche sind gut abgedrückt, und der Handumriss ist deutlich erkennbar. Die Handfläche erscheint dreieckig. Die Fingerstrahlen sind gekrümmt. Bei den Fingerstrahlen I-IV beträgt der Fingerwinkel ca. 60° , und zwischen den Strahlen I-V etwa 105° . Die Phalangenformel kann nach dem vorliegenden Material mit 2, 3, 3, 4, 2 angegeben werden.

Pes-Eindruck (Abb. 6, 7)

Der Pes besitzt gleichfalls gekrümmte Strahlen, wobei oftmals (wie auch an anderen Fundstellen) nur die ersten vier Strahlen abgedrückt sind. Der Strahl V ist nur am Krallen-Eindruck sichtbar und leicht nach außen gerichtet. Das Zehenpolster ist manchmal erkennbar, wodurch sich die Phalangenformel 2, 3, 4, 5, (2-4?) ermitteln lässt (Abb. 8). Der Zehenwinkel zwischen den Strahlen I-IV ist mit ca. 30° recht klein.

Fährte (Abb. 13)

Der Manus- und der Pes-Eindruck der typischen *R. peabodyi*-Fährte ist pentadactyl, wobei der letzterer größer als ersterer ist (Verhältnis 3/2). Die Zehenlänge nimmt vom Strahl I nach Strahl IV zu. Am vorliegenden

Material aus Borgholzhausen (Tab. 1) ist zu erkennen, dass die Fährte einen breiten Schrittwinkel von ca. 110° hat. Abhängig von der Laufgeschwindigkeit ist der Fuß neben oder vor der Hand übertreten eingedrückt. Das Verhältnis Doppelschritt/Gangbreite beträgt 1:2,5. Die Schwanzspur ist in Borgholzhausen nicht nachgewiesen, auch an vergleichbarem Material aus Winterswijk nicht eindeutig belegt. Eine im Naturkundemuseum Bielefeld (ohne Nr.) ausgestellte Fährtenplatte von *R. peabodyi* zeigt eine leicht sigmoidale, ca. 1 cm breite und nicht unterbrochene Furche, die einer Fährte zugehörig scheint.

Sohlenflächen-Strukturen (Abb. 5, 6B)

Für die Art charakteristisch sind Sohlenflächen-Strukturen auf der Manus-Innenfläche, die sich sehr häufig im Sediment abdrückten und an den Fundstellen Winterswijk und Borgholzhausen oft beobachtet werden konnten. Man erkennt halbkreisförmige Schuppen, die die gesamte Vorderfuß-Innenfläche ausfüllen und einheitlich orientiert sind. Sie stehen in einem Winkel von ca. 45° nach außen. Die Schuppen sind zentral am größten (1-2 mm) und werden nach außen etwas kleiner.

Sohlenflächen-Strukturen geben Hinweise auf den Lebensraum der Erzeuger der Fährten. Semiaquatische Reptilien, wie unter anderem Alligatoren (YOUNG 1961), aber auch terrestre Lacertilien (BELLAIRS 1969) besitzen derartige Schuppen. Diese finden sich z.B. bei dem rezenten *Alligator sinensis* nicht auf der Manus-Innenfläche, sondern am Rande der Strahlen (YOUNG 1961).

Die Sohlenschuppen dürften eine wichtige Funktion bei der Fortbewegung gehabt haben, indem sie das Ausgleiten auf den schlüpfrigen Karbonatschlamm des Wattes verhinderten, die von schleimigen Mikrobenmatten (Cyanobakterien) überzogen waren. Durch die nach außen gewinkelte Stellung der Manus-Sohlenschuppen konnten sie sicherlich ein Teil des Druckes abfangen, so dass ein Wegrutschen der Extremitäten nach außen vermieden wurde.

Zehenpolster (Abb. 5, 6B, 7)

Nach dem Manus-Eindruck von *R. peabodyi* in Abb. 5 und Eindrücken aus Winterswijk lassen sich die einzelnen Zehenpolster identifizieren und damit die Phalangen-Anzahl ermitteln. Auch die Struktur der Zehenpolster, die bei kaum einer fossilen Wirbeltierfährte erhalten ist, lässt sich erkennen. Sie besteht aus einem netzartigen Muster, das die Zehenpolster überzieht (Abb. 6B). Diese polygonale Zergliederung zeigt eine charakteristische Regelmäßigkeit, indem bei allen Strahlen drei parallele Reihen pro Zehenpolster angelegt sind. Auffälligerweise sind die ersten Polster des Strahles I und V, im Gegensatz zu allen anderen, leicht vergrößert, ebenso das Polygonmuster, das nur noch zweireihig ist. Ob dieses Phänomen für die Art typisch ist, kann erst durch weitere Funde abgeklärt werden.

Krallen (Abb. 7)

Die Manus und der Pes sind mit langen Krallen verse-

hen. Diese hinterlassen nicht nur tiefe Eindrücke weit vor den letzten Zehenpolstern der letzten Phalangen (Abb. 5, 6, 7), sondern oft bis zu vier parallele Kratzspuren (Abb. 6E) im Sediment. Derartige Kratzspuren sind an allen Fährtenfundstellen der Oolith-Zone im westlichen Germanischen Becken repräsentiert (DIEDRICH 1998a, b, d). Die Krallenlänge wird sehr schön an der von DEMATHIEU & OOSTERINK (1983: Abb. 7) abgebildeten Fährte von *Rhynchosauroides* sp. aus Winterswijk deutlich, wobei es sich hier um einen schräg aufgesetzten Hinterfuß-Abdruck handelt. Für stark ausgebildete, lange Krallen spricht auch die häufige Erhaltung von Fährten nur als Kralleneindrücke im schon angetrockneten Sediment (siehe oben).

Der Abstand zwischen Kralle und letztem Zehenpolster beträgt bei einer 4,7 cm langen Manus (Abb. 6B) bei Strahl IV 0,56 cm und nimmt kontinuierlich auf 0,43 cm bis zu Strahl I ab. Auffällig ist der große Abstand von 0,87 cm bei Strahl V. Die Funktion der langen Krallen ist möglicherweise wiederum in einer Anpassung an den rutschigen Untergrund zu suchen, indem das starke Eingreifen der Krallen in den Schlamm einen zusätzlichen Halt bot. Sicherlich waren solche scharfen Krallen auch als Schutz vor Feinden bzw. bei der Jagd nach Nahrung in den Gezeitentümpeln (Fische, Crustaceen?) hilfreich, wie es bei anderen aquatischen Reptilien, z.B. Alligatoren, zu beobachten ist.

Schwimmhäute (Abb. 7)

Anhand unterschiedlich erhaltener Fährten in zwei Horizonten können erstmals für den Erzeuger von *R. peabodyi* Interdigitalhäute, möglicherweise auch Schwimmhäute (Abb. 6D) vermutet werden. Einerseits zeigen die Pes Eindrücke der Fährten im Horizont XII (Abb. 13), insbesondere zwischen Strahl 2-4, Sedimentwülste, die auf Schwimmhäute hinweisen könnten. Andererseits findet man deutliche Hinweise im Fährtenhorizont V (nicht abgebildet, Naturkundemuseum Osnabrück, Nr.: Pal. 95), in dem meist drei bis vier parallele Kratzspuren vorhanden sind, die zusätzlich in leichten Vertiefungen liegen. Solche Muldenstrukturen können nur dadurch entstanden sein, dass die schaufelartigen, mit eventuell Schwimmhäuten versehenen Extremitäten den weichen Kalkschlamm leicht abgekratzt haben. Wären keine Schwimmhäute vorhanden gewesen, so würden sich nur reine Kratzspuren finden.

Diskussion: Nach den metrischen Angaben von DEMATHIEU & OOSTERINK (1983, 1988) für *R. peabodyi* aus Winterswijk fallen die Fährten von Borgholzhausen in die erhaltungsbedingte Varianz dieser Ichnospecies. Abweichend von den Angaben dieser Autoren zu den Winterswijker Fährten wurde an neuem, sehr gut erhaltenen Material aus dieser Fundstelle (aufbewahrt im Paläontologisches Museum der Universität Münster und im Naturkundemuseum Bielefeld) und aus Borgholzhausen (aufbewahrt im Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück sowie ErdZeitCenter) eine andere Phalangenformel für die Manus ermittelt. Während die

Manus nach DEMATHIEU & OOSTERINK (1983, 1988) die Formel 2, 3, 4, 5, 3 besitzt, zeigen die neuen Funde die Formel 2, 3, 3, 4, 2.

Die Länge der Krallen wird besonders bei dem von DEMATHIEU & OOSTERINK (1983: Abb. 7A) abgebildeten, schräg abgedrückten Pes deutlich. Die Strahlen sind dort schräg abgedrückt und weisen vor der letzten Phalange einen ca. 1 cm langen sichelförmigen Abdruck auf.

Nach der Auswertung der Hautstrukturen und Anatomie der Manus von *R. peabodyi* kommen vor allem prolacertile Reptilien als Erzeuger in Betracht. Die Ansicht von DEMATHIEU & OOSTERINK (1983), es handle sich bei dem Erzeuger um einen Archosaurier (Proterosuchier) kann nicht gefolgt werden. Nach ersten eigenen Vergleichen der aus den Trittsiegeln abgeleiteten Manus- und Pes-Anatomie mit der Skelettanatomie mitteltriassischer Reptilien handelt es sich bei dem Erzeuger wahrscheinlich um einen Prolacertilier wie *Macrocnemus*, der aus der Mitteltrias der Südalpen bekannt geworden ist (vgl. PEYER 1931).

Stratigraphische und geographische Verbreitung:

R. peabodyi ist aus dem obersten Unteren Wellenkalk und der Oolith-Zone des Unteren Muschelkalkes (Bithyn, Mitteltrias) bekannt geworden (DIEDRICH 1997, 1998a, b, d, 2000a, b; DIEDRICH & OOSTERINK 2000). Neue, noch unpublizierte Untersuchungen in Winterswijk und Funde von FICHTER (1997) deuten auf eine Reichweite bis in den Mittleren Muschelkalk. Im westlichen Germanischen Becken wurde *R. peabodyi* in Winterswijk (E-Niederlande) (FABER 1958; OOSTERINK 1976, 1980, 1986, 1988; DEMATHIEU & OOSTERINK 1983, 1988) und Haarmühle (NW-Deutschland) (HOLST et al. 1970) sowie den Fundstellen im mittleren Teutoburger Wald (NW-Deutschland) nachgewiesen (DIEDRICH 1997, 1998a, b, d), die paläogeographisch entlang des Nordrand der Rheinischen Masse lagen.

Die aus Haarmühle beschriebenen Fährten (HOLST et al. 1970) von „*Rhynchosauroides haarmühlensis*“ sind nach Vergleichen mit den Originalen zur Gattung *Procolophonichnium* zu stellen (siehe unten). Eine detaillierte Neubeschreibung der Originalen und Neufunde von der Haarmühle sind zur Zeit in Arbeit.

Ichnogenus *Procolophonichnium* NOPCSA, 1923

Procolophonichnium haarmuehlensis

(HOLST, SMIT & VEENSTRA, 1970)

Abb. 8-10

- * 1970 *Rhynchosauroides haarmühlensis* HOLST, SMIT & VEENSTRA: 160-165, Abb. 1-8.
- v 1983 *Procolophonichnium winterswijkense*. – DEMATHIEU & OOSTERINK: 13, Abb. 8, 33-50.
- 1986 *Procolophonichnium winterswijkense* DEMATHIEU & OOSTERINK. – OOSTERINK: 99, Fig. 58, Foto 62.
- 1988 *Procolophonichnium winterswijkense* DEMATHIEU & OOSTERINK. – DEMATHIEU & OOSTERINK: 13, Fig. 6.
- 1988 *Procolophonichnium winterswijkense* DEMATHIEU & OOSTERINK. – OOSTERINK: 71, Abb. 3.

Abb. 8. *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA). Mehrere Manus- und Pes-Eindrücke (Negativ). Abgedrückt sind meist nur die drei mittleren Strahlen, insbesondere die Krallen (Fährtenhorizont VII). Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, Nr. Pal.-94/3.

Fig. 8. *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA). Several manus and pes imprints (negative). In most cases only the middle digits and claws are recorded (track horizon VII). Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, No. Pal.-94/3.

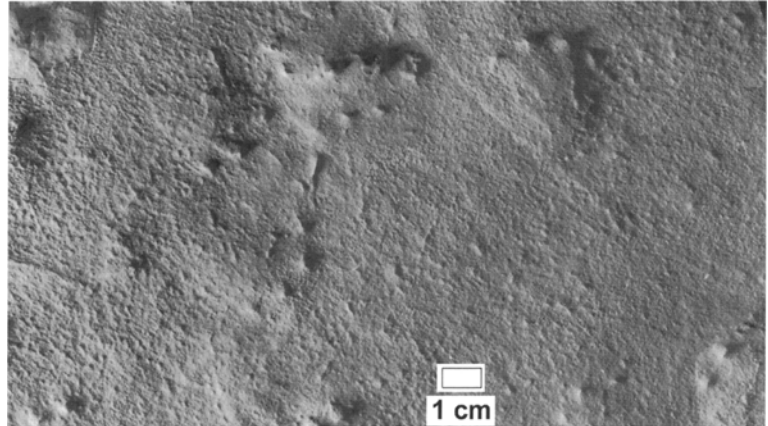
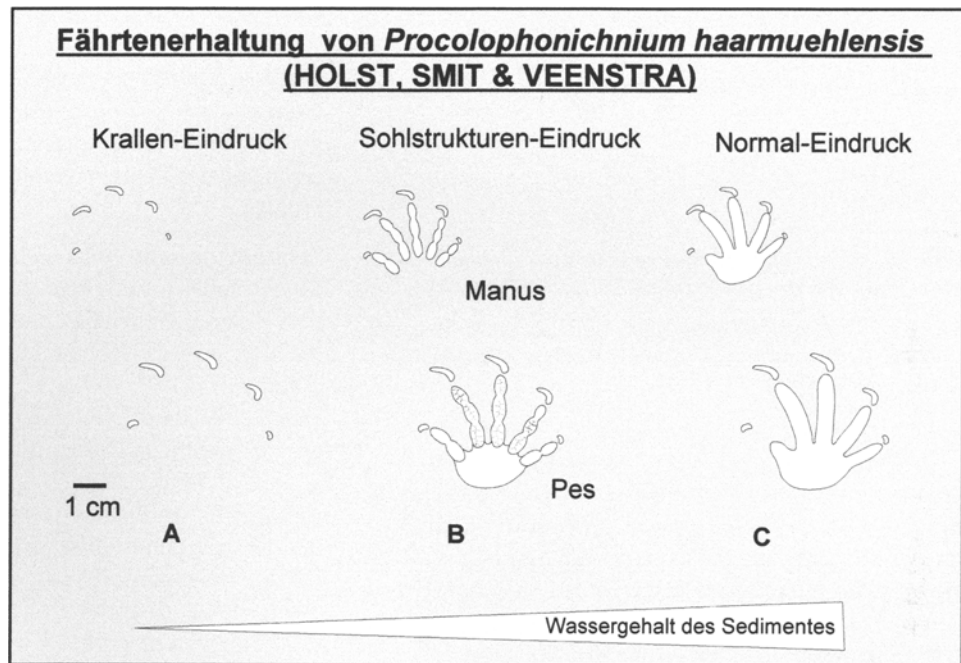


Abb. 9. Fährtenerhaltung von *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA) in Abhängigkeit vom Wassergehalt des Sedimentes.

Fig. 9. Relationship between preservation of *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA) tracks and water content of sediment.



- v 1996 *Procolophonichnium winterswijkense* DEMATHIEU & OOSTERINK. – DIEDRICH: 10, Taf. 1 Fig. 2.
- v 1997 *Procolophonichnium winterswijkense* DEMATHIEU & OOSTERINK. – DIEDRICH: 42, 138.
- v 1998a *Procolophonichnium winterswijkense* DEMATHIEU & OOSTERINK. – DIEDRICH: 78.
- v 1998b *Procolophonichnium winterswijkense* DEMATHIEU & OOSTERINK. – DIEDRICH: 635, Abb. 4.
- v 1998d *Procolophonichnium winterswijkense* DEMATHIEU & OOSTERINK. – DIEDRICH: 37.
- v 2000a *Procolophonichnium winterswijkense* DEMATHIEU & OOSTERINK. – DIEDRICH: 8.
- v 2000b *Procolophonichnium winterswijkense* DEMATHIEU & OOSTERINK. – DIEDRICH: 383-384, Abb. 5, 6A-D.
- v 2000 *Procolophonichnium haarmuehlensis*. – DIEDRICH & OOSTERINK: 129.

Material: Es liegen mehrere Hundert Eindrücke in unterschiedlicher Erhaltung aus zahlreichen Horizonten (vgl. Abb. 2) und eine Fährtenplatte vor (aufbewahrt im Museum am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück; die Fährtenplatte trägt die Nr. Pal. 96).

Erhaltung: Drei Typen der Fährtenerhaltung können an den Funden von Borgholzhausen erstmals aufgezeigt werden (Abb. 9), die wie bei *R. peabodyi* primär vom Wassergehalt abhängig sind. Die Kralleneindruck-Erhaltung (Abb. 9A) ist am häufigsten, bei der nur die mittleren drei Krallen (oftmals nur schwer erkennbar) abgedrückt sind. Die beiden anderen Erhaltungstypen zeigen digi- bis plantigrade Abdrücke (Normalabdruck, Sohlstrukturenabdruck), wobei sehr selten auch die Digit-Hautstrukturen als zweireihige Polygonreihen zu erkennen sind (Abb. 9). Immer sind aber die Krallen sehr gut und oft tief eingedrückt.

Beschreibung:

Manus-Eindruck (Abb. 9)

Die Manus ist meist nur schwach eingedrückt, und lediglich die Strahlen II, III und IV sind sichtbar. Die letzten Phalangen bilden ein deutliches Relief ab. Eine Plantigrade

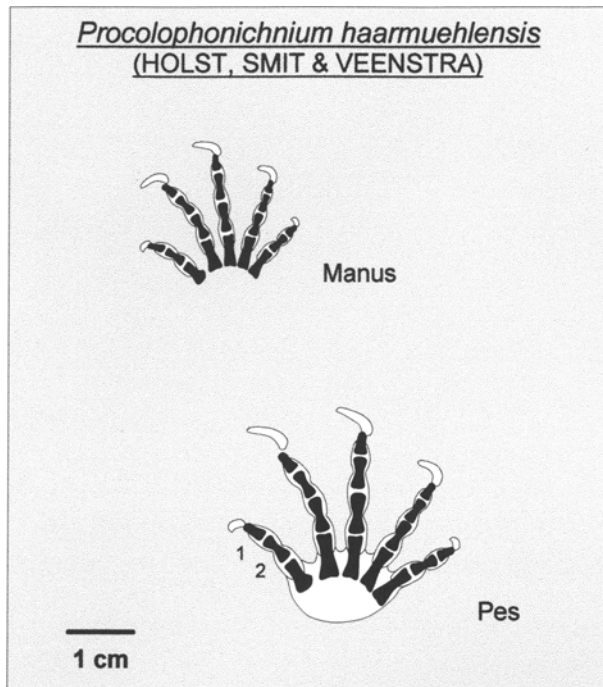


Abb. 10. Manus- und Pes-Skelettrekonstruktion von *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA).

Fig. 10. *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA). Reconstruction of the skeleton of manus and pes.

gradie des Vorderfußes scheint typisch zu sein, wobei die Erhaltungsformen oftmals eine Digitigradie vortäuschen. Die Ferse ist nur bei tief eingedrückten Spuren deutlich sichtbar. Die hier erstmals beschriebene Phalangenformel von 2, 3, 3, 3, 2 wurde an Material aus Winterswijk und Borgholzhausen ermittelt (Abb. 10).

Pes-Eindruck (Abb. 9)

Dieser erscheint deutlicher als der des Vorderfußes und ist semiplantigrad. Die Ferse ist deshalb nur bei tief eingedrückten Spuren sichtbar und nach hinten konvex. Der Pes-Eindruck zeigt dieselbe Phalangenformel wie die Manus (Abb. 10).

Fährte

Die Fährte besitzt einen breiten Schrittwinkel von 80-120° mit einem Verhältnis zwischen Doppelschritt/Gangbreite von 1:1. Der Manus-Eindruck liegt leicht versetzt vor dem Pes-Eindruck. Eine im Horizont VI bei einer Fährte angetroffene Schwanzspur besteht aus zwei sehr feinen, parallelen sinusförmigen Linien, die unterbrochen sein können. Auch am Material von Winterswijk (DEMATHIEU & OOSTERINK 1983) sind derartige Schwanzschleifspuren beschrieben worden.

Sohlenflächen-Strukturen (Abb. 9B)

In sehr wenigen Fällen im Material von Borgholzhausen und Winterswijk zeigen die Strahlen Erhaltungen der Sohlenflächen-Strukturen. Sie bestehen aus einem zweireihigen polygonalen Muster an der Polster-Unterseite.

Krallen (Abb. 9A)

Sehr charakteristisch sind die Krallen, die sichelförmig tief in das Sediment hineingreifen und insbesondere bei den Strahlen II-IV sowohl der Vorder- als auch der Hinterextremität deutlich abgedrückt sind. Oftmals besitzen die Krallenabdrücke einen dreieckigen Umriss.

Diskussion: Die Fährten und Eindrücke von *P. haarmuehlensis* von Borgholzhausen wurden mit eigenen Neufunden von Winterswijk, Dissen und Wichlinghausen (Paläontologisches Museum der Universität Münster) und Altfunden von Winterswijk (Originale von DEMATHIEU & OOSTERINK 1983) metrisch verglichen und fallen in die erhaltungsbedingte Varianz der Eindrücke. Für ein terrestrisches Reptil als Erzeuger von *P. haarmuehlensis* spricht unter anderem die primitive Phalangenformeln. DEMATHIEU & OOSTERINK (1983) engen diese Ansprache auf ein ca. 30-35 cm kleines Reptil aus der Gruppe der Procolophoniden ein. Erst ein genauer Abgleich zwischen Reptilfunden aus Winterswijk und anderen und den Fährten wird Klarheit in der Erzeugerfrage bringen.

Stratigraphische und geographische Verbreitung:

Stratigraphisch ist *P. haarmuehlensis* nur aus dem obersten Unteren Wellenkalk und der Oolith-Zone des Unteren Muschelkalk (Bithyn, Mitteltrias) bekannt geworden (DIEDRICH 1997, 1998a b, d, 2000a, b; DIEDRICH & OOSTERINK 2000). Geographisch ist *P. haarmuehlensis* auf das westliche Germanische Becken beschränkt und konnte in Winterswijk (FABER 1958; OOSTERINK 1976, 1980, 1986, 1988; DEMATHIEU & OOSTERINK 1983, 1988) und an drei Fundstellen im Teutoburger Wald, nämlich Dissen (DIEDRICH 1998d), Borgholzhausen (DIEDRICH 1997, 1998a, d) und Wichlinghausen (DIEDRICH 1998b, d) nachgewiesen werden.

Fährte indet.

Material: Eine einzige Fährte, bestehend aus sechs Eindrücken, aus dem Fährtenhorizont VII (aufbewahrt im Museum am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, Nr. Pal. 96).

Beschreibung: Die Eindrücke besitzen einen mehr oder weniger tridactylen Character. Anscheinend liegen nur alternierende Eindrücke vor, wobei nicht entschieden werden kann, ob nur die Manus oder der Pes oder beide überlagernd vorhanden sind. Letzteres scheint am wahrscheinlichsten aufgrund des hohen Schrankes (vgl. Tab. 1), der einen bipeden Erzeuger eindeutig ausschließt. Die Messwerte der Eindrücke sind der Tab. 1 (Fährte III) zu entnehmen. Sie zeigen Übereinstimmungen mit Fährten von *R. peabodyi*, wobei der Schrittwinkel deutlich geringer erscheint (vgl. Tab. 1). Allen Eindrücken gemeinsam ist ein halbmondförmiger Sedimentwulst hinter dem Eindruck, der bis zu 0,5 cm über die Trockenriss-Oberfläche herausragt.

Diskussion: Der Vergleich dieser Fährte mit allen aus der Trias in der Literatur beschriebenen Fährten erbrachte

Tab. 1. Maße der Fährten I und II von *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER) im Fährtenhorizont XIII. – Längenmaße in cm.

Tab. 1. Measurements of the *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER) tracks I and II on the track horizon XIII. – Measurements in cm.

Fährte I	1 bis 2	2 bis 3	3 bis 4	4 bis 5	5 bis 6	6 bis 7	Mittel
Schrittwinkel Manus (°)	-	-	-	115	-	115	115
Schrittwinkel Pes (°)	84	96	93	88	92	90	91
	1 bis 2	2 bis 3	3 bis 4	4 bis 5	5 bis 6	6 bis 7	
Schritt Manus (cm)	33,5	32	33,5	32,5	34,5	33,5	33,25
Schritt Pes (cm)	30	-	-	28,5	30	28,5	29,25
	1 bis 3	2 bis 4	3 bis 5	4 bis 6	5 bis 7		
Doppelschritt Manus (cm)	65,5	65,5	66	67	68		66,4
Doppelschritt Pes (cm)	-	-	-	58,5	58,5		58,5
	1	2	3	4	5	6	
Gangbreite (cm)	-	27,5	29	30	30	28,5	29
Abstand Manus/Pes (cm)	3,5	-	-	5	-	3	3,25

Fährte II	1 bis 3	2 bis 4	3 bis 5	Mittel
Schrittwinkel Manus (°)	112	106	111	109,6
Schrittwinkel Pes (°)	-	136	-	136
	1 bis 2	2 bis 3	3 bis 4	4 bis 5
Schritt Manus (cm)	38	39	44,5	-
Schritt Pes (cm)	-	34	34	37,5
	1 bis 3	2 bis 4	3 bis 5	
Doppelschritt Manus (cm)	60	66,5	62,5	63
Doppelschritt Pes (cm)	-	61	-	61
	1	2	3	4
Gangbreite (cm)	-	25	26,5	24
Abstand Manus/Pes (cm)	-	12	8	12,5

Fährte III	1 bis 3	2 bis 4	3 bis 5	4 bis 6	Mittel
Schrittwinkel Manus/Pes (?) (°)	65	62	61	61	-
	1 bis 2	2 bis 3	3 bis 4	4 bis 5	5 bis 6
Schritt Manus/Pes (?) (cm)	42,5	38,5	42,5	37,5	42,5
	1 bis 3	2 bis 4	3 bis 5	4 bis 6	5 bis 7
Doppelschritt Manus/Pes (?) (cm)	81	81	66	67	68
	1	2	3	4	5
Gangbreite (cm)	-	33	34	34	34
Abstand Manus/Pes (cm)	0	0	0	0	0

keine Übereinstimmungen zu einem bekannten Fährten-taxon. Möglicherweise handelt es sich auch hier um eine Fährte von *R. peabodyi*, wofür es metrische Hinweise gibt (vgl. Tab. 1). In diesem Fall würde der Pes- den Manus-Eindruck überlagern, ein Phänomen, das schon bei der Fährte I von *R. peabodyi* (Fährtenhorizont XIII) beschrieben wurde. Diese Fährte wurde, im Gegensatz zu Fährte III, in sehr feuchtem bzw. noch wasserbedecktem Sediment erzeugt und zeigt (bis auf Eindruck 3) beide Extremitäten. Der Erzeuger der unbestimmten Fährte muss quadruped gewesen sein und ein recht hohes Gewicht oder eine hohe Geschwindigkeit besessen haben, die zu den starken Sedimentwülsten führten. Das Auftreten der Fährte in der *P. haarmuehlensis*-Ichnofazies (siehe unten) belegt, dass die Wülste nicht auf sehr

wassergesättigtem Sediment oder subaquatisch entstanden, im Gegensatz zu den Sedimentwülsten bei den Fährten I und II von *R. peabodyi* (Fährtenhorizont XIII).

Wirbeltierfährten-Ichnofaziestypen

Der Begriff der Wirbeltierfährten-Ichnofazies (= Spurenvergesellschaftungen in unterschiedlichen Faziesbereichen) gewinnt in der Wirbeltier-Ichnologie immer mehr an Bedeutung (HAUBOLD 1984), da hierdurch neue Erkenntnisse, im Gegensatz zu der rein metrischen Analyse, über den Erzeuger und sein Biotop gewonnen werden können (vgl. LOCKLEY et al. 1994). Weiterhin wird die Problematik der ichnotaxonomischen Bestimmung von unterschiedlich erhaltenen Fährten deutlich, die Autoren

Kratzspuren-Ichnofazies
Fährtenhorizont XXVI

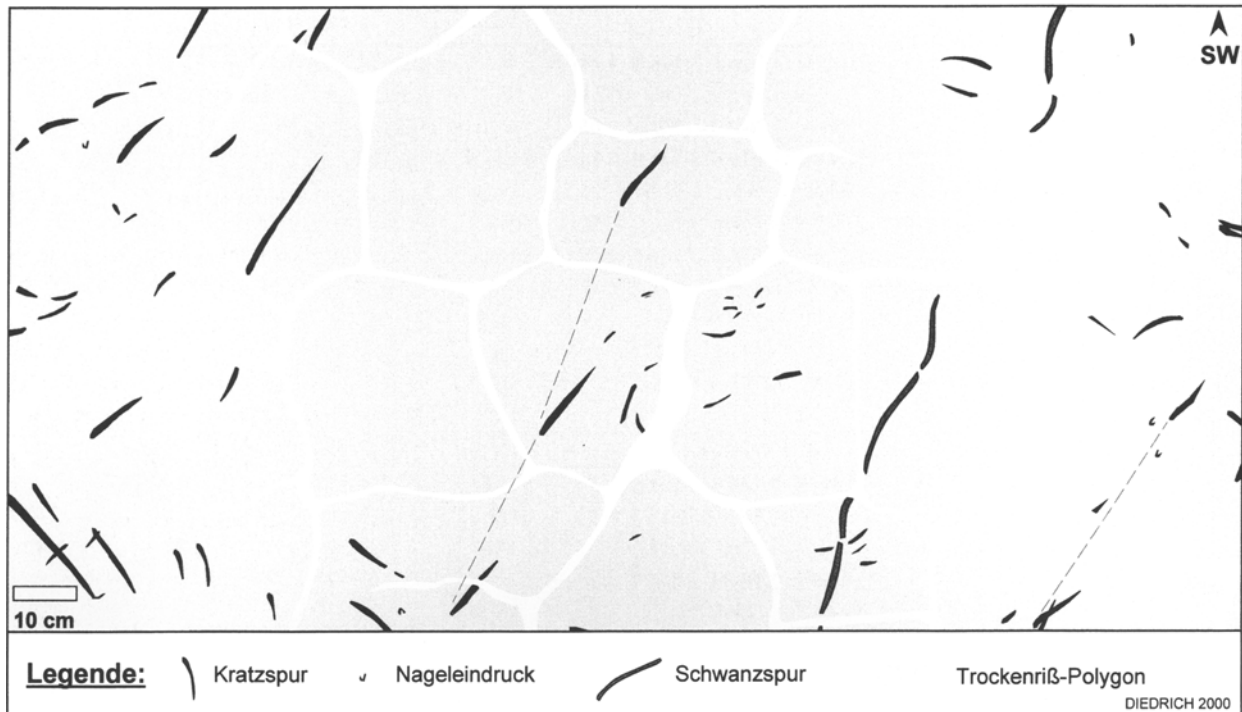


Abb. 11. Kratzspuren-Ichnofazies, Untertyp I (Fährtenhorizont XXVI), Graues Zwischenmittel, Oolith-Zone (Unterer Muschelkalk). Nicht geborgen.

Fig. 11. Scratch mark ichnofacies, subtype I (track horizon XXVI), Graues Zwischenmittel, Oolith-Zone (Lower Muschelkalk). Not rescued.

oftmals dazu veranlasst hat, erhaltungsbedingte Ichnotaxa aufzustellen. Extramorphologische Fährten (Fährtentypen, die faziell bzw. sedimentologisch kontrolliert sind) konnten an dem umfangreichem Material aus Borgholzhausen herausgearbeitet und als Phantom-Taxa (HAUBOLD 1996) ausgeschieden bzw. ein und demselben Erzeuger zugeschrieben werden (vgl. z. B. Erhaltung von *R. peabodyi*, Abb. 6).

Über die Wirbeltierfährten-Ichnofaziestypen können die Faziesbereiche innerhalb des Karbonatwattes zur Zeit der Oolith-Zone genau differenziert und neue paläo-ökologische Daten über die Erzeuger gewonnen werden. Auffällig sind verschiedene Wirbeltierfährten-Ichnofaziestypen in den jeweiligen Fährtenhorizonten. Solche Fährtenassoziationen in der Oolith-Zone konnten erstmals in Borgholzhausen nachgewiesen und dokumentiert werden. Weitere Fundstellen im Teutoburger Wald wie Wichlinghausen (DIEDRICH 1998b, d) und Dissen (DIEDRICH 1998d) zeigen dieselben Ichnofaziestypen, ebenso nach eigenen unpublizierten Untersuchungen die Fährtenfundstelle Winterswijk. Bisher können drei Ichnofaziestypen in Borgholzhausen (ebenso an den anderen Fundstellen) unterschieden werden, die sich meist stratigraphisch gegenseitig ausschließen (Abb. 2) und sich nur in den Horizonten V und XXIV, aufgrund von Eintrocknungserscheinungen, überlagern.

Die allgemeine Orientierung der Fährten von *R. peabodyi* zeigt eine schwimmende Fortbewegung nach E (Fährtenhorizont XXVI, Abb. 11) und eine gehende nach E-W bzw. N-S (Fährtenhorizont IX, Abb. 12) und nach E (Fährtenhorizont XIII, Abb. 13). Die Richtungen sind einerseits fast parallel zur Küstenlinie der Bielefelder Bucht (die E-W Richtung) und zur, bzw. von der Bielefelder Bucht weg orientiert. Die Fährten von *P. haarmuehlensis* zeigen im Fährtenhorizont VII (Abb. 14) keine klaren Ausrichtungen. Die Fährte des unbekanntes Ichnotaxon im Fährtenhorizont VII (Abb. 14) führt von der Bucht weg nach W.

***Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofazies**

Die *Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofazies ist durch das alleinige Auftreten von Fährten des Typs *R. peabodyi* in den Fährtenhorizonten I-IV, VII, IX, XII-XV, XVIII-XIX, XXIV, XXIX-XXXI, XXXIII, XXXV und XXXVI charakterisiert. Dabei können völlig zertrampelte Horizonte wie die Fährtenhorizonte IX oder XIV (Abb. 4, 12), aber auch Horizonte mit deutlich parallelen Fährten im Fährtenhorizont XIII kartiert werden (Abb. 13). Nach der Erhaltung der Fährten können drei Untertypen der *Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofazies unterschieden werden.

***Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofazies**
Fährtenhorizont IX

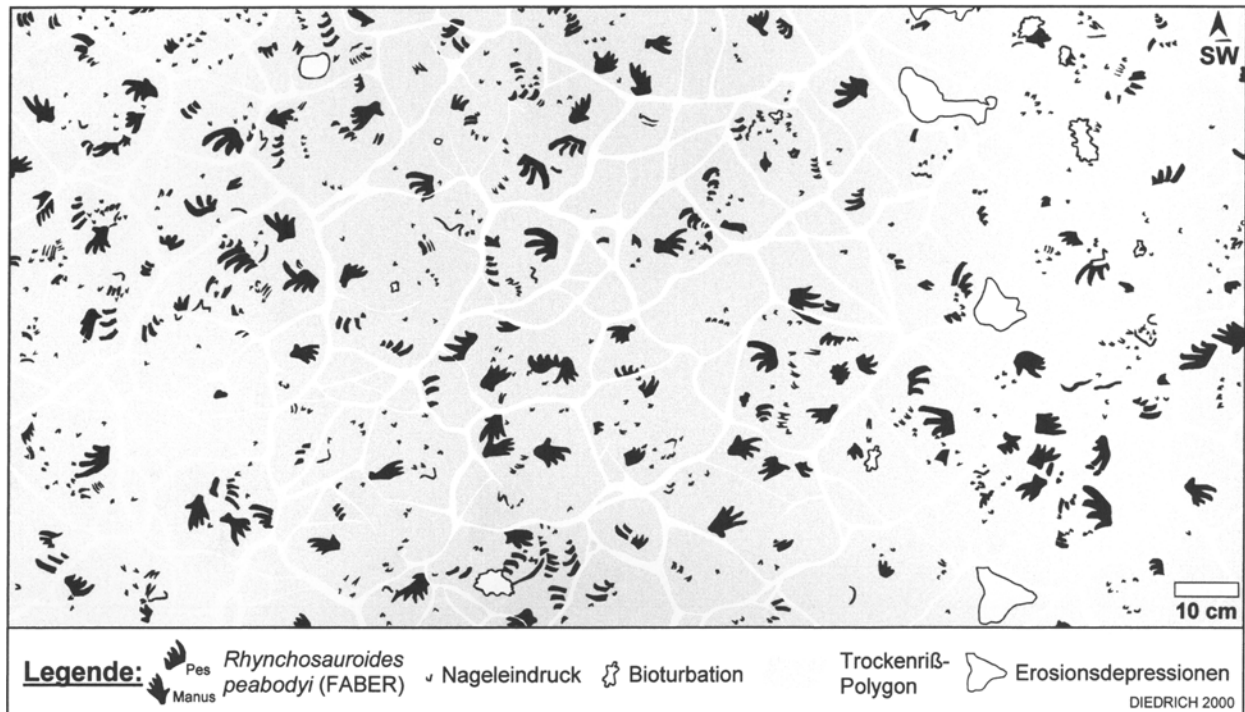


Abb. 12. *Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofazies, Untertyp III. Mit *R. peabodyi* (FABER) zertrampelter Horizont (Fährtenhorizont IX). Fährtenplatte im Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, Nr.: Pal. 97.

Fig. 12. *Rhynchosauroides peabodyi* ichnofacies, subtype III. *R. peabodyi* (FABER) trampling horizon (track horizon IX). Slab in the Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, No.: Pal. 97.

Rhynchosauroides peabodyi-Ichnofazies, Untertyp I
(Kratzspuren-Ichnofazies)

Kratzspuren sind für den ersten *Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofaziestyp kennzeichnend (Abb. 11). Solche Kratzspuren bestehen aus einer bis vier parallelen, deutlichen V-förmigen Rillen, die oft zusätzlich in muldenartigen Vertiefungen liegen. Sie können Fährten bilden und wurden schon bei OOSTERINK (1986, Foto 21) für Winterswijk als „Problematica“ abgebildet. Kratzspuren wurden in Borgholzhausen im Fährtenhorizont V kartiert und stellen vermutlich die Bewegung eines driftendes Tier dar, da die Kratzspuren auf einer horizontalen Achse verlaufen.

Im Gegensatz dazu ist im Fährtenhorizont V eine vorwärtsgerichtete Orientierung zu beobachten. Rechte und linke Kratzspuren unterscheiden sich an der Biegung der Kralleneindrücke, können jedoch noch nicht den Extremitäten (Manus oder Pes) zugeordnet werden. Kratzspuren wurden anscheinend bei einer geringen Wasserbedeckung in Resttümpeln oder Prielen im Karbonatwatt beim Schwimmen der Reptilien erzeugt und finden sich oft auf Rippelmarken-Horizonten. Die Fährtenhorizonte V und XXVI sind solche Schwimmspuren-Horizonte. Die Erhaltung der Kratzspuren ist vom Wasserstand in den Resttümpeln oder Prielen und dem daraus resultie-

renden Abstand der schwimmenden Reptilien zum Untergrund abhängig und damit ist die Metrik extrem variabel.

Dass der Erzeuger von *R. peabodyi* auch für die Kratzspuren verantwortlich ist, die somit kein selbstständiges Ichnotaxon darstellen, wird durch die Abstände der parallelen sigmoiden Kratzer und die Größe der Kratzspuren belegt.

Die Sedimente der Kratzspuren-Ichnofazies sind gelbliche Laminite, deren große Trockenriß-Polygone völlig glatte Oberflächen, in einigen Horizonten auch Rippelmarken und feinste Kratz- sowie Schleifspuren aufweisen. Spuren in Form von subparallelen Kratzern wurden auch an anderen triassischen Fundstellen nachgewiesen (OOSTERINK 1986, 1988; BOYD & LOOPE 1984).

Kratzspuren-Horizont

Im Fährtenhorizont XXXVI, der als Kratzspuren-Horizont bezeichnet wird (Abb. 11), finden sich fast ausschließlich einzelne, oft sehr lange Kratzspuren, während parallele Furchen fehlen. Die isolierten Furchen dürften den Eindruck des längsten Strahles, Strahl IV, darstellen. Außerdem findet sich in Horizont XXXVI eine lange, sigmoide, mehrfach unterbrochene Spur, die hier als Schwanzspur eines Reptils oder Fisches gedeutet wird. Zur Entstehungszeit dieses Horizontes muss die Wasserbedeckung etwas höher gewesen sein als in den Horizon-

***Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofazies**
Fährtenhorizont IXIII

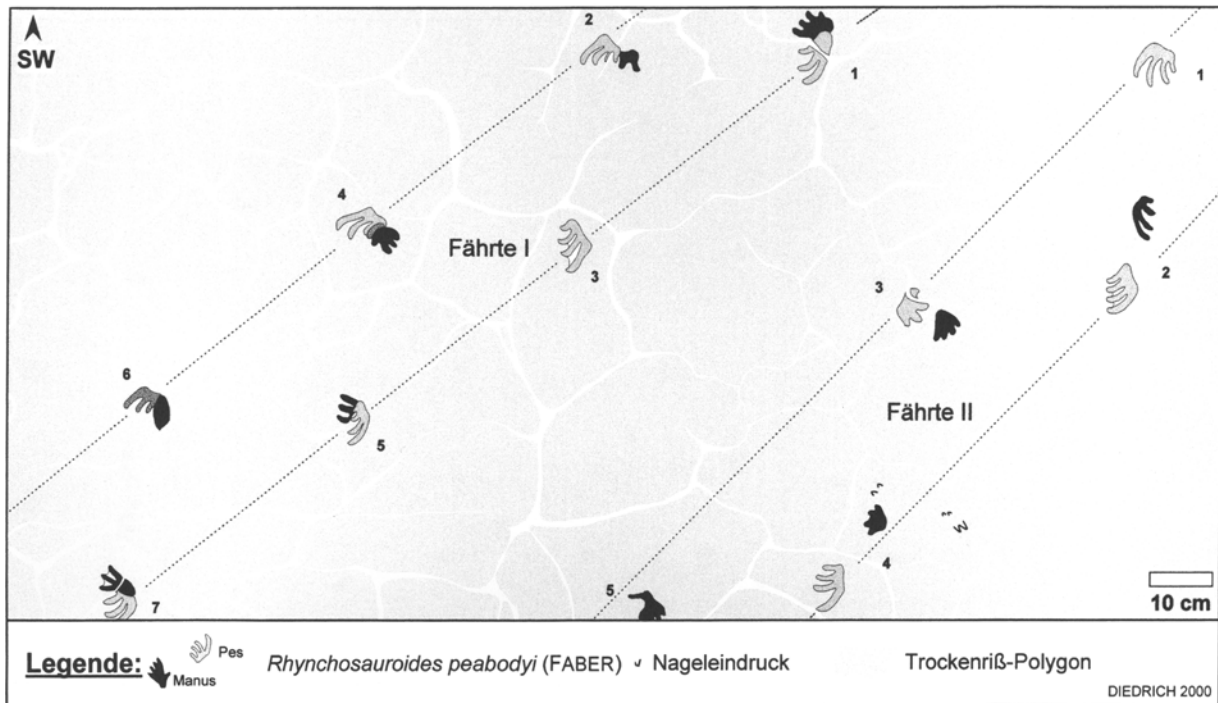


Abb. 13. *Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofazies, Untertyp II. Zwei parallele Fährten von *R. peabodyi* (FABER) (Fährtenhorizont XIII). Stadt Borgholzhausen, ohne Nr.

Fig. 13. *Rhynchosauroides peabodyi* ichnofacies, subtype II. Two parallel trackways of *R. peabodyi* (FABER) (track horizon XIII). City of Borgholzhausen, uncatalogued.

ten mit parallelen Kratzspuren, so dass beim Schwimmen der Reptilien lediglich die Krallen der längsten Strahlen der Extremitäten tiefe Furchen im Sediment verursachen konnten.

Schwimmspuren-Horizont

Der nicht abgebildete Horizont V zeigt die typischen Schwimmspuren mit zwei bis drei parallelen Kratzern (vgl. Kratzspuren-Eindruck Abb. 6E), die oft zusätzlich in muldenartigen Vertiefungen liegen. Die meisten Kratzspuren zeigen eine nach W parallel zur Bielefelder Bucht ausgerichtete Schwimmrichtung an. Mehrere Schwimmspuren-Fährten konnten eindeutig an der regelhaften Verteilung und Abständen der Kratzspuren erkannt werden.

Rhynchosauroides peabodyi-Ichnofazies, Untertyp II (Fährten-Horizont)

Im Fährten-Horizont XIII (Abb. 13) treten zwei parallele Fährten von *R. peabodyi* auf. Metrische Analysen wurden an diesen Fährten vorgenommen (Tab. 1), um Informationen über die Dimensionen und den Körperbau der Erzeuger zu bekommen.

Bei den Sedimenten handelt es sich um graue Laminiten mit glatter Oberfläche und großen Trockenriß-Polygonen. In diese sind die parallelen Fährten tief in das sehr plastische, wassergesättigte Sediment (vgl. Wirbeltierfährten in BRAND 1996) eingedrückt und meist von einem

halbmondförmigen Sedimentwulst umgeben, wobei sich zwischen den Strahlen des Pes, selten auch der Manus, mehrfach interdigitale Häute abzeichnen. Die Eindrücke der Manus haben oft Entenfuß-Charakter, d.h. sie sind breit aufgefächert und mit starken Sedimentwülsten versehen; außerdem sind die Strahlen nur basal abgedrückt. Die Fährten entstanden zeitgleich bei noch geringster Wasserbedeckung von wenigen cm. Dieses ist weniger aus der selben Laufrichtung zu schließen, als aus der identischen Fährten-Erhaltung mit starken Sedimentwülsten.

Die typischen Fährtenerhaltungsformen werden für die Ichnofaziesbereiche im folgenden beschrieben, da diese gleichzeitig Informationen über die Sedimentologie geben:

- Fährte I: Bei dieser für *R. peabodyi* untypischen Fährte ist die Überlagerung des Manus- durch den Pes-Eindruck auffällig. Weiterhin eigenartig ist die Orientierung des Manus-Eindruckes in einem rechten Winkel zur Fährten-Mittelachse, also eine starke Eindrehung der Vorderextremität. Eine derartige Eindrehung ist bei den zahlreichen publizierten Manus-/Pes-Eindruckpaaren von Winterswijk (DEMATHIEU & OOSTERINK 1983, 1988) und bei den anderen Manus-/Pes-Eindruckpaaren von Borgholzhausen nicht zu beobachten. Interdigital- oder Schwimmhäute zeichnen sich am Pes-Eindruck des Paares 4 und am Manus-Eindruck

Procolophonichnium haarmuehlensis-Ichnofazies
Fährtenhorizont VII

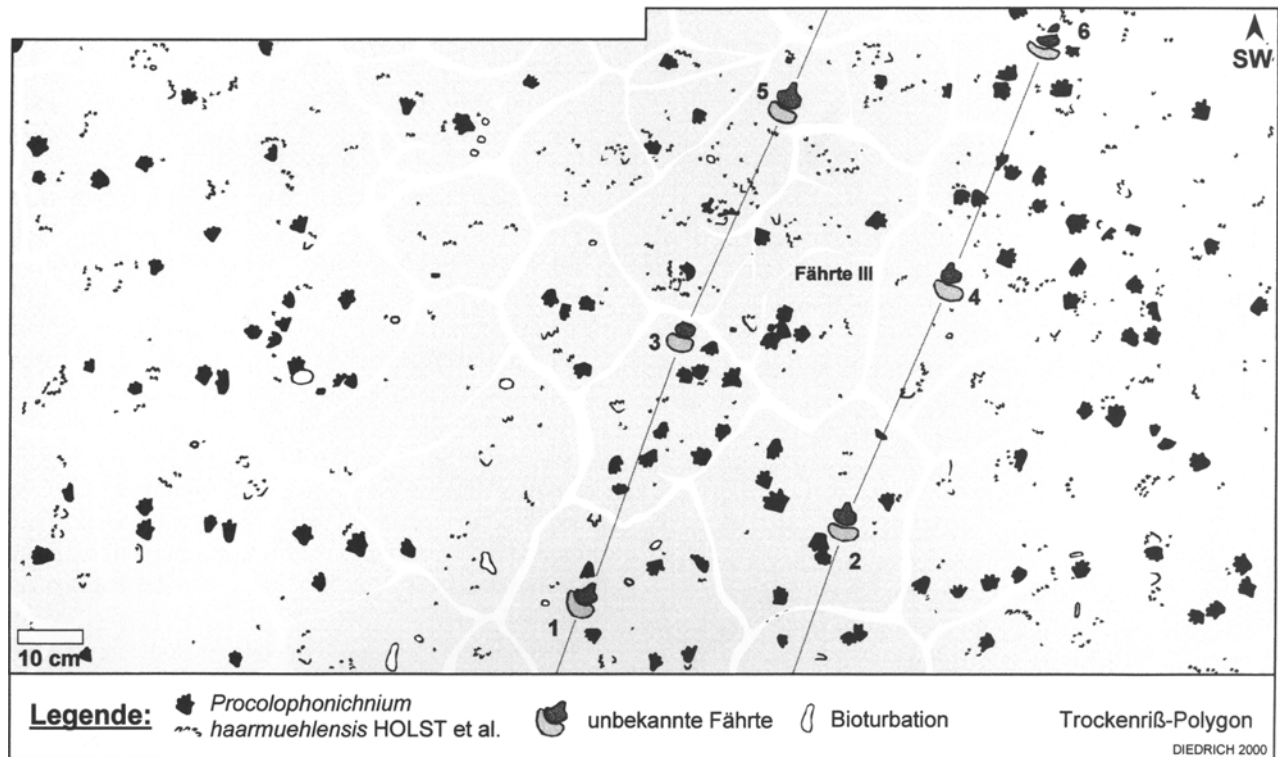


Abb. 14. *Procolophonichnium haarmuehlensis*-Ichnofazies. Von *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA) zertrampelter Horizont mit einer weiteren unbekanntem Fährte (Fährtenhorizont VII). Fährtenplatte im Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, Nr.: Pal. 96.

Fig. 14. *Procolophonichnium haarmuehlensis* ichnofacies. Trampled horizon of *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA) with an unknown track (track horizon VII). Slab in the Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt, No.: Pal. 96.

des Paares 7 ab. Der Schrittinkel des Manus-Eindruckes beträgt 115° , der des Pes-Eindruckes 91° . Die Schrittänge des Manus-Eindruckes kann mit 33,2 cm und die des Pes-Eindruckes mit 29,2 cm angegeben werden. Der Doppelschritt von Manus- (66,4 cm) und Pes-Eindruck (58,5 cm) lässt sich auf 62,4 cm mitteln. Die Gangbreite beträgt gemittelt 29 cm und der gemittelte Abstand der Manus/Pes-Eindrücke 0,6 m. Das Verhältnis Doppelschritt/Gangbreite liegt bei 2,1. Für die Fährte lässt sich nach HAUBOLD (1971, 1984) eine Geschwindigkeit von 0,46 km/h berechnen. Die Rumpflänge dieses Individuums beträgt unter Annahme eines sekundären Übertretens 54 cm.

– Fährte II: Diese typische *Rhynchosauroides peabodyi*-Fährte zeigt ebenfalls das von DEMATHIEU & OOSTERINK (1983) beschriebene Übertreten des Pes über die Manus. Bei Eindruckpaar 2 sind interdigitale Hautabdrücke erkennbar. Der Schrittinkel des Manus-Eindruckes beträgt $109,6^\circ$ und der des Pes-Eindruckes 136° . Er fällt damit in die Variationsbreite der Winkel anderer Pes-Eindrücke (vgl. DEMATHIEU & OOSTERINK 1983, 1988). Die Schrittänge des Manus-Eindruckes kann mit 40,5 cm und die des Pes Eindrucks mit 35,2 cm angegeben werden. Der Doppelschritt

von Manus (63 cm) und Pes (61 cm) lässt sich auf 62 cm mitteln. Die Gangbreite beträgt gemittelt 25 cm, und der gemittelte Abstand Manus zu Pes 54 cm. Auch das Verhältnis Doppelschritt/Gangbreite liegt mit 2,4 höher als bei Fährte I. Die errechnete Geschwindigkeit war mit 0,44 km/h allerdings geringer. Die Rumpflänge von 52 cm ist der Rumpflänge von Fährte I ähnlich.

Diskussion

Die beiden *R. peabodyi*-Fährten zeigen deutliche Unterschiede in den Messwerten, was auf die unterschiedlichen Körpergrößen und Laufgeschwindigkeiten der Verursacher zurückzuführen ist. Die geringere Gangbreite der Fährte II, das schwache Übertreten des Hinterfußes über den Vorderfuß sowie die geringeren Schrittängen deuten auf ein langsames und geringfügig kleineres Individuum. Die Fährte I dürfte von einem größeren Individuum erzeugt worden sein. Die extrem eingedrehte Manus-Stellung birgt jedoch Rätsel.

Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit kann für die parallelen Spuren angenommen werden, dass sie von zwei Individuen unterschiedlichen Alters mit geringfügig abweichender Größe erzeugt wurden, die sich zeit-

gleich parallel der Bielefelder Bucht bewegt haben. Die Spurengröße des Erzeugers der Fährte II erscheint für ein Jungtier zu groß. Möglicherweise liegen hier Spuren unterschiedlicher Geschlechter oder eines gesunden und eines kranken Tieres vor. Für genauere Interpretationen müssten mehr Fährten zwecks Vergleichs vorliegen.

Rhynchosauroides peabodyi-Ichnofazies, Untertyp III (zertrampelter Horizont)

In den Fährtenhorizonten IX (Abb. 12) und XIV treten mehr als 100 Manus- und Pes-Eindrücke von *R. peabodyi* pro m² auf. Versuche, die einzelnen Eindrücke längeren Fährten zuzuordnen, schlugen fehl, obwohl sich ab und an zwei bis drei aufeinanderfolgende Manus- oder Pes-Eindrücke erkennen ließen. Beide Horizonte bestehen aus dolomitischen, gelblichen Algenlaminiten mit mittelgroßen Trockenriss-Polygonen und glatten Sedimentoberflächen. Auf diesen treten Fährten auf, die weder interdigitale Haut noch Sohlenflächenstrukturen an den Eindrücken erkennen lassen. Die Trittsiegel liegen in unterschiedlichster Erhaltung vor, von gut und tief abgedrückt bis zu Kralleneindrücken. Oftmals sind leichte Sedimentwülste an den Eindrücken vorhanden. Diese Befunde sprechen für ein noch feuchtes, plastisches bis semiplastisches Sediment. Tief eingedrückte Fährten entstanden zu Zeiten hoher Bodenfeuchte bzw. sehr geringer Wasserbedeckung. Während des Austrocknungsprozesses waten mehrere Individuen in unterschiedlichen Zeitabständen über diese Fläche, so dass die Fährten immer undeutlicher wurden und nur noch einzelne Eindrücke erhalten blieben. Im semiplastischen, austrocknenden Sediment entstanden dann die unvollständigen Eindrücke und schließlich nur noch die Kralleneindrücke.

Procolophonichnium haarmuehlensis-Ichnofazies

Die *Procolophonichnium haarmuehlensis*-Ichnofazies ist durch das meist massenhafte Auftreten von *P. haarmuehlensis* in den Fährtenhorizonten V-VII, IX, XI-XII, XXVII, XXXII und XXXIV charakterisiert. Überwiegend sind nur die drei mittleren Kralleneindrücke gut erkennbar. Im Fährtenhorizont VII (Abb. 14), einem stark zertrampelten Horizont, lassen sich in wenigen Fällen Eindrücke von *P. haarmuehlensis* zu Teilfährten zusammenfassen. Eine uneinheitliche Orientierung der Fährten und Eindrücke ist für diese zertrampelten Horizonte typisch.

Ichnofazies-Modell

Für die Fundstelle Borgholzhausen kann ein Ichnofazies-Modell (Abb. 15) durch die Kombination der sedimentologischen Untersuchungen und der unterschiedlichen Ichnofaziestypen abgeleitet werden. Rezente Vergleiche mit Trockenriss-Erscheinungen und darauf befindlichen Vogelfährten in einem Playa-See in der Wüste von Neva-

da, USA (Alkali Flat am Humboldt Lake nahe Ocala, 118,85°R, 39,95° H) und Literaturvergleiche (FÜCHTBAUER & MÜLLER 1970; REINECK 1972; GINSBURG & HARDIE 1975; REINECK & SINGH 1973; SCHWARZ 1975; FREY & PEMBERTON 1986; MC ALLISTER 1989; THULBORN & WADE 1989; THIELE 1990) unterstützen das Modell.

Der Ablagerungsraum der fährtenführenden Schichten der Oolith-Zone von Borgholzhausen befand sich am Rande eines subtropischen Karbonatwattes (vgl. Sedimentologie). An dieses Watt schloss sich nach Süden die Sabkha zum Festland hin an. Im Norden muss sich ein Lagunengürtel befunden haben (vgl. THIELE 1991). Priele und Resttümpel sowie flache Seen gliederten die Wattlandschaft. Der Reliefunterschied im Bereich der Watt-Tümpel kann nur wenige Dezimeter (ca. 0,2-0,5 m) betragen haben, was sich aus den Vergleichen mit dem Playa-See in Nevada und dem Auftreten der Kratzspuren schließen lässt. Periodische Überflutungen (Gezeiten oder Windtiden) und Trockenfallen und die daraus resultierende Austrocknung der Mikrobenmatten waren für die Feinlamination und Konservierung der Fährten verantwortlich.

Drei Ichnofaziestypen können in Analogie mit rezenten Karbonatwatten auf den Bahamas (GINSBURG & HARDIE 1975) festgestellt werden, in denen sich unterschiedliche Reptilien aufhielten.

- Supratidal-Fazies: Dieser Faziesbereich befindet sich in der Randzone des Karbonatwattes, oberhalb der Hochwassermarke und hinter dem Strandwall (Abb. 15). Die typische Oberflächenstruktur der siltischen Sedimente hinter dem Strandwall-Kamm ist eine körnige Struktur, die durch Sedimentaufwehung auf feuchte Oberflächen (oder Salzkrusten?) entsteht. Das Sediment wurde durch Austrocknung in große Trockenriss-Polygone unterteilt. Die in der Regel trockenen Oberflächen verhindern ein starkes Einsinken von Wirbeltieren in das Sediment. Regen oder Kapillarwasser bzw. Sturmfluten können jedoch diesen Faziesbereich beeinflussen. Aufgrund der meist fehlenden Bodenfeuchte und wegen des geringen Gewichtes der kleinen Reptilien sind die Fährten hier nur schlecht erhalten und meist nur die Krallen abgedrückt. Über diese sehr selten überfluteten Flächen des Supratidals zogen besonders terrestrische Reptilien, die dort auf Nahrungssuche gingen und meist massenhaft die Fährten des Typs *P. haarmuehlensis* zurückließen (*Procolophonichnium haarmuehlensis*-Ichnofazies).
- Tümpel-Fazies: Innerhalb der Resttümpel oder Wattseen finden sich andere Sedimentstrukturen (Abb. 3B, 15) und Fährtenhaltungen. Große Polygone (Fährtenhorizont XXVI, Abb. 11; Fährtenhorizont XIII, Abb. 13) zeichnen den tieferen, kleinere Polygone (Fährtenhorizont IX, Abb. 12) den Randbereich der Tümpel aus. Im Randbereich sind aufgrund periodischer Eintrocknungserscheinungen (tidale Beeinflussung) nur unvollständige Fährten bzw. nur Einzelabdrücke vorhanden (Fährtenhorizont IX, Abb. 12). In den plastischen, möglicherweise noch leicht wasser-

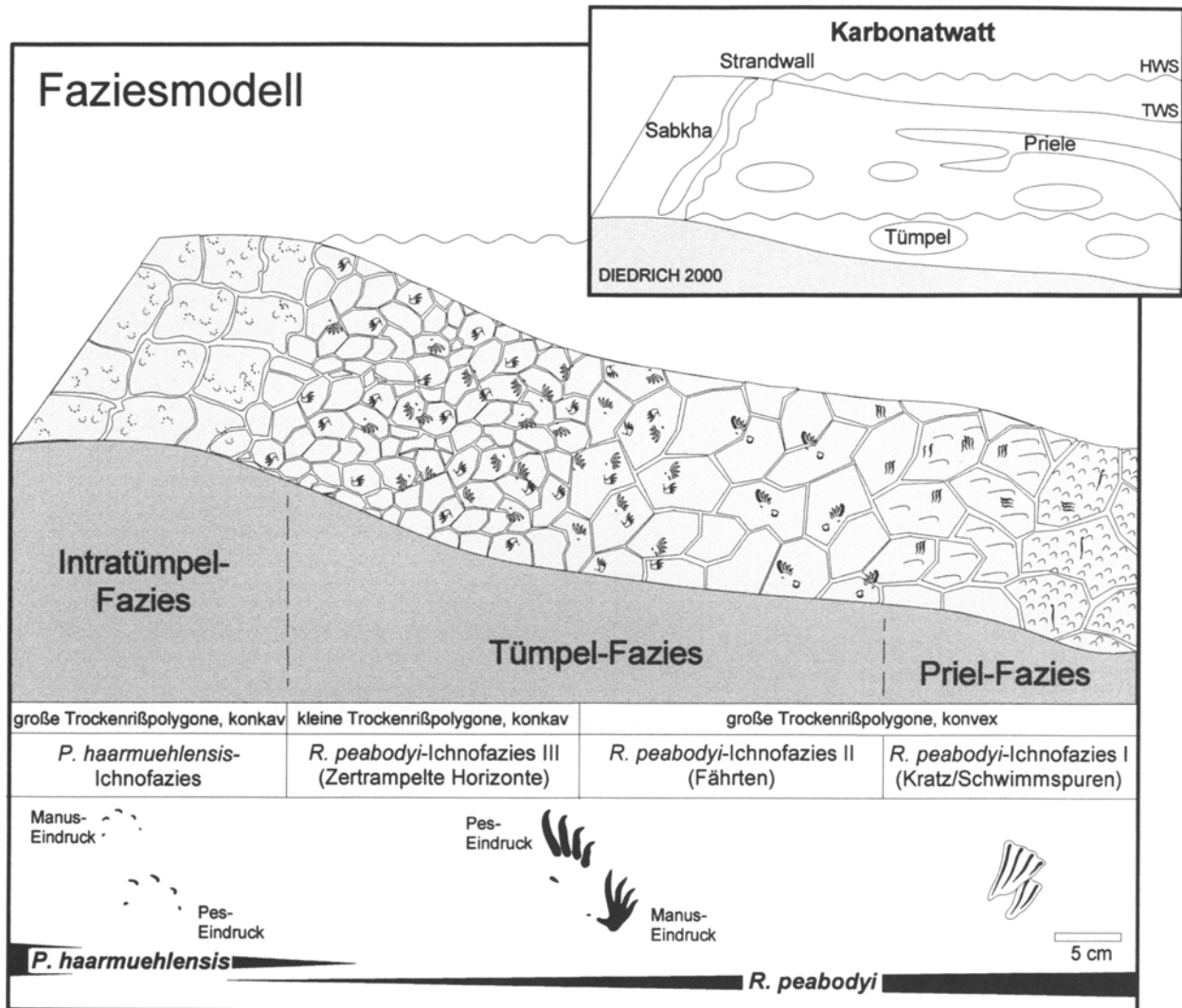


Abb. 15. Ichnofaziesmodell für die Fährtenfundstelle Borgholzhausen/Sportplatz (HWS = Hochwasserstand, TWS = Tiefwasserstand).

Fig. 15. Ichnofacies model for the track site Borgholzhausen/Sportplatz (HWS = high water mark, TWS = low water mark).

bedeckten zentralen Tümpelbereichen sind Fährten dagegen sehr gut erhaltungsfähig (Fährtenhorizont XIII, Abb. 13). Bei einer Wassertiefe von um die 20 cm konnten von schwimmenden Reptilien nur Kratzspuren auf großen Polygonen erzeugt werden (Fährtenhorizont XXVI, Abb. 11). Mit sinkendem Wasserstand in den Tümpeln kamen Schleifspuren oder Schwanzschleifspuren hinzu, die vermutlich durch die Schuppen der Ventralseite der Reptilien, möglicherweise auch von in den Resttümpeln gefangenen Fischen verursacht wurden. Die Fährten der Reptilien sind in diesem Bereich oft gut erhalten und tief abgedrückt, so dass sich auch Sedimentwülste um die Fährten (Abb. 5.D) ergeben können. Dieser Tümpel-Faziesraum wird durch die *Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofazies Untertyp II bis III charakterisiert. Bei einem völligen Trockenfallen der Resttümpel konnten auch Spuren von *P. haarmuehlensis* die von *R. peabodyi* überlagern.

Anscheinend wagten sich die kleinen, *P. haarmuehlensis*-erzeugenden Reptilien erst nach Trockenfallen in diese Bereiche.

—Rinnen-Fazies: In diesem Ablagerungsbereich befindet man sich an den tiefsten Stellen des Karbonatwattes (Abb. 15), die maximale Tiefen um 0,5 m erreicht haben dürften, worauf die Kratzspuren der Reptilien deuten. Die typischen Sedimentstrukturen in der Rinnen- oder Priel-Fazies sind zungenförmige Rippelmarken und im Anschnitt kleindimensionale Schrägschichtungen. Die Trockenrisse sind als sehr große Polygone ausgebildet. An Spuren sind meist nur Kratzspuren auf den Rippelmarken präsent. Seltenst findet man deutliche Manus- oder Pes-Eindrücke bzw. Kralleneindrücke des Typs *R. peabodyi* auf den Oszillationsrippeln. Dieser Ablagerungsraum wird durch die *Rhynchosauroides peabodyi*-Ichnofazies Untertyp I charakterisiert.

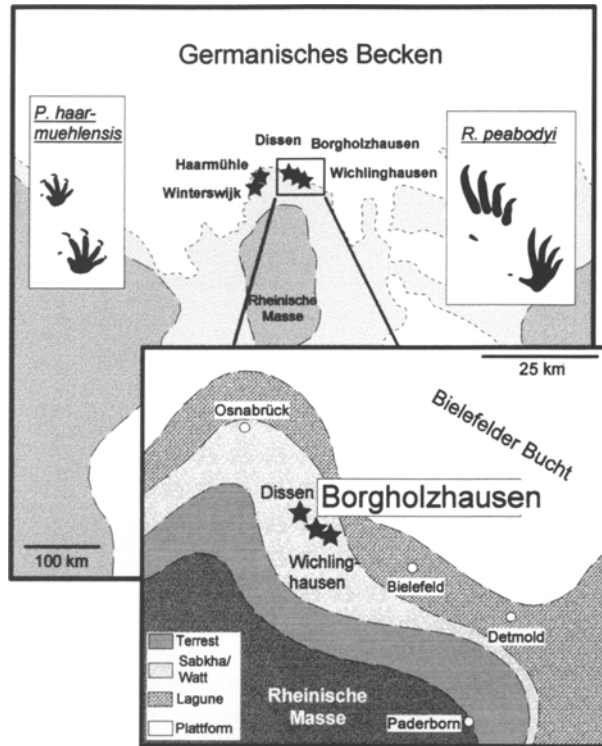


Abb. 16. Paläogeographische Verbreitung der Wirbeltierfährten *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA) und *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). Paläogeographie nach ZIEGLER (1990).

Fig. 16. Palaeogeographic distribution of the vertebrate tracks *Procolophonichnium haarmuehlensis* (HOLST, SMIT & VEENSTRA) and *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER). Palaeogeography after ZIEGLER (1990).

Biogeographie

Fährten der Ichnogattungen *Rhynchosauroides* und *Procolophonichnium* sind aus der gesamten Trias bekannt und weltweit von zahlreichen Fundstellen beschrieben (z.B. PEABODY 1948; BAIRD 1964; DEMATHIEU 1970, 1977, 1985; HAUBOLD 1971, 1984; BOYD & LOOPE 1984).

Die Ichnospecies *R. peabodyi* und *P. haarmuehlensis* haben eine eingeschränktere, aber immer noch weite Verbreitung entlang des Nordrandes der Rheinischen Masse (Abb. 16). Sie belegen damit eindeutig die Existenz der Rheinischen Masse als Insel während des Unteren Muschelkalkes, was manche Autoren wie LUKAS (1991) in Frage stellen.

Anhand dieser Spuren-Ichnofaziesfossilien wird es zukünftig möglich sein, weitere Spurenhorizonte (Laminite) zu lokalisieren und damit ein detaillierteres Bild über die Karbonatwattgürtel in Raum und Zeit zu erlangen. Die Megatracksites in den Karbonatwatten der europäischen Trias zeichnen sich mit den sich vermehrenden Fundstellen mehr und mehr ab, wobei Borgholzhausen einen bedeutenden Einblick in eine wichtige und über mehrere Hunderte von Kilometern spannende

Megatracksite in der Oolith-Zone geliefert hat, die sich von der Rheinischen Masse bis zur Vindelizischen Masse findet (vgl. DIEDRICH 2000, 2001).

Dank

Die finanzielle Unterstützung der Untersuchungen im Rahmen eines Werkvertrages und Aufnahme des Fährtenmaterials erfolgte durch das Museum Am Schölerberg, Natur und Umwelt Osnabrück, wofür ich mich insbesondere bei Herrn Dr. ERPENBECK und Frau A. LEIPNER bedanken möchte. Für die Erteilung des Forschungsauftrages danke ich der Unteren Denkmalbehörde der Stadt Borgholzhausen, insbesondere Herrn Bürgermeister C. KELLER. Eine Grabungsunterstützung mit schweren Baugeräten erfolgte freundlicherweise durch die Firma Schürmann. Auch den Grabungshelfern Frau S. DETERRE und Herrn L. SCHMITZ danke ich für ihren Einsatz. Herr F. BECKER und Herr Dr. J. NIEMEYER unterstützten den Autor juristisch. Herrn Priv.-Doz. Dr. P.M. SANDER (Institut für Paläontologie der Universität Bonn) danke ich für fachliche Diskussionen sowie die akribische und kritische Manuskriptüberarbeitung. Für letzteres schulde ich ebenfalls Herrn Prof. Dr. R. SCHROEDER (Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Frankfurt) Dank. Weiterhin bedanke ich mich bei Herrn Dr. J. FICHTER (Naturkundemuseum Kassel) für die Begutachtung des Manuskriptes. Herrn H. OOSTERINK bin ich für die Zusendung von Publikationen und Führung im Steinbruch in Winterswijk, außerdem für die Einsicht in das Winterswijker Fährten-Material sehr dankbar.

Literatur

- BAIRD, D. 1964. Dockum (Late Triassic) reptile footprints from New Mexico. – *Journal of Paleontology* **38** (1): 118-125.
- BAIRA, L.R. 1977. Desiccation features and the reconstruction of palaeosalinities. – *Journal of Sedimentary Petrology* **47**: 908-914.
- BELLAIRS, A. d'A. 1969. Les Reptiles. – 234 S., Paris, Montréal (Bordas).
- BOYD, D.W. & LOOPE, D.B. 1984. Probable vertebrate origin for certain solemarks in Triassic red beds of Wyoming. – *Journal of Paleontology* **58** (2): 467-476.
- BRAND, L.R. 1996. Variations in Salamander trackways resulting from substrate differences. – *Journal of Paleontology* **70** (6): 1004-1010.
- DEMATHIEU, G.R. 1970. Les empreintes de pas de vertébrés du Trias de la bordure Nord-Est du Massif Central. – *Cahiers de Paléontologie* **1970**: 1-211.
- DEMATHIEU, G.R. 1977. Des microvertébrés dans les Trias Moyen du Lyonnais et du Maconnais révélés par leurs empreintes; signification paléocéologique. – *Geobios* **10** (3): 351-367.
- DEMATHIEU, G.R. 1985. Trace fossil assemblages in Middle Triassic marginal marine deposits, eastern border of the Massif Central, France. – *Société d'Economie de Paléontologie et Mineralogie, Special Publications* **35**: 53-66.
- DEMATHIEU, G.R. 1988. New discoveries of ichnofossils from the Middle Triassic of Winterswijk (the Netherlands). – *Geologie en Mijnbouw* **67** (1): 3-17.
- DEMATHIEU, G.R. & HAUBOLD, H. 1972. Stratigraphische Aussagen der Tetrapodenfährten aus der terrestrischen Trias Europas. – *Geologie* **21** (7): 802-836.
- DEMATHIEU, G.R. & OOSTERINK, H.W. 1983. Die Wirbeltier-Ichnofauna aus dem Unteren Muschelkalk von Winterswijk (Die Reptilfährten aus der Mitteltrias der Niederlande). – *Staringia* **7**: 1-51.
- DIEDRICH, C. 1995. Zur Geologie, Paläontologie, Ur- und Frühgeschichte von Borgholzhausen. – *Diplomkartierung Uni-*

- versität Münster, Band I (Text): 107 S., Band II (Tabellen, Tafeln, Karten), Münster (unveröffentlicht).
- DIEDRICH, C. 1996. Die Saurierfährten-Probegrabung Boorgholzhausen/Sportplatz 1996. – 14 S., Borgholzhausen (unveröffentlicht).
- DIEDRICH, C. 1997. Erste Ausgrabungsergebnisse einer neuen Wirbeltierfährtenfundstelle aus der Oolith-Zone (Bithyn, Unterer Muschelkalk) von Borgholzhausen (Teutoburger Wald, NW-Deutschland). – *Terra Nostra* **97/7**: 42, 138.
- DIEDRICH, C. 1998a. Saurier und Saurierfährten in „Triassic Park“ von Borgholzhausen. – *Heimatjahrbuch Kreis Gütersloh* **1998**: 74-78.
- DIEDRICH, C. 1998b. Stratigraphische Untersuchungen der Ichnofaziestypen einer neuen Wirbeltierfährtenfundstelle aus dem Unteren Muschelkalk des Teutoburger Waldes, NW-Deutschland. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Monatshefte* **1998** (10): 626-640.
- DIEDRICH, C. 1998c. Saurierfund und Saurierfährten wandern aus. – *Paläontologie aktuell* **37**: 36-38.
- DIEDRICH, C. 1998d. Vertebrate track ichnofacies types of the Oolith-Zone (Bithyn, Lower Muschelkalk) in the middle Teutoburger Wald (NW Germany) and their stratigraphical, facial and paleogeographical significance. – *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie Teil I* **9/10** (1): 925-940.
- DIEDRICH, C. 2000a. New vertebrate track sites in the Lower Muschelkalk of the Germanic Basin. – In: SACHS, S. & WINDOLF, R., Hrsg., *First Symposium on European Dinosaurs*, 14-18 March **2000**: 8-9, Düsseldorf.
- DIEDRICH, C. 2000b. Neue Wirbeltierfährten aus dem Unteren Muschelkalk (Mitteltrias) des Osnabrücker Berglandes und Teutoburger Waldes (NW-Deutschland) und ihre stratigraphische und paläogeographische Bedeutung im Germanischen Becken. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen* **217** (3): 369-395.
- DIEDRICH, C. 2001. Wirbeltierfährten aus dem Unteren Muschelkalk (Mitteltrias) von Thüringen (SE-Deutschland). – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte* (in press).
- DIEDRICH, C. & OOSTERINK, H. 2000. Bergings- en Documentatietechniek van *Rhynchosauroides peabodyi* (FABER) Sauriersporen op de Grens Boven-Bontsandsteen/Onder-Muschelkalk van Winterswijk. – *Grondboor & Hamer* **54** (6): 125-130.
- FABER, F.J. 1958. Fossiele voetstappen in de Muschelkalk van Winterswijk. – *Geologie en Mijnbouw, Nieuw Serie* **20**: 317-321.
- FICHTER, J. 1997. Vorläufige Mitteilung über ein Vorkommen von Tetrapodenfährten im Mittleren Muschelkalk bei Lamerden, Nordhessen. – *Philippia* **8** (1): 61-72.
- FREY, R.W. & PEMBERTON, S.G. 1986. Vertebrate Lebensspuren in intertidal and supratidal environments, holocene Barrier Islands, Georgia. – *Senckenbergiana maritima* **18** (1/2): 45-95.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G. 1970. Sedimente und Sedimentgesteine. – 726 S., Stuttgart (Schweizbart).
- GINSBURG, R.N. & HARDIE, A.H. 1975. Tidal and storm deposits northwestern Andros Island, Bahamas. – In: GINSBURG, R.N., Hrsg., *Tidal deposits*: 202-208, Heidelberg (Springer).
- HAUBOLD, H. 1971. Ichnia Amphibiorum et Reptiliorum fossilium. – In: KUHN, O., Hrsg., *Handbuch der Paläoherpetologie* **18**: 1-124, Stuttgart (G. Fischer).
- HAUBOLD, H. 1984. Saurierfährten, 2. Aufl. – 231 S., Wittenberg (Neue Brehm Bücherei).
- HAUBOLD, H. 1996. Ichnotaxonomie und Klassifikation von Tetrapodenfährten aus dem Perm. – *Hallesches Jahrbuch für Geowissenschaften (B)* **18**: 23-88.
- HOLST, H.K.H.; SMIT, J. & VEENSTRA, E. 1970. Lacertoid footprints from the early Middle Triassic at Haarmühle, near Alstätte, W. Germany. – *Proceedings van het koninklijk Nederlandse Akademie Wetenschappen Sectie B* **73** (2): 157-165.
- HORN, M. 1976. Erläuterungen zur geologischen Karte von Hessen 1:25000, Bl. 4620 Arolsen. – 225 S., Wiesbaden (Hessisches Landesamt für Bodenforschung).
- KRUMBEIN, W.E.; PATERSON, D.M. & STAL, L.J. 1994. Biostabilization of Sediments. – 526 S., Oldenburg (BIS).
- LANGER, A. 1989. Lithostratigraphische, technologische und geochemische Untersuchungen im Muschelkalk des Osnabrücker Berglandes. – *Mitteilungen des Geologischen Institutes der Universität Hannover* **29**: 1-114.
- LOCKLEY, M.G. 1991. *Tracking Dinosaurs*. – 238 S., Cambridge (Cambridge University Press).
- LOCKLEY, M.G.; HUNT, A.P. & MEYER, C.A. 1994. Vertebrate tracks and the ichnofacies concept: implications for palaeoecology and palichnostratigraphy. – In: DONOVAN, S.K., Hrsg., *The palaeobiology of trace fossils*: 241-268, Baltimore (Johns Hopkins University Press).
- LUKAS, V. 1991. Die Terebratel-Bänke (Unterer Muschelkalk, Trias) in Hessen – ein Abbild kurzzeitiger Faziesänderungen im westlichen Germanischen Becken. – *Geologisches Jahrbuch Hessen* **119**: 119-175.
- MAIDWELL, F.T. 1911. Notes on footprints from the Keuper of Runcorn Hill. – *Proceedings of the Liverpool Geological Society* **11** (2): 140-152.
- MC ALLISTER, J.A. 1989. Dakota Formation tracks from Kansas: Implications for the recognition of tetrapod subaqueous traces. – In: GILETTE, D. & LOCKLEY, G., Hrsg., *Dinosaur Tracks and Traces*: 343-348, Cambridge (Cambridge University Press).
- NOPCSA, F. VON 1923. Die Familien der Reptilien. – *Fortschritte in Geologie und Paläontologie* **86**: 1-210.
- OOSTERINK, H.W. 1976. Fossiele voetstappen in de eerste Muschelkalkgroeve van Winterswijk. – *Grondboor en Hamer* **30** (5): 130-144.
- OOSTERINK, H.W. 1980. Fossiele voetstappen in de Winterswijker Muschelkalk. – *Mozaiek van Winterswijk*: 5-12. *Vereniging 'Het Museum' Winterswijk* **1**: 130-144.
- OOSTERINK, H.W. 1986. Winterswijk, Geologie Deel II. De Trias-priode (geologie, mineralen, en fossielen. – *Wetenschappelijke Mededelingen van het koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging* **178**: 1-120.
- OOSTERINK, H.W. 1988. Voetsporen van Reptilien en Amfibien uit de Winterswijkse Muschelkalk. – *Grondboor en Hamer* **42** (3/4): 69-78.
- PEABODY, F.S. 1948. Reptile and amphibian trackways from the Lower Triassic Moenkopi Formation of Arizona and Utah. – *University California Publications, Bulletin of the Department of Geological Science* **27** (8): 295-468.
- PEYER, B. 1931. Die Triasfauna der Tessiner Kalkalpen. XII. *Macrocnemus bassani* NOPCSA. – *Abhandlungen der Schweizerischen Paläontologischen Gesellschaft* **59**: 3-140.
- REGTEREN ALTENA, C.O. VAN 1958. Kritische Opmerkingen over *Chirotherium peabodyi* FABER. – *Geologie en Mijnbouw, Nieuw Serie* **20**: 447-448.
- REINECK, H.-E. 1972. Tidal flats. – In: RIGBY, J.K. & HAMBLIN, W.K., Hrsg., *Recognition of ancient sedimentary environments*. – *Society of Economic Paleontology and Mineralogy, Special Publications* **16**: 146-159.
- REINECK, H.-E. & SINGH, I.B. 1973. *Depositional Sedimentary Environments*. – 439 S., Heidelberg (Springer).
- ROSENFELD, U. & THIELE, I. 1992. Der untere Muschelkalk am Nordrand der Rheinischen Masse – Fazies und Mächtigkeiten. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte* **1992** (8): 487-512.
- SCHULZ, M.G. 1972. *Feinstratigraphie und Zyklengliederung des Unteren Muschelkalkes in Nord-Hessen*. – *Mitteilun-*

- gen des Geologisch-Paläontologischen Institutes der Universität Hamburg **41**: 133-170.
- SCHWARZ, H.U. 1975. Sedimentary structures and facies analysis of shallow marine carbonates (Lower Muschelkalk, Middle Triassic, SW-Germany). – *Contributions to Sedimentology* **3**: 1-100.
- THIELE, I. 1990. Der Untere Muschelkalk am Nordrand der Rheinischen Masse. – Dissertation Universität Münster: 112 S., Münster (unveröffentlicht).
- THULBORN, R.A. 1990. Dinosaur tracks. – 410 S., London (Chapman and Hall).
- THULBORN, R.A. & WADE, M. 1989. A footprint as a History of Movement. – In: GILLETTE, D. & LOCKLEY, G., Hrsg., *Dinosaur Tracks and Traces*: 343-348, Cambridge (Cambridge University Press).
- YOUNG, C.C. 1961. Note on the skin imprint of *Yangtsepus yipingensis* from Szechuan. – *Vertebrata Palasiatica* **1961**: 65-66.
- ZIEGLER, P.A. 1990. Geological Atlas of Western and Central Europe, 2. Aufl. – 239 S., Amsterdam (Shell IPM).

Eingang des Manuskriptes am 15. Dezember 2000;
Annahme durch die Schriftleitung am 20. August 2001.