

DIE SAURIERFÄHRTEN IM NATURDENKMAL MÜNCHEHAGEN

von
Rudolf FISCHER

Kurzfassung: Die etwa 15.000 m² große Sohlfläche eines aufgelassenen Steinbruchs in den Rehburger Bergen westlich Hannover, in dem quarzilitischen Sandsteine des Berriasiums abgebaut wurden, erschließt ca. 256 Trittsiegel von Sauropoden. Ein Teil davon läßt sich zu 8 Fährten gruppieren, darunter die von HENDRICKS 1981 als *Rotundichnus muenchehagensis* beschriebene. Eine weitere Fährte stammt von einem biped laufenden Saurier mit vogelartig gebautem Fuß. Die Saurier lebten in kleinen Gruppen im semiaquatischen, vegetationsreichen Milieu eines Flußmündungssystems, das gegen das offene Niedersächsische Becken durch Sandbarren abgeschlossen war.

Abstract: Nearly 256 footprints of sauropods are exposed on the floor of an abandoned quarry, situated west of Hannover, where quartzitic sandstones of Berriasian age were formerly exploited. A part of the traces can be grouped to 8 tracks, one of which was named *Rotundichnus muenchehagensis* by HENDRICKS 1981. Additionally, a track composed of bird-like footprints of a biped dinosaur is present. The dinosaurs lived within the semiaquatic, densely wooded estuary system, which was protected by sand bars against the open sea of the Lower Saxonian Basin.

Inhalt

1. Die Lokalität
 - Geographische Lage
 - Geologischer Rahmen
 - Entdeckung und Bearbeitung
 2. Die Fährtenfläche
 - Die Sauropodenfährten
 - Fährtengruppe 1
 - Fährte 2
 - Fährte 3
 - Fährte 4
 - Fährte 5
 - Fährte 6
 - „Fährte“ 7
 - Fährtengruppe 8
 - Isolierte Trittsiegel
 - Fragliche Sauropoden-Trittsiegel
 - Taphonomie der Sauropodenfährten
 - Die Dreizeher-Fährte
 3. Interpretation der Fährten
 - Sauropodenfährten
 - Dreizeherfährte
 4. Der Lebensraum der Münchehagener Saurier
 5. Saurierfährten der älteren Unterkreidezeit
 6. Die Bedeutung des Naturdenkmals Münchehagen
 7. Zusammenfassung
- Dank

1. DIE LOKALITÄT

Geographische Lage (Abb.1)

Die Dinosaurierfährten im Naturdenkmal „Saurierfährten Münchehagen“ sind auf der Sohlfläche eines seit 1965 aufgelassenen Steinbruches erschlossen, der heute im Gelände des Dinosaurier-Freilichtmuseums in Münchehagen, einem Ortsteil der Stadt Rehburg-Loccum, zugänglich ist. In der älteren Literatur wird diese Lokalität „Steinbruch der Firma Wesling an der Alten Poststraße“ genannt. Der Steinbruch ist in der Topographischen Karte 1:25.000, Blatt 3521 Rehburg (H 5812100 R 3513700) erfaßt.

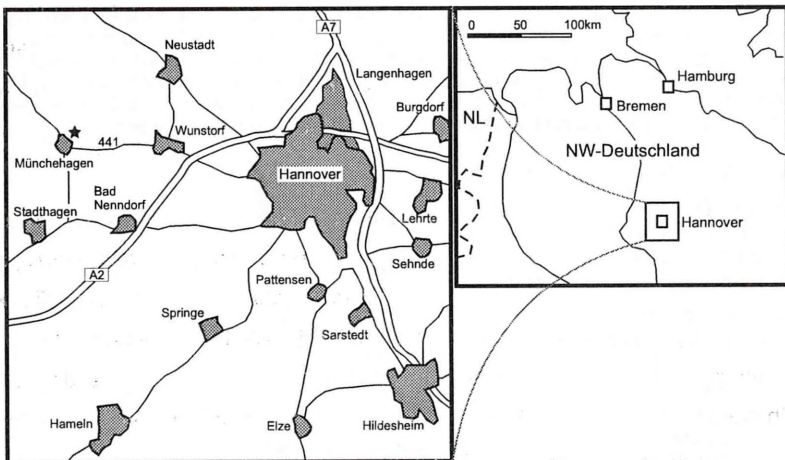


Abb.1: Geographische Lage des Naturdenkmals „Saurierfährten Münchehagen“

Fig.1: Geographic setting of the dinosaur track site Muenchehagen

Geologischer Rahmen

Das Naturdenkmal liegt auf der Südwestflanke des Rehburger Sattels (JORDAN 1979), einer durch Aufstiegsbewegungen von oberjurassischen Evaporiten (Münder Mergel-Salinar) verursachten NW-SO-streichenden Aufbeulung jurassischer und unterkretazischer Schichten (JORDAN 1979; MATTERN, MAYER & MONECKE 1994). Die Fährtenfläche fällt daher mit etwa 5° nach WSW ein (Abb.2).

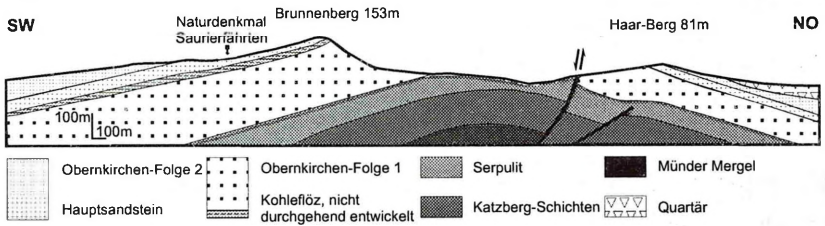


Abb.2: Geologischer Schnitt durch die Rehburger Berge (nach JORDAN 1979)

Fig.2: Geological cross section of the Rehburger Hills (after JORDAN 1979)

Vor allem auf der N-Seite des Rehburger Sattels wurden schon im Mittelalter quarzitische Sandsteine gebrochen, die lokal als Bausteine benutzt wurden (z.B. Kloster Loccum; Kirche von Bergkirchen). Heute ist nur noch ein einziger Steinbruch, westlich neben dem Areal des Naturdenkmals gelegen, im Abbau.

Die Sandsteine sind sehr reine Quarzite. Sie bauen zusammen mit Sandstein-/Tonstein-Wechselfolgen und dunklen, feinsandigen Tonsteinen die „Bückeberg-Formation“ (früher „nordwestdeutscher Wealden“) auf, die im Bereich von Mönchshagen ca. 500 m mächtig wird. Im namensgebenden Bückeberg ist die Mächtigkeit erheblich höher, die Sandsteine werden dort auch heute noch abgebaut. Die Formation gliedert sich in einen unteren, stärker sandigen Abschnitt, die „Obernkirchen-Folge“ und einen oberen, vorwiegend dunkle Tonsteine führenden, die „Osterwald-Folge“ (Abb.3).

Der untere Teil der Obernkirchen-Folge, die „Obernkirchen-Folge 1“, enthält neben meist geringmächtigen Sandsteinbänken vor allem feinsandige Tonsteine und mehrmals darin eingelagerte Kohleflöze. Eines davon, das sogenannte Hauptflöz, wurde im Gebiet der Rehburger Berge abgebaut (JORDAN 1979; DROSTE 1987). Am südöstlichen Fuß der Rehburger Berge förderte der Schacht Auhagen im Verbund mit dem Schacht Düdinghausen noch bis 1960 Kohle. In Mönchshagen erlosch der Bergbau bereits 1924. Das Hauptflöz ist hier nur geringmächtig (25-30 cm), die Kohle durch eingelagerte Sandsteinlinsen stark verunreinigt.

NW-deutsche Lithostratigraphie		Zonen und Subzonen		Alter		Gesteine			
Bückeberg-Formation	Osterwald-Folge		W6	<i>Cypripdea recta</i>	<i>P. trapezoides</i>	Valanginium	ca. 20m Tonstein		
			W5		<i>P. rotundata</i>		dunkler Kalkstein		
	Obernkirchen-Folge	Obernkirchen-Folge 2	W4		<i>C. parallela</i>	<i>P. compacta</i>	Bemiasium	Kreide	bis 300m Tonstein Sandstein Kohleflözchen
			<i>C. rectidorsata</i>						
			<i>C. bispinosa</i>						
			W2		<i>C. altissima</i>				
	W1	<i>Cypridea fasciculata</i>							
	Münder-Formation	Serp.-F.		OM6	<i>C. posticalis</i> <i>C. binodosa</i>			ca. 150m Kohleflözchen Sandstein Blättertonstein dunkler Tonstein	
		Katzberg-Folge		OM5	<i>C. punctata</i> <i>C. inversa</i>	<i>F. ansata</i>	ca. 50m dunkler Kalkstein schwarzer Tonstein schwarze Mergel		
<i>M. dictyota</i>							ca. 100m grünlicher Mergelstein		
OM4								<i>M. maculata</i>	Tith. Jura

Abb.3: Stratigraphie der nordwestdeutschen Unterkreide (nach ELSTNER & MUTTERLOSE 1996)

Fig.3: Stratigraphic chart of the Lower Cretaceous of Northwestern Germany (after ELSTNER & MUTTERLOSE 1996)

Der obere Teil der Obernkirchen-Folge, die „Obernkirchen-Folge 2“, ist durch die Einschaltung von oft auch mächtigeren Sandsteinbänken in Tonsteine gekennzeichnet. Auch er enthält 2 geringmächtige Kohleflözchen, von denen das oberste, kaum 20 cm mächtige „Flöz 1“ nur vom Schacht Münchehagen II aus abgebaut wurde. Die Basis der Obernkirchen-Folge 2 wird von dickeren Sandsteinbänken gebildet, die lokal als „Haupt-

sandstein" stratigraphisch gesondert ausgeschieden werden. Die unterste Bank, 15-25 cm mächtig, bildet die Sohlfläche des Naturdenkmals.

Ein Entwässerungsgraben, der entlang der N-Wand der Schutzhalle angelegt wurde, erschloß das Liegende des Hauptsandsteins bis in 140 cm Tiefe (Abb.4). Die Sohlbank wird von etwa 1 m dunkler Tonsteine mit eingelagerten Sandstein-Linsen und unterlagert; darunter folgt stark sandig verunreinigte Kohle des Flözes 3 (Hauptflöz).

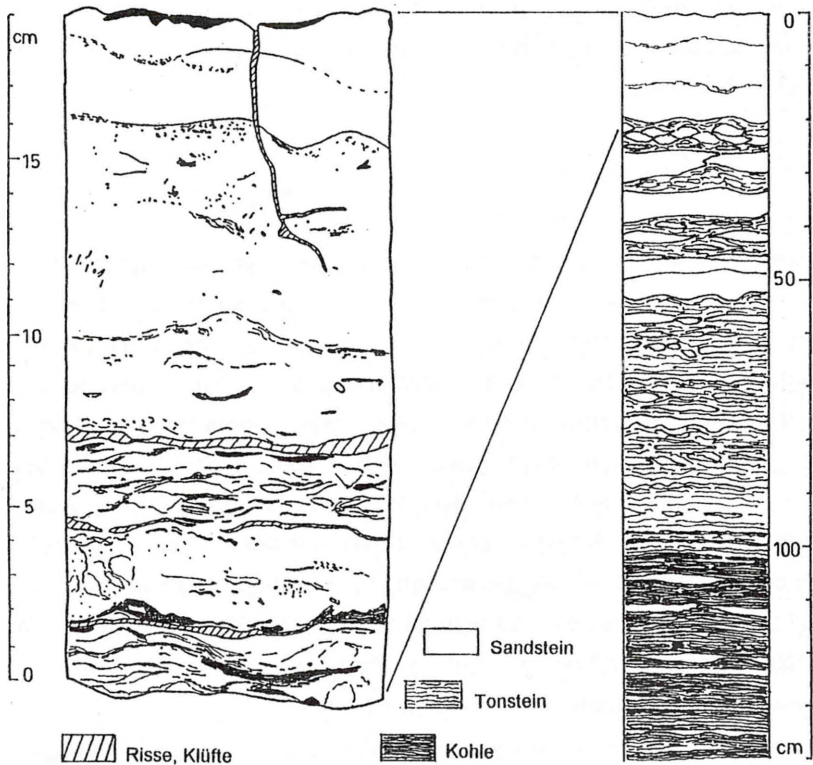


Abb.4: Die Sohlbank des Naturdenkmals (links: Skizze eines Bohrkerns; aus TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1988) und ihr Liegendes (rechts: Gesteins-Abfolge im Entwässerungsgraben nördlich der Schutzhalle).

Fig.4: Lithology of the sandstone bed (base of the "Hauptsandstein"), which forms the floor of the track site (left: TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1988), and the underlying beds formerly exposed withing a drainage cut north of the Track Site Museum.

Über der Sohlbank folgen zwei weitere Bänke von 1,5 m, bzw 1,2 m Mächtigkeit, die bevorzugt abgebaut wurden. Sie werden von einer Abfolge dünnbankiger (5-10 cm) Sandsteine überlagert.

Biostratigraphisch läßt sich der Hauptsandstein auf Grund von Ostracodenfaunen, die von Cyprideen dominiert werden, der *Cypridea alta formosa*-Subzone des höheren Berriasium zuordnen (ELSTNER & MUTTERLOSE, 1996; MUTTERLOSE 1997). In der auf WOLBURG 1957 zurückgehenden Gliederung des nordwestdeutschen „Wealden“ entspricht diese Alterseinstufung einem Teil des „Wealden3“.

Entdeckung und Bearbeitung

Aus den unterkreidezeitlichen Sandsteinen NW-Deutschlands, der sogenannten „Wealden-Fazies“, sind Saurierspuren seit dem vergangenen Jahrhundert bekannt: aus den Rehburger Bergen beschrieb bereits STRUCKMANN (1880) dreizehige Fußabdrücke als „vogelähnliche Thierfährten“, belegte sie mit dem Namen *Ornithoidichnites* und deutete sie als Fährten von *Iguanodon*. STECHOW erweiterte 1909 diese Beobachtungen. Solche wegen ihrer auffälligen Form leicht erkennbaren Spuren, wurden bei Arbeiten in den Steinbrüchen der Rehburger Bergen immer wieder gefunden und z.T. als Kuriosa, über die auch die lokale Presse gelegentlich berichtete (LUSTFELD 1980), gesammelt. In der Regel handelte es sich dabei um einzelne, als positives Hyporelief erhaltene Trittsiegel; wesentlich seltener wurden als negative Epireliefs erhaltene Fußabdrücke gesammelt und aufbewahrt (frdl.mündl. Mitt.R.Hulke, Nienburg).

Um eine neutrale, von der Entstehung der Spuren unabhängige Beschreibung möglich zu machen, hat sich eine auf SEILACHER 1964 und MARTINSSON 1965 zurückgehende Klassifizierung von Spuren nach ihrer Erhaltung auf Flächen der überliefernden Gesteinsbank durchgesetzt. Auf Bank-Oberselten sichtbare Spuren sind Epireliefs, die Unterseite zeigt Hyporeliefs. Beide sind negativ, wenn sich die Spur konkav in die Bank eintieft, positiv, wenn sich die Spur über die Bankfläche heraushebt. Ein laufendes Tier erzeugt auf einem weichen Substrat ein negatives Epirelief. Wird diese Hohlform durch Sand verfüllt und überlagert, zeigt die Sandsteinbank, die sich daraus bildet, an ihrer Basis ein positives Hyporelief. Diese Erklärung ist notwendig, weil die Begriffe in der Literatur nicht einheitlich verwendet werden. MORATALLA et al. 1988 nennen die Ausfüllung eines Trittsiegels „epirrelieve“ und das Trittsiegel selbst „hiporrelieve“, verwenden die beiden Begriffe also im entgegengesetzten Sinne. LEHMANN 1978

beschreibt in Form von negativen Hyporeliefs erhaltene *Iguanodon*-Fährten aus dem Obernkirchener Sandstein als „Fährten-Negative“, auch als „Negativ-Abdrücke“.

Die besondere Bedeutung der hier beschriebenen Lokalität wurde erst sehr viel später erkannt, da in ihr die wesentlich schwerer als Spuren zu deutenden Trittsiegel von elefantenfüßigen Sauriern die Hauptrolle spielen. Im Steinbruch „An der Alten Poststraße“ (Abbau eingestellt seit 1972; MEYER 1987) lag die Sohlfläche mit den Saurierfährten seit dem Jahre 1965 frei; die darauf sichtbaren rundlich-ovalen Vertiefungen fielen Arbeitern und Münchehägener Bürgern auf, deren Interesse durch den damaligen Schulleiter, Herrn R.Hulke, geweckt war. Sie veranlaßten, daß die Steinbruchsohle im Sommer 1980 durch die Feuerwehr des Ortes Münchehagen zum Teil abgespritzt und gesäubert (LUSTFELD 1980) wurde. Dabei zeigte sich, daß sich die genannten Eindrücke zu Fährtenmustern zusammenfügten, die in vergleichbarer Vollständigkeit einmalig für Deutschland waren. HULKE verfaßte einen kurzen Bericht über die Fährte, in dem er auch Sauropoden als Verursacher nennt und ihren Lebensraum schildert, der zwar im Oktober 1980 zum Druck eingereicht war, jedoch erst Ende November erschien (DIE HARKE vom 29.11.1980). Auch der damalige Kreisheimatpfleger, J.Böhnig, schaltete sich ein, der Fach-Behörden und -Institutionen auf den Fund aufmerksam machte und vor allem durch Pressearbeit das Interesse der Öffentlichkeit weckte (DIE HARKE vom 24.11.1980; Bild vom 24.11; HANNOVERSCHE ALLGEMEINE ZEITUNG vom 1.12.1980; FRANKFURTER ALLGEMEINE ZEITUNG vom 31.12.1980). Dadurch sah sich der Landkreis Nienburg veranlaßt, die ca 1,5 ha große Sohlfläche des ehemaligen Steinbruchareals durch eine Verordnung der Unteren Naturschutzbehörde vor Veränderungen und Eingriffen zu sichern (DIE HARKE vom 3.12.1980) und später anzukaufen.

Von einer besonders gut erhaltenen Fährte fertigte Herr Dr.Alfred Hendricks vom Westfälischen Landesmuseum eine Latexabformung über eine Strecke von mehr als 10 m. Sie diente zur Herstellung eines Abgusses aus Beton, der zusammen mit einem lebensgroßen Modell von *Apatosaurus*, im Freigelände des Museums in Münster zu sehen ist

(BECKMANN 1986). HENDRICKS beschrieb auch 1981 erstmals eine der Fährten, belegte sie mit dem Namen *Rotundichnus muenchehagensis* und verwies auf *Apatosaurus* als den möglichen Erzeuger der Spur.

Auf Empfehlung des NLFb (Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover), wo sich besonders Herr Prof.Dr.E.-R.Look für die Bearbeitung und Erhaltung der Spuren einsetzte, veranlaßte der Landkreis Nienburg 1983 den Bau einer ca. 30 m langen Halle zum Schutz der von HENDRICKS beschriebenen Fährte und verfügte mehrfach Einsätze zur Reinigung weiterer Teile der Areale, das er auch umzäunen ließ. Seit dem 5.2.1987 genießt die Lokalität „Saurierfährten Münchehagen“ den besonderen rechtlichen Schutz eines „Naturdenkmales“. Zu dieser Zeit erschien auch ein kleiner Führer (LOOK 1986), der die geologischen und paläontologischen Befunde der wachsenden Zahl interessierter Besucher anschaulich vorstellte. 1988 wurde er in erweiterter Form (LOOK, KULLE-BATTERMANN & TÖNEBÖHN 1988) neu aufgelegt.

Im Auftrag des Landkreises Nienburg erstellten die Geologen S. Kulle-Battermann und R. Töneböhn in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover eine Dokumentation der paläontologischen Befunde im Naturdenkmal (TÖNEBÖHN & BATTERMANN, 1989), deren Ergebnisse in kondensierter Fassung von FISCHER, KULLE-BATTERMANN & TÖNEBÖHN 1988 publiziert wurden. Die beiden letzteren Autoren machten auch Vorschläge zur Erhaltung und zur musealen Gestaltung der Lokalität (TÖNEBÖHN & BATTERMANN, 1988a,b). Diese Arbeiten blieben, wie auch eine Diplomarbeit der Univ. Münster (KLEIN-SCHMIDT 1986), unveröffentlicht.

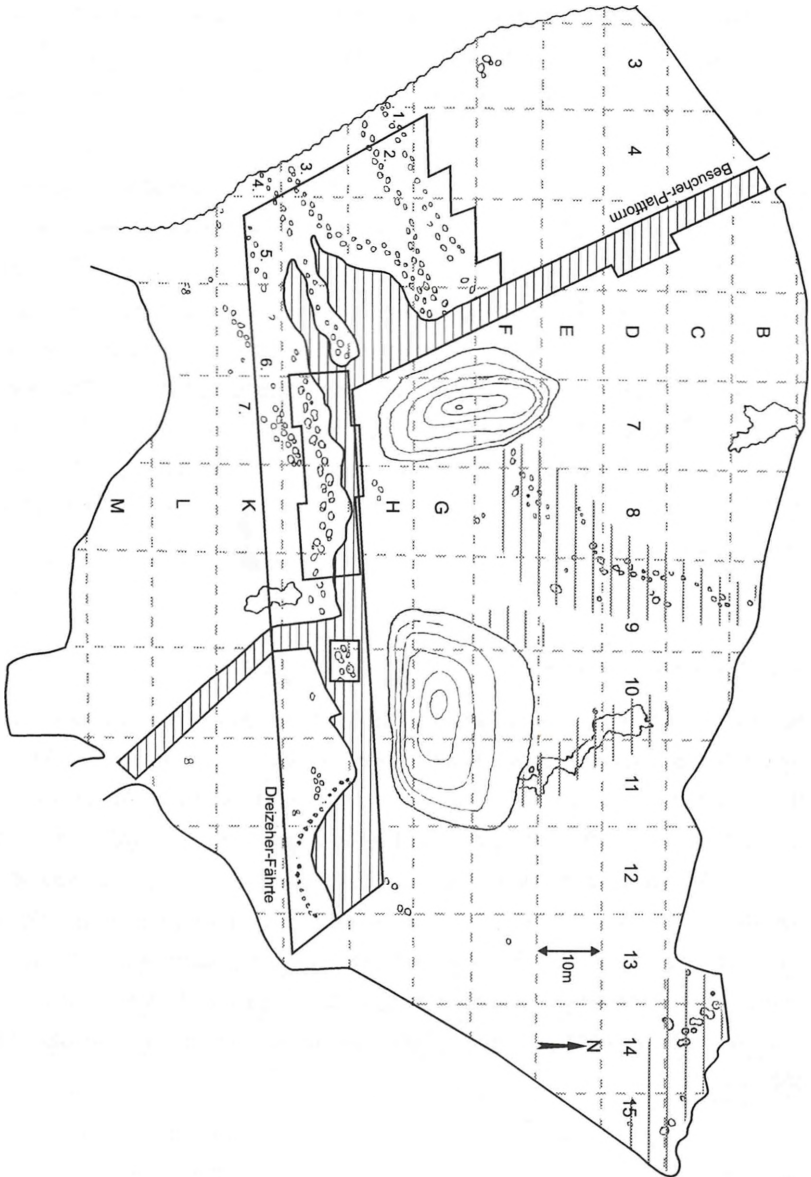
Die geologischen Untersuchungen zeigten mehr und mehr die Notwendigkeit, den Schutz der Fährten gegen Verwitterung und Zerstörungen aller Art zu erweitern. So entschloß sich die Niedersächsische Landesregierung im Jahre 1990 Mittel zur Errichtung einer großräumigen Schutzhalle zur Verfügung zu stellen, die als Entwurf des „Ateliers Lohrer“, Stuttgart, im Jahr 1992 errichtet und im Frühjahr 1993 der Öffentlichkeit

übergeben wurde. Seit 1992 ist das Naturdenkmal räumlich in das „Dinosaurier-Freilichtmuseum Münchehagen“ einbezogen. Ein von FISCHER & THIES 1993 erstellter Führer schildert die naturgetreuen Rekonstruktionen von Dinosauriern und dokumentiert die Fülle der Saurierspuren des Naturdenkmals, wie sie 1989 von TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN erfaßt und durch neu entdeckte Trittsiegel erweitert werden konnte.

Wegen seiner Bedeutung ist das Naturdenkmal Münchehagen immer wieder Ziel von Exkursionen, zu denen teilweise auch Exkursionsführer mit detaillierteren Beschreibungen publiziert wurden (FISCHER 1987; WILDE, THIES & RIEGEL 1995; MUTTERLOSE 1997). Im Rahmen der Schilderung der Erdgeschichte Deutschlands (PROBST 1986 mit einer farbigen Rekonstruktion des Lebensraumes), der Geologie Niedersachsens (FISCHER in BOENIGK 1990) und seiner Naturdenkmale (FRIEDRICH 1982, 1987) wird die Saurierfährten-Lokalität ebenso kurz erwähnt, wie in Monographien über die Dinosaurier in Deutschland (PROBST & WINDOLF 1993) oder über Dinosaurierspuren (HAUBOLD in LOCKLEY 1993).

2. DIE FÄHRTENFLÄCHE

Auf der ca 15 000 m² großen Sohlfläche des Naturdenkmals sind 256 rundlich ovale Trittsiegel von quadrupeden Sauropoden überliefert. Ein Teil davon schließt sich zu Fährten zusammen, deren wichtige Abschnitte von der Schutzhalle überdacht werden. Weitere Gruppen von Trittsiegeln, die nicht zu Fährten oder nur zur kurzen Fährtenabschnitten gruppierbar sind, liegen im Freigelände von einer Sandschicht gegen Verwitterungsschäden geschützt; sie sind derzeit nicht zugänglich. Eine einzelne Fährte aus 19 überlieferten Trittsiegeln stammt von einem biped laufenden Saurier mit vogelartigem, dreizehigem Fuß. Auch sie findet sich im Schutz der Halle (Abb.5).



Die einzelnen Trittsiegel sind mit einer Kennnummer versehen, die auf die Kartierung des Spureninventars durch KULLE-BATTERMANN & TÖNEBÖHN 1989 (Ergänzungen durch den Verf. 1992) zurückgeht (s. Abb.5). Das Steinbruchareal ist in Rasterfelder von 10 (in N/S-Richtung) x 14 m (in O/W-Richtung) eingeteilt, deren Spurenhalt im Maßstab 1:25 aufgenommen ist. Jedes Feld ist durch eine Zahl (O/W-Richtung) und einen Buchstaben (N/S-Richtung) gekennzeichnet; die darin vorkommenden Trittsiegel sind durchlaufend nummeriert. Die gesamte Dokumentation ist im Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Hannover aufbewahrt.

Die Sauropodenfährten

Die Besonderheit der Lokalität Münchenhagen liegt darin, daß sich eine große Zahl von Trittsiegeln zu Fährten gruppieren lassen. Der Fährtenverlauf läßt sich selbst dann verfolgen, wenn die einzelnen Trittsiegel ganz unterschiedlich erhalten sind. Deshalb ging man auch lange Zeit wie selbstverständlich davon aus, daß die Sohlfläche des Naturdenkmals, auf der die Fährten heute sichtbar sind, auch der Schreitfläche der Tiere entspreche (HENDRICKS 1981; Rekonstruktion in Münster:BECKMANN 1986; LOOK 1986).

Diese Annahme führte auch dazu, daß die länglichen Fragmente der Rinnenböden, die auf der Sohlfläche zu sehen sind, zunächst als „Suhlstellen“ von Sauriern galten (s.a. KLEINSCHMIDT 1986). Einige kleinere, nur fleckenhaft erhaltene Rinnenbodenreste aus an Pflanzenhäcksel reichen Sandsteinlagen wurden als Kotballen angesehen. Leider können diese publikumswirksamen Deutungen nicht aufrechterhalten werden.

Da die Bedeutung der Lokalität Münchenhagen im Vorkommen von Fährten liegt, werden im Folgenden vorwiegend Fährten und Fährtenabschnitte be-

Gegenüberliegende Seite:

Abb.5: Übersichtsplan der Saurierfährten-Lokalität Münchenhagen. Die Sohlfläche des früheren Steinbruchs „An der Alten Poststraße“ ist in ein Rasternetz unterteilt, das der Fährtdokumentation dient. Eine Besucherplattform führt in die Schutzhalle, die sich zwischen einem kleinen Teich im W und der Steinbruchwand im O erstreckt. Eingezeichnet sind die Fährten, der Umriß der neuen und der alten Schutzhalle, und der Verlauf eines Holzsteges, von dem aus die Spuren zu besichtigen sind. Ein graues Raster kennzeichnet die derzeit durch Sand überdeckten Fährten außerhalb der Schutzhalle.

Fig.5: Overview map of the Dinosaur track site Muenchenhagen. The map shows the distribution of the footprints, the outlines of the actual and former protection building. Grey, parallel lines indicate areas, where footprints are covered by sand for their protection. The footprints are documented by help of numbers and letters of the grid net.

schrieben, einzelne Trittsiegel jedoch nur dann, wenn sie wichtige Beobachtungen zulassen. Alle Fährten sind nur bruchstückhaft überliefert und meist nur über wenige 10-er Meter hinweg zu verfolgen. Keine einzige Fährte quert die gesamte erschlossene Fläche.

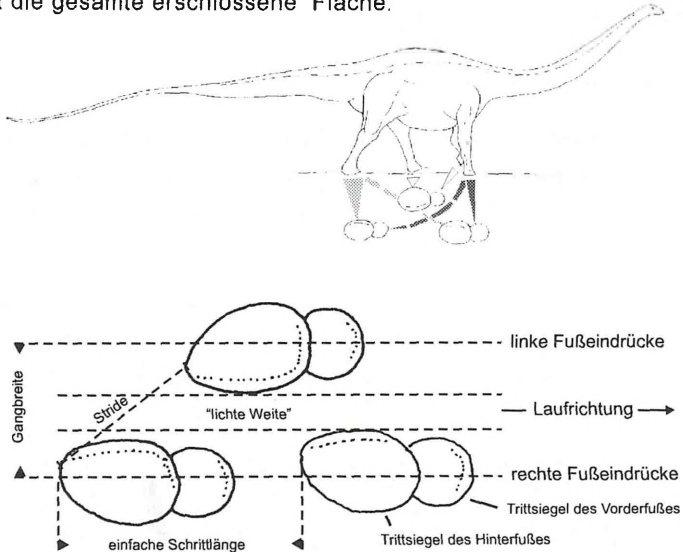


Abb.6: Teil einer Sauropodenfährte mit Angabe der Meßwerte und der Schrittfolge von Vorder- und Hinterfußindrücken.

Fig.6: Measurements of a sauropod track and sequence of imprints of hind and fore limbs.

Die Fährten werden aus zwei parallelen Reihen, wechselständig angeordneter Trittsiegel aufgebaut. Zu ihrer Charakterisierung werden gemessen (Abb.6):

- die Größe der Trittsiegel (in cm),
- die Gangbreite, der Abstand zwischen den beiden parallelen Trittreihen (von der Mitte der einen, bis zur Mitte der anderen Reihe gemessen),
- die „lichte Gangweite“ (engl. gauge: FARROW 1992) bezeichnet den Abstand der beiden parallelen Trittreihen des Hinterfußes, der von Innenrand zu Innenrand gemessen wird,

- die einfache Schrittlänge (engl. „pace“), der Abstand zwischen den aufeinanderfolgenden Trittsiegeln eines Extremitätenpaares),
- die einseitige Schrittlänge (engl. „stride“), der Abstand zwischen den aufeinanderfolgenden Trittsiegeln ein und desselben Fusses (von Hinterrand zu Hinterrand gemessen).

Die Trittsiegel haben ovalen bis länglich-ovalen Umriss. Gut erhaltene Abdrücke der (Hinter-) Füße sind nicht einfach schüsselförmig eingetieft, sondern zeigen auf der Innenseite einen steileren, auf der Außenseite einen flacheren Hang. Als „Innenseite“ werden die einander zugewandten Ränder der beiden Trittsiegelreihen bezeichnet, gegenüber liegt der „Außenrand“. Der Innenrand gut erhaltener Trittsiegel ist in der Regel gestreckt und gerade, der Außenrand gebogen. In der Längserstreckung kann man ein breit

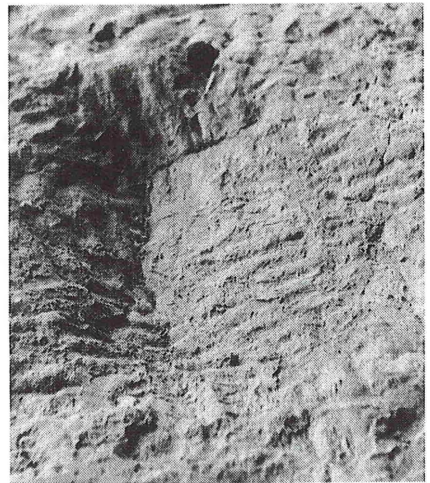
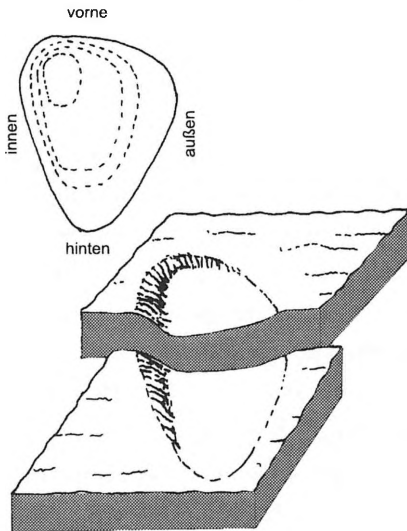


Abb.7: Skizze und Foto eines gut erhaltenen Abdruckes des rechten Hinterfusses eines Sauropoden. Sein Umriss ist dreieckig, die Innenkante ist steil; nach außen geht der Abdruck flach in die Schichtfläche über. Sein tiefster Abschnitt liegt weit vorne auf der Innenseite. Der Fersenabdruck ist schmal.

Fig.7: Sketch and photo of a well preserved imprint of a right sauropod hind limb. The outline is nearly trigonal, the inner margin is steep, the outer one passes continuously to the bed surface.

gerundetes und ein spitz zulaufendes Ende unterscheiden (Abb.7). Das spitze Ende liegt nahe des Innenrandes eines Trittsiegels. Es wird als Abdruck der Ferse gedeutet und damit als „Hinterrand“ beschrieben; gegenüber liegt dementsprechend der Vorderrand. Mit Hilfe dieser Merkmale kann man nicht nur Trittsiegel des rechten und linken Fusses unterscheiden, sondern auch die Bewegungsrichtung der Tiere feststellen.

Fährtengruppe 1

Betritt man dem Rundweg durch den Saurierpark folgend die Schutzhalle, so sieht man unmittelbar parallel zur gestaffelten Fensterfront der Halle zwei undeutliche Fährtenfragmente verlaufen (Abb.8). Sie setzen sich westlich der Halle mit einigen wenigen Trittsiegeln fort. Aus einem Trittsiegel (G5/6) ist die Plombenfüllung entfernt; im östlichen Abschnitt sind sie teilweise noch verplombt oder es ist nur eine Innenspur angeschnitten (G5/1,2,4,5,12,13), so daß die Fährte nur undeutlich zu verfolgen ist.

Im östlichen Abschnitt (im unteren Hallenteil) sieht man 7 Trittsiegel, die wechselweise rechts und links angeordnet sind. Sie sind im Umriß länglich-oval, im Durchschnitt 90 cm lang und 85 cm breit. Beide Reihen liegen etwa 80 cm auseinander. Einige Trittsiegel (H4/7,9; G4/1) zeigen einen steilen Hang entlang des Innenrandes; nach außen hin steigt die Sohle des Trittsiegels nur flach an. Zwei der Eindrücke sind gerundet dreiecksförmig (G4/6,7) und lassen erkennen, daß die Fährte von einem von W nach O laufenden Tier angelegt wurde. Die einseitige Schrittlänge, die Stride, beträgt im Mittel 2,10 m, die einfache Schrittlänge, die Pace, die nur zweimal meßbar ist, 1,7 m. Auch die Gangbreite (0,75 m) und die „lichte Weite“ (0,25 m) stützen sich, wie aus Abb.8 ersichtlich, nur auf wenige Trittsiegelpaare.

Im östlichen, dem Laufsteg der Halle näheren, Abschnitt weichen die beiden Trittsiegelreihen auseinander, so daß ihr Abstand schließlich ca 1,50 m beträgt. Beim vorsichtigen Entplomben zeigte sich, daß hier zwei

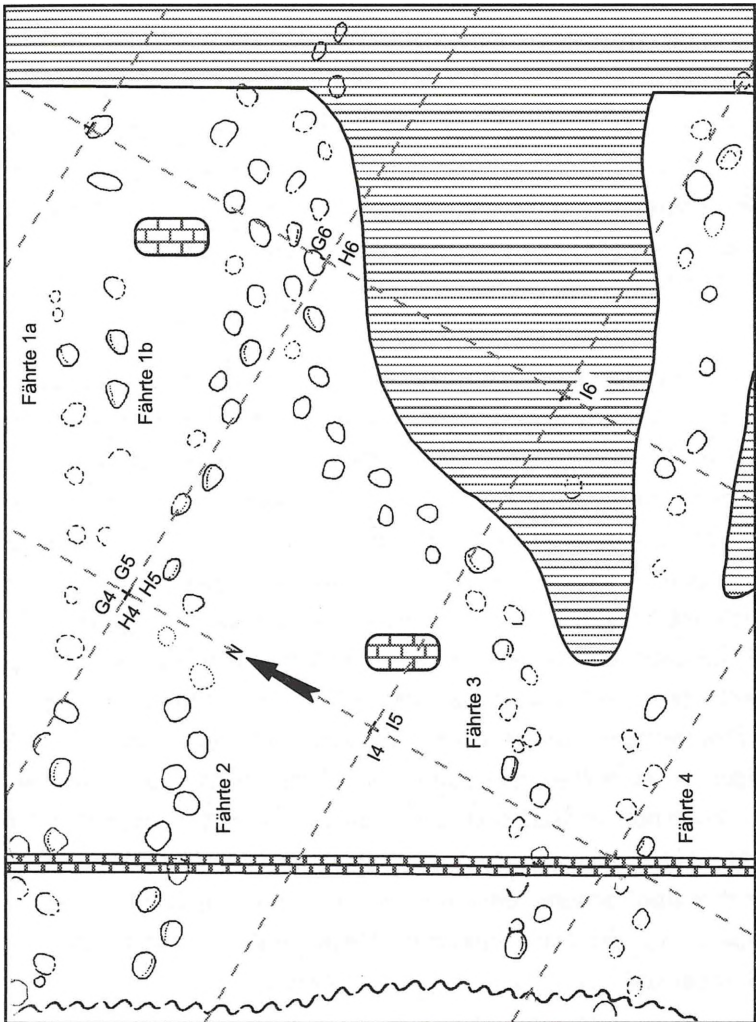


Abb.8: Plan der Fährten 1a, 1b, 2, 3 und 4. Die Wellenlinie markiert das Ufer des kleinen Teiches westlich der Halle. Die W-Wand der Halle und die Fundamente zweier Stützpfeiler sind mit Mauerinsignatur gekennzeichnet. Parallele Signatur: Besuchersteg.

Fig.8: Map of the tracks 1a, 1b, 2, 3, and 4. The undulating line marks the margin of the little pool, west of the protection hall. The western wall of the hall and the bases of two pillars are indicated by mural signature. Parallel signature: visitors footbridge.

Reihen von rechten Füßen nebeneinanderliegen (Abb.8) (G4/6,7, bzw. G4/8). Die Fährtengruppe 1 setzt sich also aus Relikten der Fährten von 2 Individuen zusammen.

In den Reihen der Trittsiegel der Fährtengruppe 1 sind neben größeren (Maße s.o.) auch kleinere, rundliche, von ca 40-50 cm Durchmesser erhalten. Wegen der schlechten Erhaltung lassen sie sich jedoch nicht eindeutig als Abdrücke eines kleineren Fußpaares deuten.

Fährte 2

Parallel zur Fährtengruppe 1 verläuft eine weitere Fährte, die sich aus 27 Trittsiegeln zusammensetzt (Abb.8), von denen die Mehrzahl noch ganz oder zumindest teilweise verplombt ist. Westlich der Schutzhalle - zwischen ihr und dem kleinen Teich außerhalb - gehören drei Trittsiegel zu dieser Fährte. Nach Osten zu endet die Fährte im Bereich des Laufstegs in der Halle. Insgesamt ist also ein 35 m langes Fährtenstück erhalten. Die einzelnen, meist länglich-ovalen Eindrücke sind etwa gleich groß (90 cm lang, 85 cm breit) und wiederum in zwei parallelen Reihen angeordnet. Die Gangbreite (s. Abb.6) beträgt 0,80 bis 0,95 m, die „lichte Weite“ liegt nur selten über Null. Deutlicher als in Fährtengruppe 1 ist zu erkennen, daß die Trittsiegel einer Reihe gegenüber denen der zweiten um jeweils eine halbe Schrittlänge versetzt sind. Die Pace beträgt im Durchschnitt 1,5 m, die Stride 2,35 m. Mehrere Trittsiegel zeigen einen steilen Innenrand und eine nach außen flachere Sohle. Aus dem eher dreiecksförmig umrissenen Trittsiegeln H5/4 und G5/18 kann man ablesen, daß auch die Fährte 2 von W nach O verläuft.

Fährte 3

Die Fährte 3 ist in Einzelheiten gut zu beobachten, da der Rand des Laufstegs in der Schutzhalle parallel zu ihr verläuft und deshalb weit nach unten (W) schwingt (Abb.8). Das 42 m lange Fährtenstück setzt sich aus 36 Trittsiegeln zusammen; nur 4 davon liegen außerhalb der Halle, westlich

anschließend zwischen ihr und dem kleinen Teich. Die wechselnd aufeinanderfolgenden Abdrücke von rechtem und linkem Fuß sind trotz ihrer recht unterschiedlichen Erhaltung fast lückenlos zu verfolgen. Die Größe der Abdrücke, ihre Form, die Gangbreite (im Mittel 1m), die lichte Weite (0-10 cm), die Stride (2,2 m) und die Pace (1,47 m) entsprechen den Werten der Fährten 1 und 2. Auch diese Fährte wurde von W nach O angelegt (dreiecksförmige Trittsiegel H 5/15, G 5/25, G 6/3, I5/2).

Am westlichen Außenrand der Halle ist zusätzlich zu den großen Fußabdrücken ein kleinerer (70x68 cm) Abdruck mit rundlichem Umriß erhalten. Er ordnet sich in die Reihe linker Fußabdrücke ein. Sein Hinterrand wird von dem hinter ihm liegenden, größeren Trittsiegel überschritten. Beide Trittsiegel sind verplombt und zeigen deshalb keine weiteren Merkmale. Eine ähnliche Kombination beobachtet man bei den Trittsiegeln I 5/2 und 2a: ein kleineres liegt unmittelbar vor einem größeren. Sie gehören ebenfalls in die Reihe linker Fußabdrücke der Fährte 3.

Eine Besonderheit der Fährte 3 ist ihr Verlauf. Ihr westlicher Abschnitt von ca 15 m Länge verläuft parallel zu den Fährten 1 und 2 (wie auch zu den Fährten 5-7, die später beschrieben werden). Ihr mittlerer Abschnitt biegt nach NO auf die Fährte 2 hin ab, um schließlich, ohne die Nachbarfährte zu berühren, wieder in die OW-Richtung umzuschwenken. Der östliche Abschnitt von ca 20 m Länge verläuft dadurch wieder parallel zu den übrigen Fährten.

Fährte 4

Der Laufsteg in der Schutzhalle ist an seiner tiefsten, westlichen Spitze breit eingeschnitten. Dadurch bleibt die Fährte 4 dem Betrachter zugänglich (Abb.8). Es ist von ihr ein Abschnitt von 35 m Länge erhalten geblieben. Sie setzt sich aus 22 Trittsiegeln zusammen; fünf davon liegen westlich vor der Halle, zwei sind vom Laufsteg überdeckt, so daß schließlich nur 15, zum Teil sehr schlecht erhaltene Fußabdrücke in der Halle zu sehen sind. Sie fügen sich zu zwei parallelen Reihen, gleichartiger, wechselseitig

aufeinander folgender Abdrücke zusammen. Die untersten (westlichsten) Abdrücke sind mit Resten der Verplombung erhalten. Einige der Trittsiegel heben sich lediglich durch Rippelmuster von der wulstig-knolligen Oberfläche der Sohlbank ab.

Fährte 5

Diese Fährte von einer Gesamtlänge von über 85 m setzt sich aus zwei großen Abschnitten zusammen. Ein Abschnitt mit schlecht erhaltenen Trittsiegeln liegt in der SW-Ecke der Schutzhalle, ein zweiter, nach dem sich die Längserstreckung der Halle orientiert, besteht aus den am besten erhaltenen Fußabdrücken überhaupt. Dieser Teil war es auch, den HENDRICKS 1981 als die „Saurierfährte von Münchehagen“ beschrieb und mit dem Namen *Rotundichnus muenchehagensis* belegte. Beim Bau der heutigen Schutzhalle wurden in der Verlängerung der Hendricks'schen Fährte weitere Trittsiegel entdeckt (Abb.9).

Die Aufschlußsituation, die HENDRICKS vorfand, suggerierte die Überlieferung einer einzigen, aus drei unzusammenhängenden Teilstücken bestehenden Fährte (HENDRICKS 1981, Abb.1: Teilstücke A,B,C), von denen der Autor nur ein Stück (Teil A) beschrieb. Über diesem Fährtenteil wurde die erste Schutzhalle (Umriß in Abb. 9A) errichtet. Es ist nicht zu ermitteln, welchen der heute bekannten Fährten die Teilstücke B und C entsprechen.

Von der unteren, südwestlichen Hallenecke her zieht sich auf die Spitze des Laufsteiges zu eine Gruppe von 10 nicht besonders gut erhaltenen Trittsiegeln (Abb.9C). Sie sind in zwei Reihen wechselseitig angeordnet und zeigen keine weiteren besonderen Merkmale. Weiter hallenaufwärts ist die Fährte zunächst unterbrochen, doch dann folgt der am besten erhaltene Abschnitt (Abb.9B). Wie in den übrigen Fährten, besteht er aus zwei parallelen Reihen von wechselweise angeordneten Trittsiegeln, die aber nicht alle gleichgroß sind. Sowohl in der rechten als auch in der linken Spurenreihe sieht man die großen, meist länglich-ovalen (Länge zwischen 75 und 120 cm, Breite zwischen 65 und 100 cm) Trittsiegel mit kleineren,

stets rundlichen Abdrücken (von 45-75 cm Durchmesser) verknüpft; sie dokumentieren unterschiedlich große Hand- und Fußpaare von quadriped laufenden Sauriern. Die großen, jeweils hintern den kleineren liegenden und sie randlich übertretenden Abdrücke werden als Trittsiegel der Hinterbeine, die kleineren als solche der Vorderbeine (=Handabdrücke) gedeutet. Die Siegel der Hinterbeine übertreten unterschiedlich weit die Abdrücke der Vorderbeine. In einigen Beispielen (I 7/5,6; I 7/7,8) berühren sich die Ränder von Vorder- und Hinterfußabdruck, andere zeigen ein Übertreten des Hinterfusses auf etwa 1/4 bis 1/3 des Vorderfuß-Abdrucks (I 8/3,4; I 8/11,12). HENDRICKS (1981:11, „Spur Nr.2“=I 8/14; S.13, „Spur Nr.7“=I 8/8) beschrieb auch das fast vollständige Übertreten des Vorderfußabdruckes durch den Hinterfuß, doch lassen die seither erfolgten Veränderungen der Spuren diese Beobachtung nicht mehr zu.

Der Boden dieser Vorderfußindrücke ist eben, ihr Vorderrand ist steil eingetieft, der Hinterabschnitt, falls zugänglich, geht kontinuierlich in die Schichtfläche über. Dagegen ist der Boden der Hinterfußabdrücke nach innen geneigt. Die Gangbreite beträgt zwischen 0,9 bis 1,5 m. Die lichte Weite liegt im westlichen Fährtenabschnitt um Null; im Sektor I 8 ist auch eine lichte Weite von 10-15 cm zu messen. Die Pace mißt im Mittel 1,50 m, die Stride 2,55 m.

Vor dem Vorderrand von zwei Abdrücken des linken Vorderfusses (I 8/9 und I 8/12) ist die Oberfläche der Sohlbank wulstig aufgewölbt (=HENDRICKS 1981, Spur 4 und 6). Der länglich-ovale Abdruck eines linken Hinterfusses (H 10/2) ist ganz von einem ca 2 cm hohen Wulst umgeben; der davor liegende Abdruck eines Vorderfusses zeigt keinen Wulst.

Die Erhaltung der einzelnen Trittsiegel ist recht unterschiedlich. Ursprünglich waren sie noch weitgehend mit Plombenmaterial verfüllt (vgl. Beschreibung bei HENDRICKS 1981), das jedoch bei Reinigungsarbeiten und auch durch Verwitterung teilweise entfernt wurde. Diese graduellen Unterschiede in der Erhaltung bedingen eine gewisse Variabilität der Meßwerte. Andererseits waren die Abmessungen der Abdrücke, selbst ein und dessel-

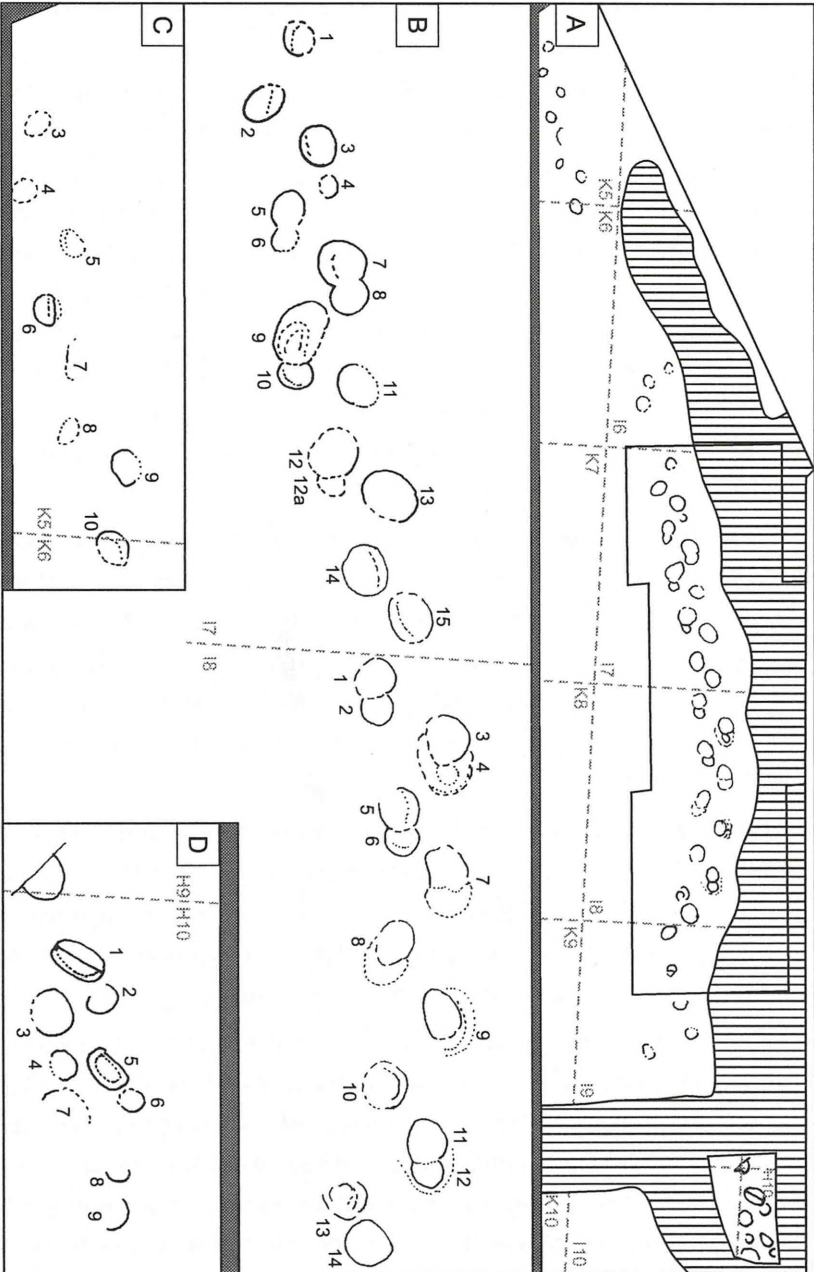


Abb.9: Die Sauropodenfährte 5. A: Übersichtsplan mit Umriß der alten Schutzhalle und dem Besucher-Laufsteg (Raster). Die untere graue Begrenzung ist die Südwand der Schutzhalle. B: Der besterhaltene Teil der Fährte 5, Holotypus von *Rotundichnus muenchehagensis* HENDRICKS 1981. 9 C: Westlichster Abschnitt der Fährte 5. Graues Band: Hallen-Südwand. D: Östlichster Abschnitt der Fährte 5. In Trittsiegel H10/1 ist die Plombenfüllung in Längsrichtung aufgeschnitten und zur Hälfte entfernt. Graues Band: Hallen-Nordwand.

Fig.9: The sauropod track 5. A: Overview with indication of the outline of the former protection hall and of the visitors footbridge. The lower limit of fig. A ist the southern wall of the protection hall. B. Best preserved part of track 5. It is the type of *Rotundichnus muenchagensis* HENDRICKS 1981. C: Southern part of track 5. Grey band: Southern wall of the hall. D: Eastern segment of track 5. The sedimentary infill of imprint H10/1 is longitudinally cut and partially removed. Grey band: Northern wall of the hall.

selben Fusses, wie auch die weiteren Abmessungen einer Fährte, auch ursprünglich nicht immer gleich groß, sondern in Abhängigkeit von der Konsistenz des Substrates, das durch die Sortierung und Packung der Sandkörner und das Porenvolumen bestimmt wird, recht variabel. Weiterhin könnten die Morphologie des Gewässerbodens und kleinsträumige Unterschiede in der Wasserbewegung auf die Überlieferung der Abmessungen von Trittsiegeln und Fährte Einfluß gehabt haben.

Fährte 6

Diese Fährte ist über eine Gesamterstreckung von 30 m überliefert; sie setzt sich aus zwei Teilstücken zusammen (Abb.5). Ein Teilstück, im Freigelände südwestlich der Halle erschlossen, setzt sich aus 7 mäßig erhaltenen Trittsiegeln von Hinterfüßen zusammen. Sie sind in zwei nahe beieinanderliegenden parallelen Reihen wechselseitig angeordnet und länglich-oval (10x60 cm) im Umriß. Die Gangbreite ist mit 85 cm sehr gering, die lichte Weite sehr schmal. Das zweite Teilstück ist in der Halle erschlossen, zwischen ihrer südlichen Fensterfront und der Fährte 5. Es zeigt 13 Trittsiegel: 5 Abdrücke des linken, und 5 wechselseitig gegenüberliegende Abdrücke des rechten Hinterfußes. Dazu kommen 2 linke (I 7/20,23) und 1 rechter (I 7/25) Vorderfußabdruck. Alle Abdrücke sind mit Plombenschichten mehr oder weniger ausgefüllt. Sie dokumentieren den Erhaltungszustand der Fährten vor einer konservatorischen Behandlung.

Die östliche Fortsetzung dieser Fährte könnte eventuell durch die Trittsiegelgruppe gebildet werden, die im östlichen Hallenteil nahe der Dreizeher-Fährte liegt (I 11/9-13). Es ist eine Gruppe von 3 linken Hinterfußabdrücken und einem rechten, dem ein undeutlicher Vorderfußabdruck vorgelagert ist (I 11/10). Sie stimmen in der Größe und der Gangbreite mit der Fährte 6 überein und liegen auch in ihrer gedachten Fortsetzung. Ein isolierter Fußabdruck (I 10/1) könnte zwischen den Fährtenstücken vermitteln.

„Fährte“ 7 (s. Abb. 5)

Drei isolierte Gruppen von Trittsiegeln, die in der gleichen Richtung aufeinanderfolgen und parallel zu den anderen Fährten angeordnet sind, sind vermutlich Teilstücke einer längeren Fährte. Südwestlich der Halle ist ein Paar von Hinterfußabdrücken (I 6/1,2) in sehr mäßiger Erhaltung zu sehen und in der Halle, zwischen Fährte 6 und der Fensterfront, weitere zwei Paare. Zwischen beiden liegt vermittelnd ein einzelner (?Hinter-)Fußabdruck (K 6/10).

Fährtengruppe 8 (s. Abb. 5)

Ein Gruppe von 42 unterschiedlich gut erhaltenen Trittsiegeln mit länglich-ovalem, rundlichem und seltener auch dreiecksförmigem Umriß und von ganz unterschiedlicher Größe ist in einem schmalen Streifen, der sich in NW/SW-Richtung im Freigelände nördlich der Halle erstreckt, überliefert. Sie sind derzeit nicht zugänglich.

Etwa die Hälfte der Trittsiegel, ausschließlich Abdrücke der Hinterfüße, läßt sich zu Fährtenstücken zusammenfügen, die über 10, bzw. 15 m Länge verfolgbar sind. Die übrigen Eindrücke, mit einer einzigen Ausnahme (D 9/9) von Hinterfüßen stammend, erscheinen ungeordnet. Keiner der Abdrücke übertritt einen anderen. Soweit ihre Erhaltung eine Aussage dazu zuläßt, sind alle Trittsiegel der Führtengruppe 8 von Tieren angelegt, die sich in derselben Richtung, von SW nach NO, bewegten.

Die Fährtengruppe 8 ist unter Umständen als Fortsetzung der Fährten 1 bis 3 zu interpretieren; ohne eine besser dokumentierte Abfolge der Trittsiegel, die unter dem westlichen Abraumphügel verborgen sein könnten, ist dies jedoch nicht zu beweisen.

Isolierte Trittsiegel

Auf der Sohlfläche sind eine ganze Reihe von isolierten Einmündungen zu erkennen, die nur dann, wenn sie etwa eine Plombenfüllung oder den typischen Umriß zeigen, als Sauriertrittsiegel in den Übersichtsplan eingezeichnet sind. Sie können nicht mit den kompletteren Fährten 1-7 und auch nicht mit der Fährtengruppe 8 verknüpft werden.

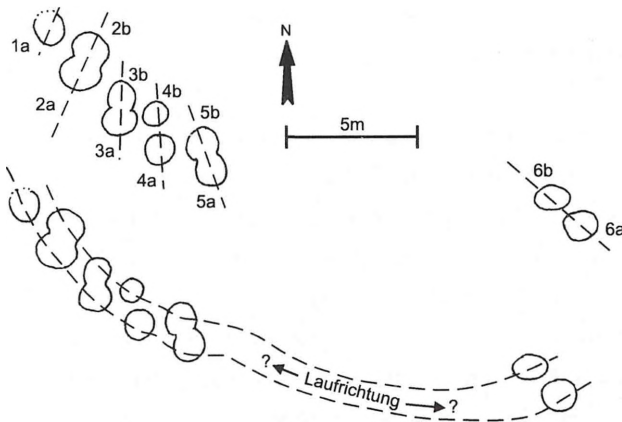


Abb.10: Paarig angeordnete krater-ähnliche Vertiefungen (unter Sandabdeckung nahe des NO-Randes des Steinbruchsareals gelegen). **Oben:** Darstellung aus TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1989, die vor allem die Verlagerung der Längsachse der paarigen Krater beachteten. **Unten:** Betont man die wechselseitige Anordnung der Krater in zwei parallelen Reihen, so kann man sie als randlich ineinander verfließende Trittsiegel einer Fährte deuten.

Fig.10: Pairs of crater-like depressions (situated near the ne' border of the track-site area and actually covered by a sand layer for protection). **Above:** Sketch by TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1989, who mentioned especially the regular displacement of the axis through the pairy structures. **Below:** Emphasizing the alternating grouping of the craters along two parallel rows, they may be interpreted as marginally confluent imprints of a sauropod track.

Fragliche Sauropoden-Trittsiegel

TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1989 machten erstmals auf „krater- bis schüsselförmige Vertiefungen“ aufmerksam, die am NO-Rand des Naturdenkmals erschlossen waren und heute mit einer Sandschutzschicht bedeckt sind (Abb.10). Die Krater haben 1,20 bis 1,50 cm Durchmesser und sind 20 bis 30 cm tief in die Oberfläche der Sohlbank eingesenkt. Die Kratersohle ist mit Rippelmarken bedeckt, die sich auch außerhalb auf einer Schichtfläche zeigen, die wenige cm unterhalb der wulstig-knolligen Oberfläche der Sohlbank liegt. Die Krater sind paarweise angeordnet, liegen entweder isoliert nebeneinander (Nr. 4 und 6 der Abb.11) oder sind zu einer größeren, länglich gestreckten, im Umriß taillierten Einheit verschmolzen (Nrn.2,4,5). Der Grat zwischen den beiden Teilkratern liegt immer tiefer als das Niveau der Sohlbank-Oberfläche.

Die Geometrie dieser Eindrücke läßt vermuten, daß es sich dabei ebenfalls um Spuren von Sauriern handelt. Es bieten sich zwei Erklärungen an, die beide davon ausgehen, daß die Kraterstrukturen Trittsiegel von quadrupeden Sauriern sind, die auch die anderen Fährten erzeugten. Einerseits könnte es sich um Relikte von Innenspuren einer Fährte handeln: mit dieser Deutung stimmen der fugenlose Übergang des Kraterhanges in die Sohlbank-Oberfläche, der diffuse Umriß der Krater und ihre recht unterschiedliche Durchmessergröße überein. Zum anderen könnten es Relikte von tief in das instabile Substrat der Sohlbank selbst eingetretenen Fußabdrücken sein, deren Hang nach innen abrutschte, so daß der Umriß der Trittsiegel sich vergrößerte, und benachbarte Trittsiegel verschmolzen. Das über dem Gewässerboden und die darin eingetieften Krater stehende Wasser erzeugte die Rippelmarken auf der Kratersohle und dem umgebenden Sediment. In beiden Fällen wären die Eindrücke nicht gleichzeitig mit den übrigen Fährten entstanden, sondern erst später.

Taphonomie der Sauropodenfährten

Spuren, Fährten, werden selten in dem Zustand überliefert, der sich auf dem Boden unmittelbar hinter den darüber wandernden Tieren zeigt. Die unterschiedlichsten Vorgänge verändern die Spur, zum Teil sofort, zum Teil aber noch sehr viel später. Nur mit Hilfe der Kenntnis dieser Vorgänge kann man den heutigen Zustand von Fährten interpretieren und auf den ursprünglichen rückschließen.

Aufbau der Sohlbank

Die Sohlbank wird aus einem 15 bis 25 cm mächtigen, feinkörnigen Quarzsandstein gebildet, der in sich plattig bis linsenförmig geschichtet ist (Abb.4). Die Arbeit SCHWENNICKE in diesem Heft schildert eingehend die Verhältnisse. Die bankinternen Schichtflächen zeigen an ihrer Oberseite Rippelmarken und weisen ein reiches Inventar von Lebensspuren auf (s. SCHWENNICKE). Die Sohlbank-Oberfläche dagegen ist knollig-wulstig. Wie man im Steinbruch nördlich des Naturdenkmals, wo der Hauptsandstein noch abgebaut wird, beobachten kann, ist diese Oberflächenmorphologie sedimentär angelegt (und nicht erst durch Verwitterung und Zerstörung durch Steinbruch-Maschinen entstanden). Sie geht auf Bioturbation zurück und zeugt von einem intensiv durchwühlten Substrat eines ehemaligen Gewässers.

Auf der Sohlbank-Oberfläche sind auch Relikte von mäandrierenden, prielähnlichen Wasser-Abflussrinnen und Teilen ihrer Sedimentfüllung erhalten (s. Abb. 5 und Arb. SCHWENNICKE). Sie schneiden in die Sohlbank ein, sind also jünger. Ihre Füllsedimente sind nicht bioturbat.

Die Steinbruchsohle schneidet stellenweise in die Sohlbank ein und erschließt dann die gerippten Oberflächen von Sandsteinlagen, aus denen sie sich aufbaut.

Bezug der Fährten zur Sohlbank

Auf der Steinbruchsohle finden sich die Trittsiegel unabhängig davon verteilt, ob die Oberfläche der Sohlbank oder bankinterne Schichtflächen angeschnitten sind. Sie sind alle als Einmuldungen (negative Epireliefs) erhalten. Im einzelnen sind jedoch große und charakteristische Unterschiede zu sehen:

1. diffuse Eintiefungen in die wulstig-knollig ausgebildete Oberfläche, die sich als Trittsiegel nur deshalb ansprechen lassen, weil sie die Dimensionen zweifelsfreier Spuren aufweisen und sich in das Muster von Fährten einordnen lassen. Sie heben sich von dieser Schichtfläche dadurch ab, daß in ihnen Rippelmuster erhalten sind (= Fläche 5a bei SCHWENNICKE:63. Z.B. Teile der Fährte 1, oder der östl. Abschnitt von Fährte 4;) (Abb.12, Foto).

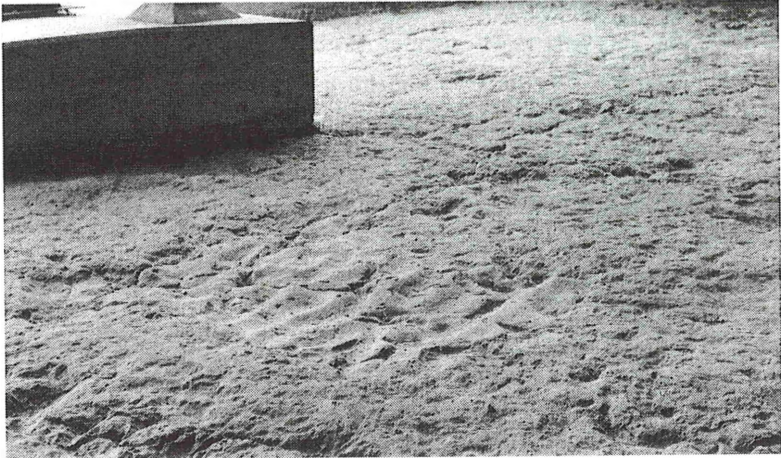


Abb.12: Rundliche Einsenkung in die Sohlbank mit Rippelmarken, die außerhalb fehlen. (Spur G5/5).

Fig.12: Oval depressions on the top of the basal sandstone bed, showing ripple marks, not present on the surrounding area (track G5/5).

2. Die meisten Trittsiegel sind „verplombt“. Sie sind durch mehrere, an Zahl unterschiedliche, zwiebelschalenartig aufeinanderfolgende Sandsteinlagen gefüllt, die von Zentrum der Spur nach außen hin dünner werden und manchmal ganz auskeilen. Die jüngsten, obersten Plombenlagen greifen

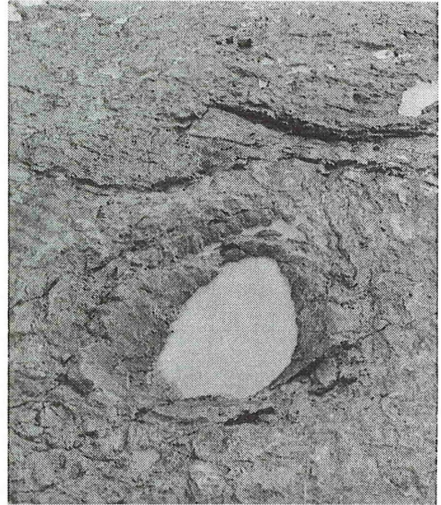
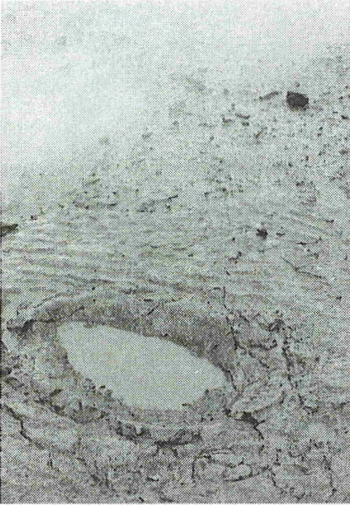


Abb.13: Mit Plombenschichten verfülltes Trittsiegel (Spur H10/6; linker Hinterfuß).

Fig.13: A footprint, sealed with lenticular sandstone-layers, separated by thin claystone laminae (track H10/6; left hind leg).



Abb.14: Rippelmarken, die am Rand eines Trittsiegels abgelenkt werden und auch auf der Schichtfläche einer Plombenlage entwickelt sind (Spur H10/3).

Fig.14: The direction of ripplemarks, which are developed on the surface of a sealing layer and of the surrounding surface, are deflected along the margin of the footprint (track H10/3).

auch über den Rand der Spur auf die Schichtfläche hinaus. Die Plombenlagen sind durch dünne Tonhäutchen gegeneinander abgegrenzt (Abb.13). Dadurch lassen sie sich auch [wie z..B. anlässlich der Reinigung der Steinbruchsohle mit Hochdruckschläuchen der Feuerwehr geschehen (S.7)] aus den Trittsiegeln lösen. Komplett verplombt überlieferte Trittsiegel sind auf der Steinbruchsohle durch Risse zu erkennen, die parallel zum Umriß der Trittsiegel laufen.

Die Oberfläche jeder Plombenschicht ist geripgelt; die Dimensionen der Rippelein sind im Trittsiegel und außerhalb gleich. Sie sind, wie auch die Lebensspuren in den Plombenschichten, nicht zerdrückt. Gelegentlich sind auch Unterschiede in der Richtung und im Kammverlauf von Rippelein zu sehen, die in der Mulde des Trittsiegels, seinem Hang und auf der umliegenden Schichtfläche angelegt sind (Abb.14). Die Eintiefung der Spur hat also die Oszillationsschwingung des über dem Grund stehenden Wassers beeinflusst; die Rippeleinmarken, wie auch die Plombenschichten können erst nach der Anlage des Trittsiegels entstanden sein. In einem Trittsiegel (H 10/2) wurde die noch erhaltene Plombenfüllung entlang der Längsachse aufgetrennt und zur Hälfte entfernt, so daß der Profilschnitt der Füllung studierbar ist. Der Rand des Trittsiegels wird zur Basis hin schärfer, der Umriß deutlicher; seine Abmessungen werden geringfügig kleiner (Abb.15).

3. Bei wenigen Trittsiegeln wurde die Plombenfüllung bis zur Spurbasis präparativ entfernt (Abb.16; z.B.J11/12; G5/6, G5/20, H10/81). Nur in diesen wenigen Fällen ist die Fläche, auf der die Saurier gelaufen sind, erschlossen. Der Boden dieser Trittsiegel zeigt keine Rippelein und ist mit einer Lage aus Tonmineralen und Pflanzenhäcksel bedeckt (K7/5), die bis zu 5 mm dick sein kann. Abdrücke von Fußballen, Zehen oder Krallen sind auch in diesen Trittsiegeln nicht erhalten.

4. Bei Präparationsarbeiten wurde versehentlich die Basis eines der Trittsiegel (I7/xx) durchstoßen. Es zeigt sich, daß der Sandstein im Liegenden des Trittsiegels diffus entschichtet ist („Dinoturbation“; s.LOCKLEY 1993). Eine Auswirkung davon ist, daß sich aus dem Trittsiegel unterhalb



Abb.15: Zur Hälfte entplombtes Trittsiegel (Spur H10/2).

Fig. 15: Partially removed filling of a footprint (track H10/2).

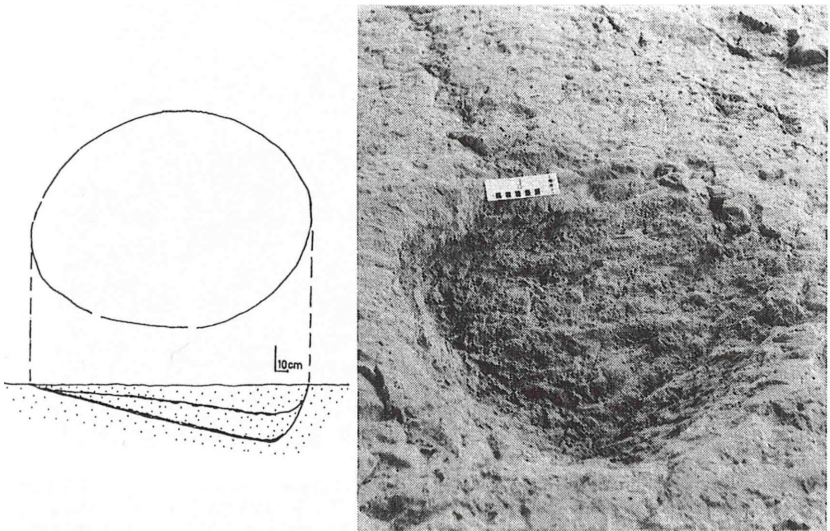


Abb.16: Bis zu Basis entplombtes Trittsiegel (Spur I11/11). Foto und Zeichnung des Umrisses und des Plombenquerschnittes.

Fig.16: Footprint with completely removed sedimentary infilling. Photo and sketch of the outline and of the cut through the filling (track I11/11).

seiner Basis keine großflächigen Sandsteinlagen mehr lösen lassen, so daß die Spur unkontrollierbar vertieft und damit zerstört wird. Dies ist ein Indiz dafür, daß alle Trittsiegel, die mit Sandsteinlagen verfüllt sind, die gegeneinander klar durch Tonhäutchen und -lagen abgrenzt und aus den Trittsiegeln entfernt werden können, als Außenspuren gedeutet werden müssen. Innenspuren haben dagegen eine diffuse Abgrenzung und sie lassen sich nicht entplomben.

Die Beine eines großen Dinosauriers, sinken beim Laufen in das Substrat ein. Sie hinterlassen dabei nicht nur einen Fußabdruck auf der Oberfläche, sondern verformen auch innere Gefüge. Schichtflächen können verbogen, verfaltet (THULBORN 1990:27, fig.2,6), zerschert (Abb.17) oder gar völlig diffus aufgelöst werden. Die Bereiche solcher Gefügeveränderungen, die sich unter der Laufsohle abbilden, nennt man Innenspuren (= „Pauspuren“ LOCKLEY 1993, „Untertracks“ sensu HITCHCOCK in LOCKLEY 1991; „transmitted prints, ghost prints“ THULBORN 1990) (Abb.18).

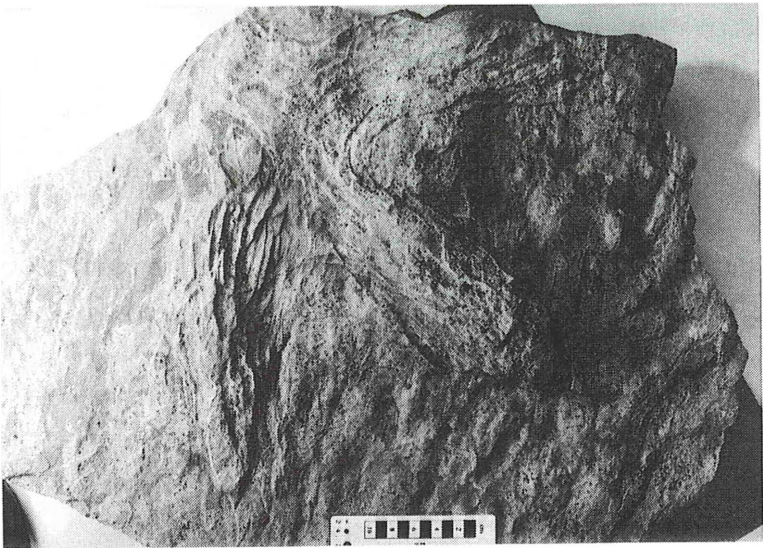


Abb.17A: Aufnahme eines als positives Hyporelief erhaltenen tridactylen Fußabdruckes aus dem Obernkirchener Sandstein der Typlokalität. Die annähernd parallelen Runzeln sind Scherflächen, die durch die Auflast des Fusses im inneren des Substrates erzeugt wurden. Zur Erklärung dient Abb. 17B. (Sammlung Geol. Paläont. Institut Hannover).

Fig.17A: Photograph of a tridactyl footprint preserved as positive hyporelief from the Obernkirchen Sandstone from the type-locality. The approximately parallel stripes are shear planes, released by the pressure of the walking leg within the sediment. For explanation s. Fig.17B. (Coll. geol. Institute Hannover).

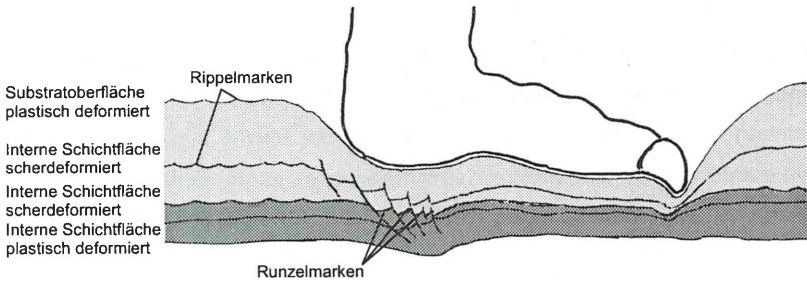


Abb. 17B: Durch die Auflast des Fußes werden Schichtflächen z.T. plastisch, z.T. durch Scherung deformiert. Die Schichtfläche zwischen dem hellgrauen und dem dunkelgrau unterlegten Teil der Zeichnung entspricht der in Abb.17A gezeigten Fläche.

Fig. 17B: Bedding planes of the substrate are deformed by the weight of the walking animal. Plastic and shear deformations occur. The level between the beds held in light grey and the darker ones corresponds to the plane photographed in Fig.17A.

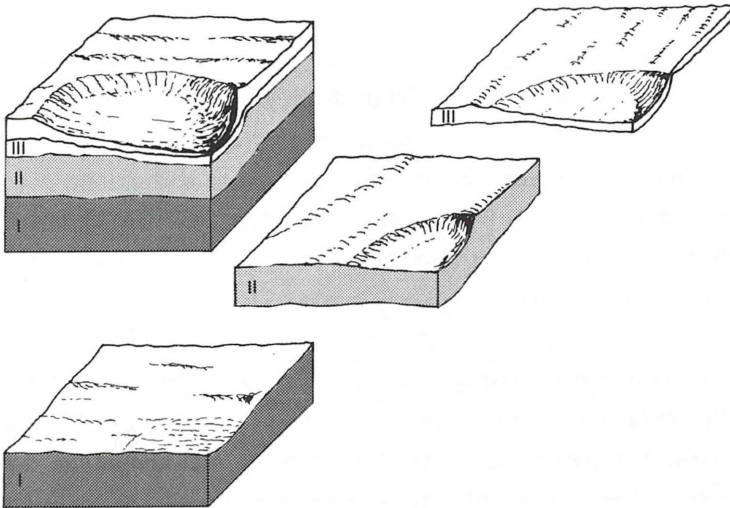


Abb.18: Ein in die Substratoberfläche (oben, links) eingedrücktes Trittsiegel verformt auch darunter liegende Schichtflächen. Diese überliefern Innenspuren (I-III), deren Form (Umriss, Tiefe) deutlich von der der Außenspur abweicht.

Fig.18: Footprints pressed into the substrate (above, left) also deform internal sedimentary planes. Those inner planes document undertracks (Innenspuren) with markedly different morphology (outline, depth:I-III) in comparison to the external imprint.

Bruchstückhafte Überlieferung

Es ist auffällig, daß selbst zwei nebeneinander liegende oder aufeinander folgende Trittsiegel desselben Beinpaares mit unterschiedlicher Zahl von Plomben verfüllt sind, das heißt, daß sie vor der Verfüllung verschieden tief eingesenkt waren. Die Fährten sind ihrerseits nur in Teilstrecken überliefert und auch diese zeigen Lücken in der Abfolge der Trittsiegel (vgl. Abb.5).

Taphonomie

Aus den geschilderten Beobachtungen läßt sich die Taphonomie, die Geschichte der Spuren bis zu ihrer endgültigen Überdeckung, durch eine Reihe aufeinanderfolgender Prozesse schildern (Abb.19):

1. Schon kurz nach der Entstehung der Spuren auf dem Boden eines flachen Gewässers (s. Kap.4) kommt es durch Wellengang und leichte Strömungen (s. Arb. SCHWENNICKE) zur Verwischung von Details der Trittsiegel und zur Auslöschung von Fährteenteilen. Schützend und erhaltend wirken sich Tonbeläge auf dem Boden der Spuren aus; vielleicht bildeten sich auch Flecken von Biofilmen (aus Algen, Bakterien, Diatomeen u.ä.), die jedoch nicht dokumentiert sind (Abb.19 a, b).

2. Die verbleibenden Trittsiegel werden durch wiederholte Schüttung von Sand Schritt für Schritt verplombt. Die Einsenkungen der Spuren wirken als Sandfallen: das Material einzelner Plombenlagen füllt linsenartig nur das Siegel selbst oder ist in ihm etwas mächtiger als auf der umgebenden Schichtfläche. Nach der Schüttung jeder einzelnen Lage folgt eine (kurze) Zeit der Nichtsedimentation, in der Wellengang Rippeln auf der sandigen Oberfläche formt. Bei ganz ruhigem Wasser lagert sich darauf ein dünner Film von Tonmineralen. Das Relief gleicht sich schließlich aus und weitere Sandlagen werden aufgeschüttet (Abb.19 c).

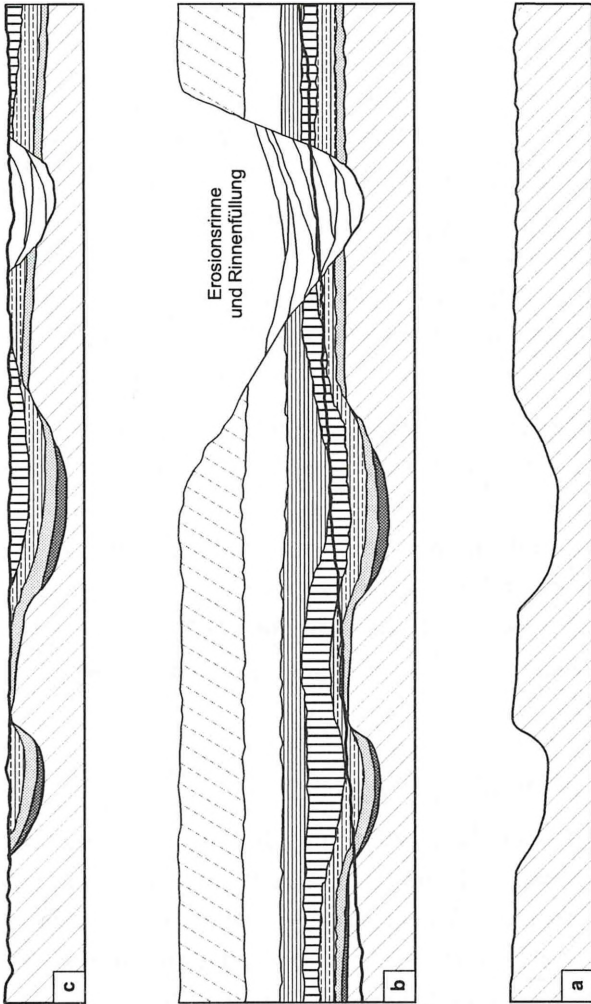


Abb.19: Die Trittsiegel, die auf der Sohlfläche des Naturdenkmals Saurierfährten Münchehagen erhalten sind, verdanken ihre ganz unterschiedliche Erhaltungsweise einer Reihe von Schritten der Sedimentation und Erosion. Erläuterung im Text.

Fig.19: The footprints preserved on the basal sandstone layer of the dinosaur track monument owe their very different type of preservation to a series of sedimentary and erosional steps. Explanation in the text.

3. In dieses Auflager aus Sand unbekannter Mächtigkeit schneiden sich mäandrierende Erosionsrinnen so tief ein, daß sie das Niveau der „Sohlbank“ erreichen.

4. Ein Erosionsereignis höherer Ordnung (Sturm; Wasserspiegelsenkung), das größere Abschnitte des Sedimentationsraumes erfaßt, führt zur Erosion des Schichtstapels bis hinab in den Bereich der tiefsten Stellen der Rinnen. Dabei entsteht eine Erosionsfläche, die mit flachem Winkel diskordant in das Liegende einschneidet (=Oberfläche der Sohlbank). Es kommt dadurch nicht nur zu den Mächtigkeitsunterschieden der Sohlbank, sondern auch zu den unterschiedlichsten Anschnittseffekten der Sauropoden-Trittsiegel und Fährten. (Abb.19 d).

5. In der folgenden Zeitspanne der Sedimentationsunterbrechung entwickelt sich ein reiches Bodenleben. Es führt zu Ausbildung von Stockwerken (engl. tiers; s.BROMLEY 1996) von Lebensspuren. Das oberste, oberflächenparallele Stockwerk ist am intensivsten besiedelt, so daß die Substratoberfläche unruhig knollig verformt wird und im Substrat selbst keine einzelnen Lebensspuren erhalten bleiben. Tiefere Stockwerke sind durch klar abgegrenzte Wohn-, Freiß- und Ruhebaue charakterisiert (s. Arb. SCHWENNICKE).

Die Dreizeher-Fährte

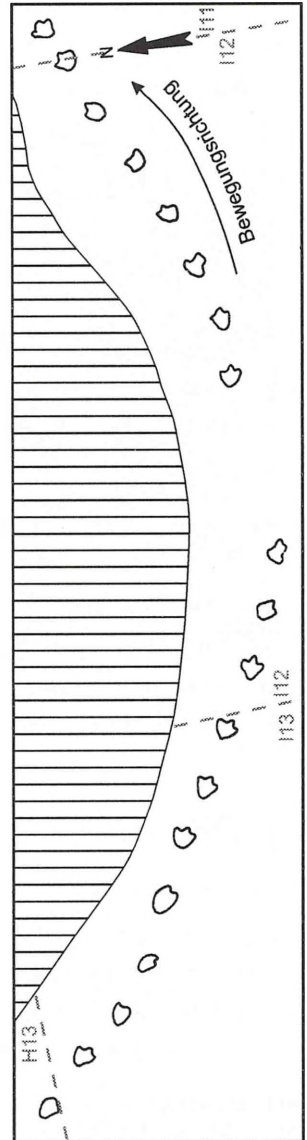
Im obersten Teil der Schutzhalle (dem SW-Teil) findet sich ein etwa 28 m langer Fährtenabschnitt, der sich aus 19 Trittsiegeln eines Sauriers mit vogelartig gebauten Füßen zusammensetzt. Die Spuren sind unterschiedlich gut erhalten: manche zeigen deutlich die Abdrücke von drei Zehen, manche sind so undeutlich überliefert, daß sie als Spur nur noch angesprochen werden können, weil sie in der allgemeinen Richtung der Fährte liegen. Die Fährte ist durch eine Lücke, die zwei Trittsiegel umfaßt, unterbrochen (Abb.20). Die schlechte Erhaltung läßt keine Aussagen zur Taphonomie dieser Fährte zu. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist sie nicht auf

Abb.20: Übersicht über die Dreizeher-Fährte im nordöstlichen Teil der Schutzhalle.

Fig. 20: Track of a tridactyl dinosaur preserved in the northeastern part of the protection hall.

der gleichen Fläche wie die Sauropoden-Fährten, also gleichzeitig, sondern erst später angelegt worden.

Die Trittsiegel sind zwischen 4 und 10 cm tief, ihre Länge variiert zwischen 0,44 und 0,56 cm, die Breite zwischen 0,43 und 0,52 cm. Das Verhältnis Länge zu Breite liegt zwischen 0,9 und 1,2. Der Umriß der ist eher rundlich als dreieckig. Die größte Länge der Spur entspricht der Länge von der Ferse zur Spitze der 3., der mittleren Zehe. Der Eindruck dieser Zehe ist leicht nach innen, zur Mittellinie der Fährte hin geneigt, wodurch sich rechte und linke Fußabdrücke unterscheiden lassen. Der Winkel (α) zwischen der 2. und der 3. Zehe beträgt zwischen $20-40^\circ$, der Winkel (β) zwischen der 3. und der 4. $30-40^\circ$. Deutlichere Trittsiegel lassen erkennen, daß die Zehen verhältnismäßig kurz sind. Der freie Teil der 3. Zehe erreicht nur wenig mehr als $\frac{1}{4}$ der Gesamtlänge, die 2. und 4. Zehe sind noch etwas kürzer. Die Zehenspitzen enden stumpf und lassen keinen Klauenabdruck erkennen. Der Fersenabdruck ist rundlich (Abb.21, 22).



Die Schrittbreite ist annähernd gleich Null, linke und rechte Fußabdrücke liegen auf einer Linie oder greifen sogar ein wenig auf die Gegenseite über. Die Werte der einseitigen Schrittlänge liegen zwischen 1,2 und 1,4 m.

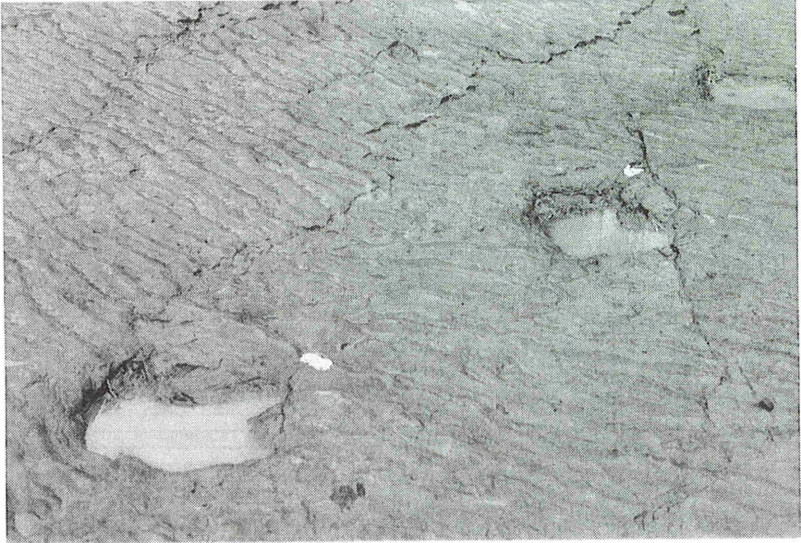


Abb. 21: Ausschnitt aus der Dreizeher-Fährte

Fig. 21: Part of the track composed of tridactyl footprints.

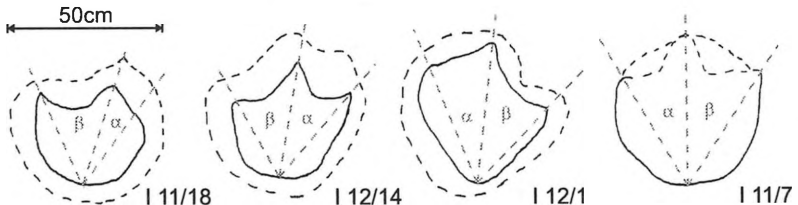


Abb. 22: Abmessungen einiger tridactyler Fußabdrücke aus der Dreizeher-Fährte. Winkel Alpha zwischen 2. und 3. Zehe, Winkel Beta zwischen 3. und 4. Zehe. Gestrichelt: Umriß auf der Sohlfläche; durchgezogene Linie: Umriß der Basisfläche des Fußabdruckes (nach TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1889).

Fig. 22: Dimensions of some of the tridactyl footprints. Alpha: angle between the 2nd and the 3rd toe; Beta: angle between the 3rd and the 4th toe. Dashed line: external outline of the imprint; full line: outline of the base (after TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1889).

3. INTERPRETATION

Sauropoden-Fährten

Die Größen und Abmessungen der einzelnen Trittsiegel geben Hinweise auf die Größe der Fußsohle der Tiere und damit indirekt auch auf die Beinlänge. Als Fußsohle wird der Teil des Beines verstanden, der beim Gehen den Boden berührt, also unabhängig davon, ob der Erzeuger der Fährten ein Zehen- oder ein Sohlengänger war. An die Genauigkeit können dabei keine allzu großen Ansprüche gestellt werden, da die Größe eines Fußesindrucks nicht nur von der Fußform des Tieres, sondern auch von den Eigenschaften des Untergrundes abhängt, die man nicht exakt genug kennt. Schließlich werden die ursprünglichen Spurenmaße auch durch taphonomische Prozesse verändert.

Die Vorderfußindrücke haben Durchmesser zwischen 0,45 und 0,75 cm, was einer Sohlengröße von 0,35 bis 0,65 cm entspricht. Die Hinterfußindrücke sind zwischen 0,6 und 1,3 m lang und 0,5 bis 1,5 m breit. Setzt man auch hier voraus, daß der Außenrand des Abdrucks etwa 10 bis 20 % größer ist als die Fußsohle selbst, so ergeben sich Fußlängen von 0,5 bis 1,1 m und eine Fußbreite zwischen 0,43 und 1,5m. Den kleineren Sohlen entsprechend, müssen die Vorderextremitäten kürzer als die hinteren gewesen sein.

Die Fußsohle beider Beinpaare ist abgeplattet. Der Umriß des Vorderfußes ist rundlich, der des Hinterfußes dagegen langgestreckt, dreiecksförmig. Sein Innenrand verläuft mehr oder minder gerade von der Ferse bis zur Spitze der inneren Zehe, die länger ist als die übrigen. Da der Vorderrand des Abdruckes gleichmäßig nach hinten zurückschwingt, muß die außen gelegene Zehe die kürzeste gewesen sein. Ein Abdruck ist von keiner der Zehen überliefert.

Die Anordnung der Trittsiegel läßt darauf schließen, daß die Tiere auf 4 Beinen liefen. Dies ist typisch für Sauropoden. Andererseits zeigen die Fährten vorwiegend Abdrücke des Hinterbeinpaares und nur in wenigen

Ausnahmefällen auch solche von Vorderbeinen. TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1989 leiteten aus diesem Muster ab, daß die Tiere im Wasser liefen und nur bei geringer Wassertiefe alle 4 Beine auf dem Boden aufsetzten (Abb. 23B). Bei größerer Wassertiefe (3-4 m) berührten nur noch

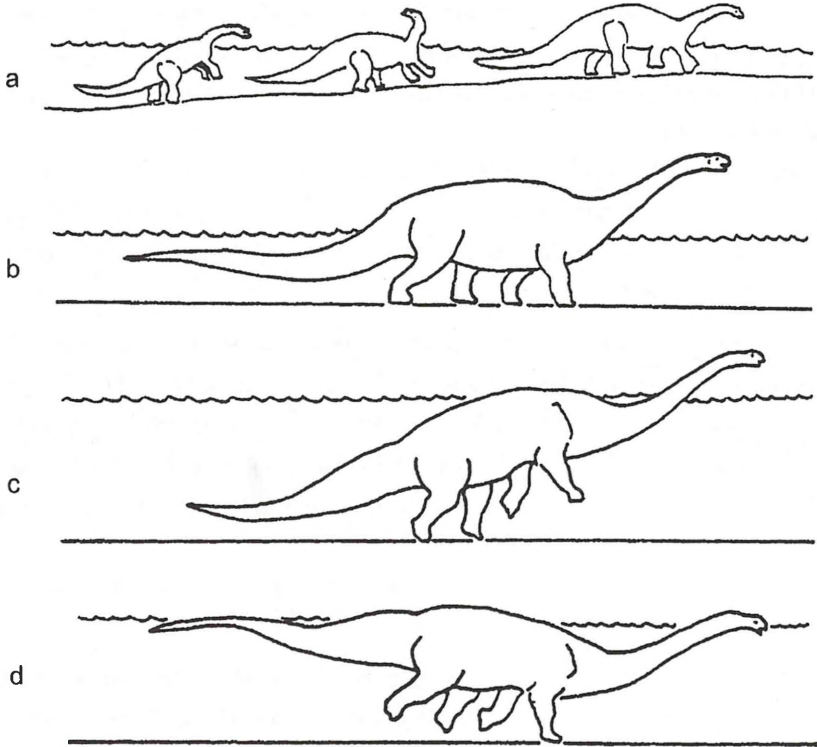


Abb. 23: Entstehung von Fährten-Mustern durch Sauropoden, die in unterschiedlich tiefem Wasser laufen. A-C: Bewegung der Münchehagener Sauropoden. B: Quadrupeder Gang bei mäßiger Wasserbedeckung, wie z.B. in Fährte 5 dokumentiert. C: Bipeder, halbschwimmender Gang auf den Hinterfüßen in tieferem Wasser, wie z.B. in Fährten 1-4 dokumentiert. D: Bipeder, halbschwimmender Gang auf den Vorderfüßen, nach BIRD 1944 (TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1989, Abb.17).

Fig. 23: Origin of tracks formed by sauropods moving in water. A-C: movement of the Muenchehagen sauropods. B: Quadrupedal movement in relatively shallow water, documented in track 5. C: Bipedal movement on the hindle limbs in deeper water, documented in tracks 1-4. D: Bipedal movement on the fore limbs, interpreted by BIRD 1944 (TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1989, Fig.17).

die Hinterbeine den Boden und die Tiere bewegten sich halbschwimmend fort (Abb. 23C).

Eine vergleichbare Entstehung postulierte BIRD 1944 für Sauropodenfährten aus der Kreide von Texas, jedoch mit dem Unterschied, daß diese Tiere die Vorderbeine auf dem Grund aufsetzten, wie es auch an Fährten aus dem Bathonium von Marokko abgelesen werden kann (ISHIGAKI, 1989)(Abb.23D). FISCHER (in THIES & FISCHER 1993) übernahm diese Anschauung, die sich auf die Beobachtung stützt, daß auf der Sohlbankfläche in Münchhegagen im wesentlichen Außenspuren (wenn auch zum Teil verplombt) erhalten sind. Der Geländebefund widerlegt also die Vermutung von FARLOW, PITTMAN & HAWTHORNE (1989:389), daß es sich bei den wenig tief eingedrückten und keine Fußmerkmale überliefernden Spuren Münchhegagens um „ghost tracks“ (= Innenspuren oder undertracks) handeln könne.

LOCKLEY 1993:246 ff bezweifelt die Interpretation der meisten Fährten, die von schwimmenden Dinosauriern angelegt sein sollen, besonders aber die o.a. Beispiele von BIRD und ISHIGAKI. Er verweist darauf, daß in den meisten Fällen nicht die Möglichkeit diskutiert wurde, daß die überlieferten Fährten sogenannte undertracks, „Paus Spuren“, sein könnten. Die Fährtenflächen würden nur besonders tief eingedrückte Innenspuren der größeren, das

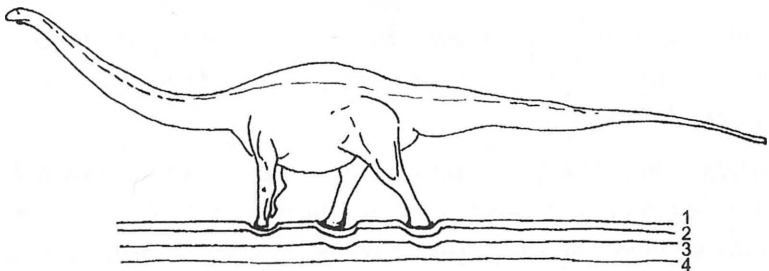


Abb. 24: Hinter- und Vorderfüße drücken sich unterschiedlich tief in das Substrat ein. Je nachdem, ob das Niveau 1, 2, oder 3 die Fährten überliefert, sind nur Hinterfußindrücke oder Spuren aller 4 Extremitäten erhalten. In Niveau 4 sind keine Hinweise auf Fährten erhalten.

Fig. 24: Due to different weight, the feet of a sauropod deforme the substrate to different depth. Depending on the preservation in one of the sedimentary levels 1, 2, or 3, only the imprints of the hind feet (3) or of all the 4 extremities are documented. In level 4 no tracks are preserved.

Hauptgewicht des Körpers tragenden Beine dokumentieren, während die weniger eingetieften Spuren des kleineren Fusses nur darüber liegende Schichten beeinflussten, die beim Abbau verloren gingen (Abb.24).

Aus den Beobachtungen von HENDRICKS 1981 könnte man einen anderen Grund für das Fehlen von Vorderfußindrücken ableiten. Er beschreibt von zwei Spuren (Spur 2=1 8/14 und Spur 7=1 8/8) das fast komplette Überdecken des Vorderfußabdruckes durch den Hinterfuß. Es wäre denkbar, daß die Münchehagener Sauropoden beim Gehen die Hinterfüsse direkt auf die Vorderfußabdrücke aufsetzten und sie damit völlig auslöschten. Aus diesem Muster liesse sich die Rumpflänge der Tiere nicht mehr mit Sicherheit ablesen. Die wenigen Trittsiegel, in denen die echte Auftrittsfläche erschlossen ist, erlauben dazu keine Aussage.

Die geringe Gangbreite der Fährten von oft weniger als 1 m weist darauf hin, daß die Beine der Erzeuger säulenartig den Rumpf abstützen. Die Füße wurden mehr oder minder parallel zur Körperlängsachse auf den Boden aufgesetzt: ihre Längsachse liegt parallel zur Mittellinie oder nur wenig schräg nach außen geneigt. Die Sohle der Hinterhand war etwas nach innen geneigt, der Vorderfuß setzte horizontal oder auch leicht nach vorne außen geneigt auf. Die lichte Weite überschreitet nur selten Null. Die Sauropodenfährten von Münchehagen gehören damit, entgegen der Feststellung von FARLOW 1992 und LOCKLEY, FARLOW & MEYER 1994 zum Typ „narrow-gauge“ (=engspurig), der vor allem unter jurassischen und früh-kreidezeitlichen Fährten entwickelt, in der höheren Kreide jedoch selten ist. *Rotundichnus muenchehagensis* ist also dem Ichnogenus *Parabrontopodus* LOCKLEY, FARLOW & MEYER 1994 ähnlicher als der wide-gauge (=breitspurigen) Fährte *Brontopodus*, deren „lichte Weite“ immer deutlich über Null liegt.

Es bestehen unterschiedliche Berechnungsweisen, um aus der Größe der Trittsiegel, aus der Gangbreite und der Schrittlänge die „Größe“ der Erzeugers von Fährten zu berechnen, Gehweise, individuelles Gewicht, Substratcharakter und viele andere nicht dokumentierte Faktoren modifizieren jedoch die Abmessungen der Fährte, so daß man, wie es z.B. THULBORN 1990 oder auch LOCKLEY 1993 empfehlen, solche Berechnungen nur dazu benutzen sollte, einen ungefähren Eindruck von der Größe der Tiere zu bekommen. HENDRICKS 1981 errechnete für den Erzeuger der Fährte 5 eine

Beinlänge von 2,9 m und eine Rumpflänge zwischen 2,5 und 3,1m. TÖNEBÖHN & KULLE-BATTERMANN 1989 sind jedoch der Auffassung, daß ein Sauropode, der Fußabdrücke von der in Fährte 5 meßbaren Größe hinterlasse, Vorderbeine von etwa 3,2 m und Hinterbeine von ca 3,9 m Höhe und damit einen Rumpf von mindesten 5 m Länge gehabt haben müsse (FISCHER, KULLE-BATTERMANN & TÖNEBÖHN 1988).

Fährten geben auch Aufschluß über die Bewegungsgeschwindigkeit. ALEXANDER 1976 und ALEXANDER, LANGMAN & JAYES 1977 entwickelten mathematische Formeln, um sie aus den Fährtenparametern exakt zu berechnen. Vor allem THULBORN 1982, 1989 oder auch LOCKLEY 1991 (1993:91 ff) verweisen darauf, daß diese Berechnungen wiederum nur als „Faustregel“ genommen werden könnten. Die gleichmäßige Anordnung der Trittsiegel in den Münchehagener Fährten, die in allen Fährten übereinstimmende und gleichbleibende Schrittlänge und das ebene oder sogar nach innen abgeknickte Aufsetzen der Fußsohle sind Hinweise auf ein gemächliches Gehen. Die geringe Gangbreite der Fährten verweist auf eine zügige und nicht schlendernde Fortbewegung der Sauropoden, da sie nur bei großer Gleichgewichtsstabilität des Körpers möglich ist.

Die überlieferten Sauropodenfährten wurden von einer größeren Zahl von Individuen (mind.8), die gleichzeitig ihren Lebensraum durchwanderten, angelegt. Für die Gleichzeitigkeit spricht die parallele Anordnung großer Fährteile, das Nichtüberschneiden von Trittsiegeln in der Fährtengruppe 8, die Bindung der Fährten an ein und dieselbe Schichtfläche und vor allem ihre gleichartige Ausrichtung von W nach O. Ein weiteres Indiz bietet der Verlauf der Fährte 3, die kurz aus der allgemeinen Bewegungsrichtung ausschert um danach wieder in sie einzuschwenken. Wenn mehrere Individuen einer Art gleichsinniges Verhalten zeigen, darf man von Herdenbildung sprechen. In der Sauropoden-Herde von Münchehagen befanden sich unterschiedlich große (=alte) Tiere; ausgesprochene Jungtiere fehlten jedoch.

Auf Grund der Dimensionen der Münchehagener Fährten kommen als Erzeuger nur große Sauropoden in Frage. HENDRICKS 1981 vermutete einen Vertreter der Gattung *Apatosaurus*, von der Körperfossilfunde aus Oberjura und Unterkreide bekannt sind. Die innerste Zehe des Fusses ist bei *Apatosaurus* mit einer großen, nach vorne und einwärts gebogenen Klaue versehen, während die anderen Zehen zwar auch Krallen besaßen, die jedoch nur kurze, hornige „Knubbel“ am Fußvorderrand bildeten (THULBORN 1990:166). Zwar sind weder Klauenabdrücke noch weitere Einzelheiten Fusses überliefert, doch stimmt der dreiecksförmige Umriß der Hinterfußabdrücke mit der Fußkonstruktion von *Apatosaurus* überein.

Dreizeher-Fährte

Über die Größe des Erzeuges der Dreizeher-Fährte bekommt man einen ersten Eindruck an Hand der Faustregel (vgl. THULBORN 1989:42), daß die Hüft- (auch Beckengürtel-)höhe eines bipeden Sauriers etwa 4 mal der Fußlänge entspricht. Bei einer mittleren Fußlänge von 0,5 m müßte die Hüft-höhe ca 2 m betragen haben. Dieser Wert kann nur als Anhaltspunkt dienen, da einerseits die Länge des Fußabdruckes z.B. auch von der (unbekannten) Lauf-Geschwindigkeit, andererseits die Beckengürtelhöhe vom Bau der Extremitäten abhängt.

Ein Tier dieser Beckenhöhe könnte eine Körperlänge von etwa 8 m besitzen haben (KLEINSCHMIDT 1986; TÖNEBOHN & KULLE-BATTERMAN 1989). Bei aufrechtem Gang erreichte das Tier damit eine Höhe von etwa 5 m. Es ist vermutlich langsam geschritten, wie es für die Mehrzahl der Erzeuger bipeder Saurierfährten zu fordern ist (THULBORN 1989). Bei dieser Bewegung setzte das Tier seine Füße, zum Teil die Mittellinie übergreifend auf, wie es bei Hühnern vergleichbar zu beobachten ist.

Wegen der mäßigen Erhaltung der Fährte ist es nicht möglich, den Erzeuger näher anzusprechen. Biped laufende Saurier mit vogelartigen (Hinter-)Füssen kommen sowohl bei den zu den Sauropoden gehörenden Theropoden, als auch bei den zu den Ornithischiern zählenden Ornitho-

poden. THULBORN (1990:219 ff) führt eine Reihe von Merkmalen auf, die es erlauben, gut erhaltene Spuren einer der beiden genannten Sauriergruppen zuzuordnen, bemerkt jedoch, daß keines der Kriterien ohne Ausnahme ist. Das Längen-/Breitenverhältnis der Fußabdrücke ($> 0,9$), die breiten Zehensansätze und das Fehlen eines Daumenabdruckes sind typischer für Ornithopodenspuren; der V-förmige Hinterrand der Spur und der etwa gleichgroße Winkel zwischen der III. und der II., bzw. IV. Zehe und die konische Form der Zehenabdrücke sind dagegen Theropodenspuren ähnlicher.

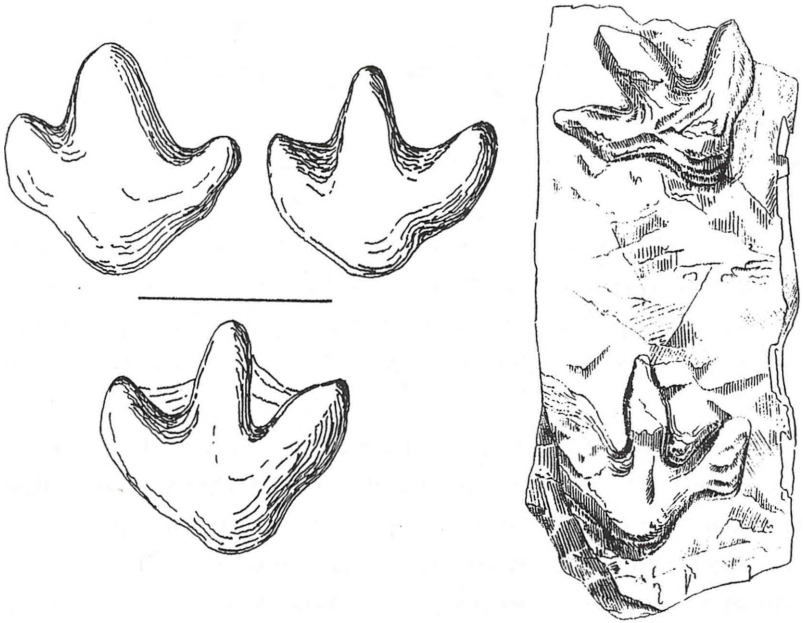


Abb. 25: Tridactyle Fußabdrücke (als positive Hyporeliefes erhalten) aus berrias-zeitlichen Sandsteinen NW-Deutschlands. Oben: „*Iguanodon*“, Fundort Obernkirchen, nach LEHMANN 1978. Unten: „*Iguanodon*“, Fundort Bad Rehburg, nach STECHOW 1909. Rechts: „*Ornithoidichnites*“, Bad Rehburg; aus STRUCKMANN 1880, Taf.4. (Meßbalken: 50 cm).

Fig. 26: Tridactyl footprints (preserved as positive hyporeliefes) from Berriasian sandstones of NW Germany. Above: „*Iguanodon*“ from Obernkirchen (after LEHMANN 1978). Below: „*Iguanodon*“ from Bad Rehburg (after STECHOW 1909). Right: „*Ornithoidichnites*“ from Bad Rehburg (STRUCKMANN 1880, pl.4). (length of the bar: 50 cm).

Die in unterkretazischen Sandsteinen der nw-deutschen Wealdenfazies sehr häufigen Abdrücke von vogelartigen Füßen (BALLERSTEDT 1905 ff; DIETRICH 1926; GRABBE, 1881; KUHN 1958; LEHMANN 1978) und die aus ihnen aufgebauten Fährten wurden in der Regel mit der Gattung *Iguanodon* verknüpft. Unabhängig davon, ob diese Verknüpfung zurecht besteht, ist festzustellen, daß die Dreizeher-Fährte im Naturdenkmal deutlich von allen bisher bekannten *Iguanodon*-Trittsiegeln aus NW-Deutschland abweichen (FISCHER, KULLE-BATTERMANN & TÖNEBÖHN 1988) (Abb.25). Es bestätigt sich die Aussage von HAUBOLD 1984, der sagt: „Es zeigt sich, wie unvollkommen die Saurier des Wealdens bisher bekannt sind...“.

4. DER LEBENSRAUM DER MÜNCHEHAGENER SAURIER

Die sandige Wealdenfazies NW-Deutschlands ist auf den Ostteil des Niedersächsischen Beckens beschränkt (Abb.26). Dieses Becken war zur Unterkreidezeit (Berriasum) ein weitgehend vom offenen Meer abgetrenntes Süßwasserbecken. Nur selten und dann nur über sehr kurze Zeit gab es auch marine Einflüsse (u.a. JARITZ & KOCKEL 1969; PELZER, RIEGEL & WILDE, 1992), von denen zwei in die Ablagerungszeit der Bückeberg-Formation entfallen (STRAUSS et al. 1993; ELSTNER & MUTTERLOSE 1996; MUTTERLOSE 1997).

In dieses Becken mündeten vom umgebenden Festland her Flüsse, deren große Sedimentfracht Deltafächer aufbauten. Bei Osnabrück ist ein solcher Deltafächer nachweisbar (ALLEN 1967; PELZER 1988). Mangelnde Aufschlußverhältnisse erlauben es nicht, das Delta-Modell auch auf die Deister-Hils-Bucht zu übertragen (WILDE, THIES & RIEGEL 1995). Diese Bucht, an deren nördlichem Ende der Lebensraum der Münchehagener Saurier lag, war in die Küste der Rheinischen Masse tief eingeschnitten und im Osten von der Hildesheimer Halbinsel begrenzt (Abb. 26). Sie war gegen das offene Niedersächsische Becken von Sandbarren begrenzt hinter denen sich ein System von Lagunen und Sumpfgeländen erstreckte (PELZER 1988; WILDE, THIES & RIEGEL 1995) (Abb.27). Südlich schloß sich vermutlich

ein System aus anastomisierenden, sich schnell verlagernden, distributären Rinnen einer unteren Delta-Ebene an (PELZER 1988:242).

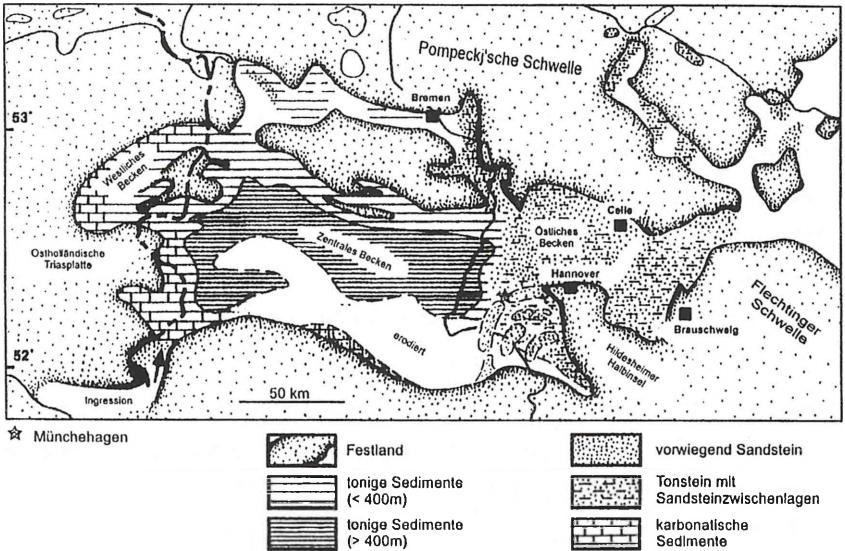


Abb. 26: Das Niedersächsische Becken zur Berrias-Zeit. Die Saurierfährten finden sich nahe eines Barrensystems, das der Hildesheimer Halbinsel randlich angelagert ist (nach MUTTERLOSE in MUTTERLOSE et al. 1997).

Fig. 26: The Lower Saxonian Basin in the Berriasian (after MUTTERLOSE in MUTTERLOSE et al. 1997).

Im Gebiet der flachen Lagunen, die selten tiefer als einige Meter waren und oft sogar trocken fielen (Arb. SCHWENNICK), waren über dem Wasserspiegel liegende Gebiete dicht mit Pflanzen bewachsen. Pollenspektren und Wurzelhorizonte erlaubten es PELZER 1988, unterschiedliche Pflanzenassoziationen, angepaßt an unterschiedlich feuchte Standorte, zu erkennen (vgl. Abb. 27).

Auch die Lagunenböden waren durch benthonische Organismen dicht besiedelt. Süßwassermuscheln sind durch Steinkerne und, wie auch Langschwanzkrebse, durch charakteristische Lebensspuren dokumentiert. Von

vielen weiteren, skelettlosen Invertebraten-Arten zeugt nur das reiche Spektrum von Lebensspuren (s. Arb. SCHWENNICKE).

Die semiaquatische Landschaft entlang der Rückseite der großen Sandbarrensyste me war offensichtlich ein idealer Lebensraum für pflanzenfressende Saurier. Sie fanden hier nicht nur Nahrung im Überfluß, sondern auch Schutz vor Räubern. Andererseits sind auch die Fossilisationsbedingungen für Fährten in einem solchen Areal besonders gut: stehendes Wasser mit nur geringem Wellengang vermindert eine schnelle Zerstörung, Biofilme auf der Bodenoberfläche flacher, durchlichteter Lagunentümpel stabilisieren die Spuren und die sporadische Zufuhr von Sediment versiegelt sie. Diese taphonomischen Grundbedingungen sind unabhängig vom Substrat, sei es karbonatisch oder klastisch.

LOCKLEY et al. 1994b unterscheiden zwei Haupttypen von Vertebraten-Ichnofazien, die einerseits durch das Sediment, andererseits durch typische Spuren-Vergesellschaftungen gekennzeichnet sind. Die *Brontopus*-Ichnofazies ist an Karbonate und/oder Evaporite geknüpft, die Ichnozönosen sind von Sauropoden-Spuren dominiert. Ihr bevorzugter Bildungsbereich sind Wattflächen und Lagunen entlang der Meeresküste. Die Ornithopoden-Ichnofazies ist an Siliziklastika gebunden und sie ist durch überwiegend Ornithopodenspuren gekennzeichnet. Hauptbildungsbereich sollen Deltas, Ästuare und Marschen sein. Im Bezug auf die unterkreidezeitlichen Fährtenvorkommen aus NW-Deutschland erscheint diese Trennung künstlich: im stratigraphischen Horizont des Hauptsandsteins sind sowohl reine Ornithopoden- als auch Sauropoden-dominierte Ichnozönosen entwickelt, beide an rein siliziklastische Sedimente gebunden. Sie wurden in einem nicht oder nur wenig von Gezeiten beeinflussten Milieu angelegt.

Das Klima jener Zeit wird bei PELZER & WILDE 1987 geschildert. Sie stützen sich auf das Vorkommen charakteristischer Verwitterungsprodukte und die Paläogeographie, nach der das Niedersächsische Becken vor ca 130 Mio Jahren bei 35-40°N gelegen haben soll (SMITH, HURLEY & BRIDEN 1982).

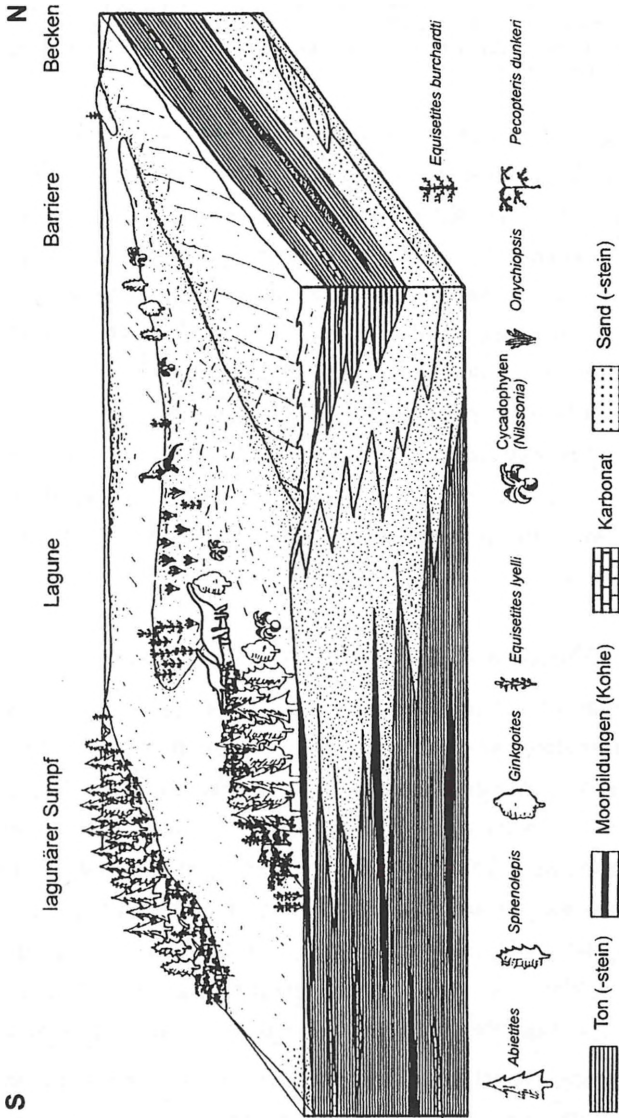


Abb. 27: Modell des Lebensraumes der Muenchehagener Dinosaurier (nach PELZER 1988; WILDE, THIES & RIEGEL 1995).

Fig. 27: Model of the habitat of the Muenchehagen dinosaurs (after PELZER 1988; WILDE, THIES & RIEGEL 1995).

LOCKLEY et al. 1994c geben für Münchehagen 25°N an, doch scheint dieser Wert, wie auch andere Angaben dieser Autoren (Tab.1: Alter:Barreme; Fährte ist „wide-gauge“; S. 240: Vorkommen von Mikriten im Faziesbereich), mehr einem Wunschbild als der Realität entnommen zu sein.

Münchehagen dokumentiert damit den einzigen bekannten Fundort unterkretazischer Sauropodenfährten aus dieser verhältnismäßig hohen Breite (vgl. LOCKLEY et al. 1994c, Tab. 1). In den Floren sind Matonidien, Dipteridaceen, Cycadeen und Baumfarne (Pecopteriden) Belege für warmes Klima. Ein Anteil von weniger als 10% von Pollen des *Classopollis*-Formenkreises am Pollenspektrum wird als Indiz für humides Klima gewertet (PELZER & WILDE 1987), das subtropisch (vielleicht sogar gemäßigt) gewesen sein könnte. Nachdem in der jüngsten Jurazeit und zu Beginn des Berriasiums in NW-Deutschland semiaride Bedingungen vorgeherrscht haben sollen, wurde dann in der „Mitte des Berrias“ das Klima generell feucht und warm bei jahreszeitlich schwankenden Niederschlägen (PELZER & WILDE 1987:253).

5. SAURIERFÄHRTEN DER ÄLTEREN UNTERKREIDEZEIT

Versucht man die Münchehagener Saurierfährten in einen weltweiten Kontext zu stellen, ist dies nur sinnvoll, wenn man gleichaltrige Spurenvorkommen zum Vergleich heranzieht. Saurierspuren sind grundsätzlich an Ablagerungen gebunden, in denen marine Fossilien als Grundlage der biostratigraphischen Datierung fehlen oder sehr selten sind. Dies erschwert generell eine exakte zeitliche Parallelisierung der Vorkommen. Darüber hinaus ist auch die lokale Stratigraphie der meisten Vorkommen nur cursorisch bekannt, so daß über die Angabe „Unterkreide“ hinausgehende exaktere biostratigraphische Datierungen bisher nicht möglich sind.

In der folgenden Tabelle werden Vorkommen der älteren Unterkreidezeit vor dem Aptium, also aus einem Zeitraum von ca. 21 Mio Jahren (COWIE & BASSET 1989) erfaßt. Diese zeitliche Begrenzung ergibt sich zum Teil daraus, daß die Alterseinstufung „Nach Oberjura und vor Aptium“ häufig in der Literatur vorkommt (z.B. LEONARDI 1989). Zum anderen ist sie dadurch

gerechtfertigt, daß Leben und Umwelt der älteren Unterkreide zwar eng mit den Verhältnissen des jüngsten Oberjuras verknüpfbar sind, aber deutlich von denen der jüngeren Unterkreidezeit verschieden sind.

Aus dem gleichen stratigraphischen Horizont, dem Hauptsandstein, sind Saurierspuren aus dem Bückeberg und dem westlich davon gelegenen Harri bekannt (GRABBE 1881; BALLERSTEDT, 1905 FF.; DIETRICH 1926; KUHN 1958; LEHMANN 1978). Es handelt sich dabei weitgehend um Fährten aus tridactylen Fußabdrücken. Eigene Namen, wie *Struthopus schaumburgensis* BALLERSTEDT 1921 und *Wealdenichnites iguanodontoides* KUHN 1958 wurden für sie vergeben, doch sind sie, nach Auffassung von HAUBOLD 1984, trotz aller beschriebenen Unterschiede, alle auf *Iguanodon* zurückzuführen. *Bückebergichnus maximus* KUHN 1958 könnte möglicherweise von einem Carnosaurier stammen (HAUBOLD 1984:185). Eine von BALLERSTEDT 1922 als *Metatrapous valdensis* benannte Fährte zeigt Eindrücke von Vorder- und Hinterfüßen mit kurzen Zehen- (Kralen?-) Abdrücken am Vorderrand. Eine Zuordnung zu einer Sauriergattung ist nicht möglich.

Die frühesten Berichte über Dinosaurierspuren stützten sich auf Funde aus dem Wealden Englands (TAGART 1846). Vor allem sind sie aus der Grafschaft Sussex bekannt, jedoch auch von Dorset, Surrey und der Isle of Wight (DELAIR 1989; WOODHAMS & HINES 1989). Die Fährten sind an den sogenannten Hastings-Sandstein gebunden, dessen Sedimentation im höheren Berriasium einsetzt und im Valanginium andauert (vgl. PELZER & WILDE 1987, Abb. 2). Sie sind also, wenn auch nur wenig, jünger als die Fährten aus dem nw-deutschen Hauptsandstein.

Fast alle Spuren sind Abdrücke tridactyler Füße. Sie werden meist mit *Iguanodon* verknüpft, was auch damit zusammenhängt, daß der allererste Funde eines Zahnes, der MANTELL 1822 veranlaßte, die Gattung *Iguanodon* zu errichten, aus diesen Wealden-Schichten stammt. WOODHAMS & HINES 1989 zeigen, daß neben Iguanodontiden- auch Theropoden-Fährten vorkommen.

Vor kurzem wurden aus Dorset rund 100 Sauropoden-Trittsiegel bekannt. Sie finden sich in Schichten der ältesten Kreide (Wessex-Formation; RADLEY, 1994),

messen etwa 1 m im Durchmesser, und sind daher nach Alter und Größe mit *Rotundichnus* vergleichbar.

OJ-B	Canada	Mist Mountain	Tri, T,	CURRIE 1989
(OJ?)B	Canada	Narraway River	T,	CURRIE 1989
Wende OJ/UKr	Nigeria	Gres d'Assaouas	S	GINSBURG et al. 1966
B	Deutschland	Bückeberge, Harri, Rehburger Berge	T, O, S	s. diese Arbeit
B (-V)	England	Surrey, Isle of Wight Dorset	Tri, T, O, S Tri, T, O, S, Anc, Pter	DELAIR 1989 DELAIR 1989; M.BENTON; WRIGHT
B	Kroatien	Rovinj	S	TISLJAR et al. 1983
B	Japan	Ishikawa Prefecture	Tri, Th	MANABE et al. 1989
B	Chile	Baños del Flaco	O, S	CASAMIQUELA & FASOLA 1968
B/N	Australien	Broome, Dampier Isld	T, O, S, Steg	THULBORN et al. 1994
N (Unter- Neokom)	Georgien	Sataplia	T,	GABUNJA 1951, 1952
N	Argentinien	Las Quijadas	T	LULL 1942; LEONARDI 1989
N	Kroatien	Brijuni-Insel, Istrien	T, ?S	BACHOFEN-ECHE 1925; LEGHISSA & LEONARDO 1990; VECCHIA 1994
(B), N-Apt	Spanien	Cameros Becken	T, O, (S)	MORATALLA et al. 1988, 1994
UKr	Korea	Südküste (viele Lok. Jindong- Formation	O, S, u.a.	LIM et al. 1989; 1994
UKr	China	Nei- Monggol, Chabu	?T	LI 1985; ZHEN et al. 1991
UKr	Brasilien	Cianorte, Paraná Cabeza de Negro	?T T	LEONARDI 1977, 1989
Br	Kroatien	Brijuni-Insel	dinosaur- track	VELIC & TISLJAR 1987; LOCKLEY et al. 1994c
Br-Apt	Canada	Peace River Canyon	Th, O	CURRIE 1989
PA	Brasilien	Sao Domingos Rio do Peixe Becken Sao Romao, Ceará	S Tri T, O, Tri	LEONARDI 1980, 1989 LEONARDI, 1989

Tab.1: Funde von Saurierfährten aus der älteren Unterkreide.

Tab.1: Early Cretaceous dinosaur track sites.

B:Berriasium; Br:Barremium; H:Hauterivium; N:Neokom (Valanginium-Barremium); OJ:Oberjura; PA:Präaptium; Ukr: Tiefere Unterkreide; V:Valanginium; Anc.:Ancylosaurier; O:Ornithopodenfährten; Pter.:Pterosaurier; S:Sauroptoden-Fährten; Steg.:Stegosauriden; T:Theropodenfährten; Tri:tridactyle Abdrücke.

Sie sind mit Spuren von Theropoden, Iguanodontiden und nodosauriden Ankylosauriern assoziiert; auch Abdrücke von pterodactyloiden Pterosauriern (WRIGHT et al. 1997) wurden gefunden (briefl. Mitt. J.Wright; M. Benton, Bristol). Sie werden derzeit von J.Wright bearbeitet.

Das mesozoische Cameros-Becken N-Spaniens ist mit bis zu 5 km mächtigen kontinentalen Sedimenten gefüllt (PLATT, 1989; BEUTHER et al. 1966), die vom Kimmeridgium bis in die höhere Unterkreide hineinreichen. Im Hauptverbreitungsgebiet dieses „Spanischen Wealden“ sind zwischen Regumiel de la Sierra (Provinz Burgos; MORATALLA, SANZ & JIMENEZ 1994) im Westen und dem Oncala-Paß (Prov.Soria) im Osten Saurierspuren in verschiedensten stratigraphischen Horizonten vom Berrias bis Barrême, vielleicht sogar bis in das Aptium hinein, z.T. sehr häufig. Sie sind Anlaß zu einer Vielzahl von Publikationen (s.Lit.-Verz. in SANZ, MORATALLA & CASANOVAS 1985 und MORATALLA, SANZ & JIMENEZ 1988). Zu diesem Sedimentationsraum sind auch die Vorkommen von Logroño zu rechnen, von wo CASANOVAS & SANTAFÉ 1971 3 verschiedene Formen von *Megalosauropus* und 3 Ornithopoden-Spuren beschrieben. Für die Provinz La Rioja existiert ein zusammenfassender Führer (MORATALLA et al. 1988) und die Region um den Oncala-Paß ist durch eine „Ruta de la Icnitas“ (Fährten-Straße) erschlossen (SANZ & MORATALLA, o.J.). Die Mehrzahl der Spuren stammt von vogelfüssigen Sauriern. MORATALLA, SANZ & JIMENEZ 1988 unterscheiden solche von 4 verschiedenen Ornithopoden, von 2 Theropoden und von 1 Coelurosaurier.

Sauroptoden-Fährten sind im Spanischen Wealden selten. Nur von 3 Lokalitäten des Cameros-Beckens sind sie beschrieben (CASANOVAS et al. 1989, 1992; MORATALLA et al. 1994) und den Ichnogenera *Brontopus* und *Parabrontopus* zugeordnet worden (MORATALLA et al. 1994). Sie stammen aus barrême- bis aptzeitlichen Schichten (MORATALLA et al. 1994:76). Weitere unterkretazische Fährten

sind aus Andorra beschrieben (CASANOVAS & SANTAFÉ 1971). Es sind Abdrücke tridactyler Füße vom iguanodontiden Typ.

Neben den aufgeführten sind aus Spanien sowohl ältere Fährten von Sauriern (Theropoden-/Ornithopoden) des Kimmeridgiums bekannt (Asturien: MENSINK & MERTMANN 1984), als auch jüngere aus der jüngsten Oberkreidezeit. Die terrestrischen Sedimente der Orcau-Formation, die am Südrand der Pyrenäen in den Becken von Tresp und Isona abgelagert wurden, führen Knochen und Zähne von Sauriern und wurden bekannt durch Funde von Dinosaurier-Eiern. In mehreren Horizonten sind Spuren entdeckt worden. Es überwiegen die Fährten quadrupeder Sauropoden (vgl. SANTAFÉ, CASANOVAS, LLOMPART 1989; LÓPEZ-MARTÍNEZ et al. 1998).

Verhältnismäßig wenig ist über weitere unterkretazische Fährten von Fundorten Europas bekannt. LAPPARENT 1960 und HEINTZ 1966 berichten von verhältnismäßig großen (Länge >60 cm) tridactylen Fuß-Abdrücken eines iguanodontiden Sauriers von Spitzbergen. Aus Kroatien beschrieb BACHOFEN-ECHT 1926 Spuren, die heute als Theropoden-Spuren gedeutet werden (DALLA VECCHIA, TARLAO & TUNIS 1993; DALLA VECCHIA 1994). Von BACHOFEN-ECHT als Riesen-Schildkrötenspuren gedeutete Eindrücke werden von LEGHISSA & LEONARDI 1990 als Sauropoden-Spuren angesehen. Aus Berrias-zeitlichen Dolomiten des Fantazija-Steinbruchs nahe Rovinji beschrieben TISLJAR et al. 1983 load-casts, die nach LOCKLEY et al. 1994c:240 möglicherweise Sauropoden-Spuren sind. Schließlich sind durch GABUNJA 1951ff Funde von tridactylen Trittsiegeln aus frühkretazischen („Unter-Neokom“) Gesteinen Georgiens beschrieben und als Theropoden-Spuren gedeutet worden.

Das von GINSBERG et al. 1966 beschriebene Vorkommen von (narrow-gauge: LOCKLEY et al. 1994c) Sauropodenfährten aus Nigeria, dessen Alter als „Grenzbereich Jura/Kreide“ angegeben wird, ist das einzige aus Afrika, das zeitlich den deutschen Berrias-Fährten entsprechen könnte. Unterkreidezeitliche Spuren aus Kamerun (JACOBS et al. 1989) sind jünger (Aptium).

Aus Asien sind die Vorkommen tridactyler Fährten, die MANABE et al. 1989 aus einem Horizont der Tetori-Gruppe (Ostküste Japans; Ishikawa-Präfektur) beschrie-

ben, die einzigen aus der Berrias-Zeit. Sie sind an Siliziklastika aus einem Ablagerungsraum des Brack- bis Süßwassers gebunden. Sehr reiche Ichnozönosen sind aus der Jingdong-Formation Koreas bekannt geworden, die vor allem entlang der Südküste aufgeschlossen ist (LIM et al. 1989; 1994). Sie sind vermutlich jünger als die nw-deutschen Vorkommen: die koreanischen Autoren geben „Unterkreide“ als Alter an (bestätigt durch S.-Y. Young, briefl. Mitt.); LOCKLEY et al. 1994c:241 nennen den Bereich Aptium-Albium. Von den verhältnismäßig vielen Fährtenlokalitäten Chinas (ZHEN et al. 1989) könnten lediglich Funde aus dem Ordos-Plateau (LI 1985), die als unterkretazisch eingestuft sind, zeitlich den nw-deutschen entsprechen. Nach ZHEN et al. 1989 sind mehr als tausend Trittsiegel, vermutlich von Carnosauriern, dokumentiert.

In N-Amerika sind nur die von CURRIE 1989 geschilderten Lokalitäten in British Columbia, aus den Mist Mountains (Schichtfolge reicht vom Tithon bis in das Berriasium) und vom Narraway River (Berriasium-Valagninium), eventuell als zeitgleich mit den nw-deutschen Vorkommen anzusehen. Damit besteht für das Berriasium eine bemerkenswerte Dokumentationslücke auf diesem Kontinent, auf dem die größten bekannten Spuren-Vorkommen sowohl des Oberjura (Morrison-Formation; s. PRINCE & LOCKLEY 1989), wie auch der höheren Unterkreide (Albium: u.a. Glen Rose-Formation, vgl. FARLOW et al. 1989; de Queen-Formation: PITTMAN & GILLETTE 1989) liegen.

In S-Amerika sind aus der Berrias-Zeit Spuren aus klastischen Sedimenten Chiles bekannt (CASAMIQUELA & FASOLA 1968), die nach Auffassung von LOCKLEY et al. 1994c:240 Sauropoden-Spuren (Typ „narrow-gauge“) sind. Dagegen kommen in Argentinien (LULL 1942) sowie an einer ganzen Reihe von Fundstellen Brasiliens, deren Alter nur generell als „unterkretazisch“ oder „prä-aptzeitlich“ angegeben werden kann (LEONARDI 1989), ausschließlich tridactyle Trittsiegel vor, die meist Theropoden und/oder Ornithopoden zugeordnet wurden. Sauropoden-Fährten sind lediglich an der prä-aptzeitlichen brasilianischen Lokalität Sao Domingos im Staate Goiás gefunden worden; sie laufen zum Teil parallel (LEONARDI 1980).

- Jura/Unterkreide ● Berrassium ○ tiefere Unterkreide ○ "Präaptium"

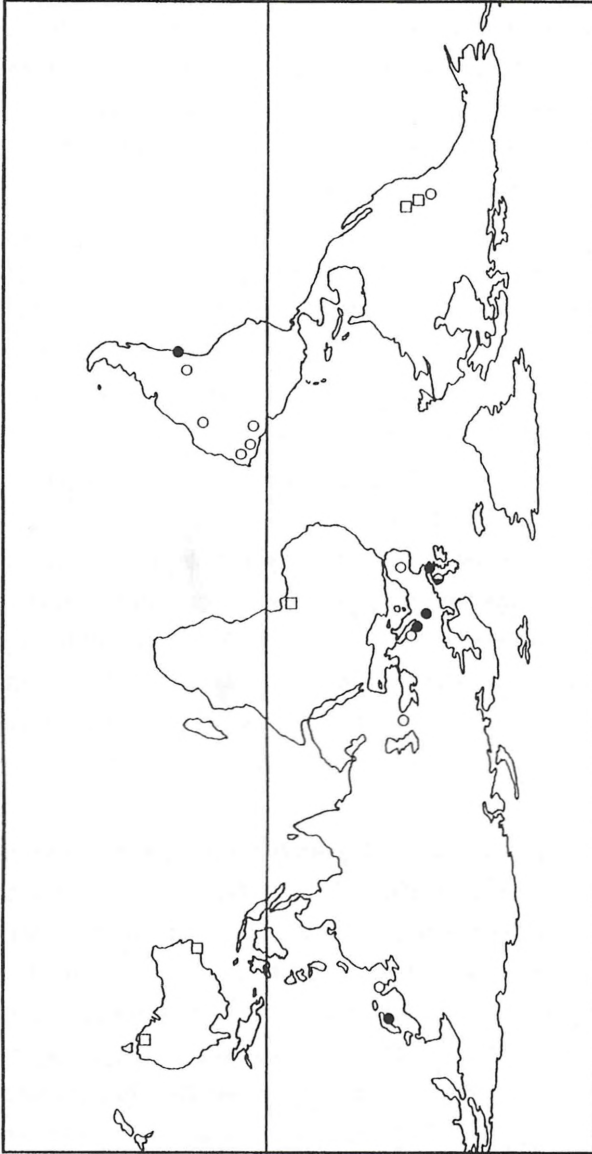


Abb. 28: Fundstellen von Saurierfährten aus der Zeitspanne zwischen dem jüngsten Oberjura und dem Aptium.

Fig. 28: Dinosaur track sites of terminal Jurassic to Aptian age.

Erst vor kurzem wurden aus dem Broome-Sandstein Australiens Fährten von Sauropoden, großen und kleinen Ornithopoden und Theropoden, sowie von Stegosauriden beschrieben (THULBORN et al.1994). Der Sandstein ist sicherlich unterkretazisch, vermutlich berriasch (obwohl auch Valanginium und Hauterivium diskutiert werden: THULBORNE et al.1994:87). Es besteht eine deutliche Faziesabhängigkeit der Ichnozöosen: Sauropodenfährten dominieren im lagunär-tidalen, während sie in Sumpf-/Wald-Milieu nur untergeordnet zusammen mit einer höher diversen Ichnofauna vorkommen.

6. DIE BEDEUTUNG DES NATURDENKMALS MÜNCHEHAGEN

Das Naturdenkmal Saurierfährten Münchehagen ist eine auch im weltweiten Vergleich bedeutende Fundstelle von Saurierfährten. Dies liegt zunächst daran, daß Spuren von Sauropoden aus einem Faziesraum überliefert werden, in dem sonst, wie es die Fundstellen im nw-deutschen und englischen Wealden belegen, Theropoden- und Ornithopoden-Spuren dominierte Ichnozöosen die Regel sind. Vergleichbares wurde lediglich aus Südengland (Dorset; WRIGHT et al.1997) bekannt. Dieser Fundort ist, zusammen mit Münchehagen, auch weltweit der einzige, der mit Sicherheit aus dem gleichen Zeitabschnitt des älteren Berriaiums stammt.

Auch die Anzahl der Fährten und die Länge der davon erhaltenen Abschnitte ist ungewöhnlich, wenn auch vor allem durch die Aufschlußverhältnisse begünstigt. In Deutschland und in Mitteleuropa gibt es keine einzige Lokalität diese Größe (Mega-Tracksite sensu LOCKLEY 1991), sowohl der Aufschlußfläche nach, als auch nach der Zahl der überlieferten Trittsiegel und Fährten. Nur in Portugal ist nahe Fatima ein vergleichbar großes Vorkommen, jedoch mit Fährten aus dem Mittleren Jura, erschlossen (SANTOS et al. 1994).

Die große Zahl von erhaltenen Fährten gibt Auskunft zur Lebensweise und zum Verhalten der Sauropoden. Alle Indizien sprechen dafür, daß die Münchehagener Spuren von einer kleinen Herde aus mindestens 8 Individuen von Sauropoden, die in ihrem Lebensraum wanderte, angelegt wurden.

Das Naturdenkmal ist die Typuslokalität für das Ichnotaxon *Rotundichnus muenchehagensis*, dessen Holotypus im Naturdenkmal konserviert ist. Diese Spur verknüpft Merkmale des *Brontopus*- mit denen des *Parabrontopus*-Typs und ist dadurch bisher einzigartig.

Wichtig ist auch, daß im Naturdenkmal eine Vielzahl weiterer Sedimentstrukturen, wie Rippelmarken, Erosionsrinnen und Wurzelhorizonte, neben Fossilien, wie Pflanzenresten, Muscheln und Lebensspuren weiterer endobenthonischer Organismen den Lebensraum der fährtenenerzeugenden Saurier detailliert schildern lassen. Darüberhinaus belegt die Lokalität die Existenz von Dinosauriern im Berriasium Deutschlands, einer Zeit, aus der Körperfossilien, wie etwa Knochen, Zähne oder ganze Skelette selten oder, wie etwa von Sauropoden, bisher sogar völlig unbekannt sind.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Das Naturdenkmal „Saurierfährten Münchhagen“ erschließt auf einer Fläche von 15.000 m² 256 Trittsiegel von quadruped laufenden Sauropoden und eine Fährte eines biped laufenden Tieres mit tridactylem, vogelartigem Fuß. Es gehört damit zu den Fährten-Großvorkommen (Mega-Tracksite). Die Spuren sind als Außenspuren überliefert, deren Erhaltung im einzelnen durch taphonomische Vorgänge recht unterschiedlich ist. Sie sind auf einer Schichtfläche des „Hauptsandstein“ dokumentiert, einem charakteristischen Horizont an der Basis der Obernkirchen-Folge 2, der zur Zeit der *Cypridea alta formosa*-Subozone des höheren Berriasiums abgelagert wurde.

Die Sauropoden-Trittsiegel sind zum Teil zu Fährten angeordnet. Sie zeigen länglich-ovale, im Durchschnitt 90 cm lange und 85 cm breite Hinterfußabdrücke, die die rundlichen, zwischen 45 und 75 cm großen Vorderfußabdrücke dort, wo sie überliefert sind, am Hinterrand übertreten. Die durchschnittliche einseitige Schrittlänge (Stride) beträgt 2 m, die einfache Schrittlänge (Payce) 1,6 m, die Gangbreite 0,7 m. Die lichte Weite (gauge) der Fährten liegt bei 0, wodurch sie zum „near gauge“-Typ gehören. Gut erhaltene Hinterfußabdrücke sind im Umriß dreieckig. Vom schmal

zulaufenden Hinterende, erzeugt von der Ferse, zieht ein steil eingesenkter Innenrand nach vorne zum am tiefsten eingedrückten Teil des Trittsiegels. Weitere Fußmerkmale sind nicht erhalten, so daß die Annahme, die Fährten seien von Tieren der Gattung *Apatosaurus* angelegt, nur unsicher sein kann. Die Fährten stammen von mindestens 8 Individuen, die als kleine Herde gleichzeitig von W nach O wanderten.

Die Dreizeher-Fährte setzt sich aus 19 Trittsiegeln zusammen, die sehr schlecht erhalten sind. Sie sind zwischen 44 und 56 cm lang und 43 - 52 cm breit. Der Winkel zwischen der 2. und der 3. Zehe beträgt 20 - 40°, der zwischen der 3. und der 4. 30 - 40°. Die einseitige Schrittlänge liegt zwischen 1,2 und 1,4 m, rechte und linke Fußindrücke liegen auf einer Linie oder greifen sogar auf die Gegenseite über. Die schlechte Erhaltung gibt keine Auskunft über die mögliche Erzeuger-Art.

Die Taphonomie der Saurier-Fährten ist sehr komplex und führt zu recht unterschiedlicher Erhaltung. Schon kurz nach der Anlage der Spuren wurde ein Teil von ihnen durch Wasserbewegung wieder verwischt. Dünne Tonhäutchen, vielleicht auch Biofilme, schützten die übrigen. Sie wurden durch aufeinanderfolgende Sedimentlagen plombiert und mehr und mehr von Sand überlagert. Ein Hochenergieereignis (?Sturm) hat das Auflager bis hinab zu den Spuren und ihren Füllungen z.T. erodiert. Die heutigen Trittsiegel sind also nur reliktsch dokumentiert.

Der Lebensraum der Münchehagener Saurier war eine sehr flache Süßwasserlagune, die südlich eines Sandbarrens lag, das sie gegen das Niedersächsische Becken abschloß. Reiche Vegetation, die im feuchtwarmen Klima gedieh, bildete die Nahrungsgrundlage der Sauropoden. Die Pflanzenwelt ist in Form von Kohleflözen, Lagen von Pflanzenhäcksel, von Wurzelhorizonten und durch ihre Pollen und Sporen nachgewiesen.

Ein Vergleich der Berrias-zeitlichen Vorkommen von Saurierspuren zeigt, daß es weltweit nur wenige gleichaltrige Fährten-Lokalitäten gibt. Ein große Besonderheit ist die Dominanz von Sauropoden-Trittsiegeln in einer Fazies, die sonst durch tridactyle Fährten charakterisiert ist.

DANK

Grundlage dieser Arbeit ist die Dokumentation der Spuren durch die Kollegen S. Kulle-Battermann und R.Töneböhn, denen hiermit für ihre sorgfältige Aufnahme gedankt sein soll. Der Landkreis Nienburg förderte diese Arbeiten finanziell. Das Amt für Naturschutz des Kreises übernahm umfangreiche Reinigungsarbeiten auf der Fährtenfläche und tut dies auch heute noch. Für wissenschaftliche Beratung, vielfältige Hinweise auf Literatur und bisher wenig bekannte Fährtenvorkomen, sowie Unterstützung bei der Bearbeitung der Lokalität danke ich M. Benton und J. Wright, Bristol, H.-R.Look, BGR, Hannover, D.Thies, Hannover, S.-Y. Yang, Seoul und G.Kauffmann, Marburg. M.Böhnke, Hannover, half bei der Erstellung der Zeichnungen. Das Interesse der Münchehagener Bevölkerung und des „Freundeskreises“ unter der Leitung von R.Hulke, Nienburg, hat die Beschäftigung mit dem Naturdenkmal und die Begeisterung für die einmalige Lokalität immer wieder angespornt.