

## Sedimenttexturen und Lebensspuren der Sohlbank des Naturdenkmals „Saurierfährten Münchehagen“

VON  
Tobias SCHWENNICKE

**Kurzfassung:** Die Sohlbank des Naturdenkmals ist von kleindimensionaler Wellenrippelschichtung dominiert, die bioturbat modifiziert ist. Ihre Oberfläche schneidet tieferliegende Flächen erosiv an, die jeweils charakteristische Muster von Oszillationsrippeln unterschiedlicher Richtung und z.T. durch ablaufendes Wasser überprägt, aufweisen. Reste von Füllungen prielartiger Entwässerungsrinnen sind in die Sohlbank eingeschnitten. Die Sohlbank weist eine diverse Ichnofauna auf. Sie wird dominiert von Formen einer *Cruziana*-Ichnozönose; Elemente der *Skolithos*-Ichnozönose sind ihr beige-mischt. Alle Sedimenttexturen zeigen ein niedrigenergetisches Flachwassermilieu an.

**Abstract:** The basal bed of the Natural Monument Münchehagen, called "Sohlbank", is composed of a quartzitic sandstone. The bed is characterized by wave ripple bedding, which is altered by bioturbation. Its surface cuts erosively older, thin sandstone layers typically covered by ripple marks on their upper bedding plane. All ripple marks are oscillation ripples which are partially modified by retreating water. Sedimentary channel fillings cut into the "Sohlbank". A highly diverse ichnofauna is described. It comprises elements of a *Cruziana* ichnocoenosis in addition to some traces of a *Skolithos* ichnocoenosis. The sedimentary and biogenic structures suggest a low energy, shallow-water depositional environment.

### 1. EINLEITUNG

Die Sohlfläche des Naturdenkmals „Saurierfährten Münchehagen“ zeigt neben den Saurierspuren eine Vielzahl weiterer auffälliger Formen, wovon unter Rippelmarken von unterschiedlicher Größe und Kammverlauf und die Netzmuster von Lebensspuren besonders hervorzuheben sind. Da ihre Entstehung unmittelbar mit dem ehemaligen Lebensraum der Saurier verknüpft ist, soll hier eine Übersicht über die Sedimenttexturen der Sohlbankfläche gegeben werden. Eine detailliertere Beschreibung findet sich bei SCHWENNICKE (1988, 1993).

### 2. KARTIERUNG DER SOHLFLÄCHE DES AUFSCHLUSSES

Die Sohle des Naturdenkmals wird von einer durchgehenden Bankfläche siltigen Feinsandsteins gebildet, deren größter Teil eine wulstige Oberfläche aufweist. Im Süd- und Ostteil des Aufschlusses sind jedoch auch maximal wenige cm tieferliegende Schichtflächen in unterschiedlichen

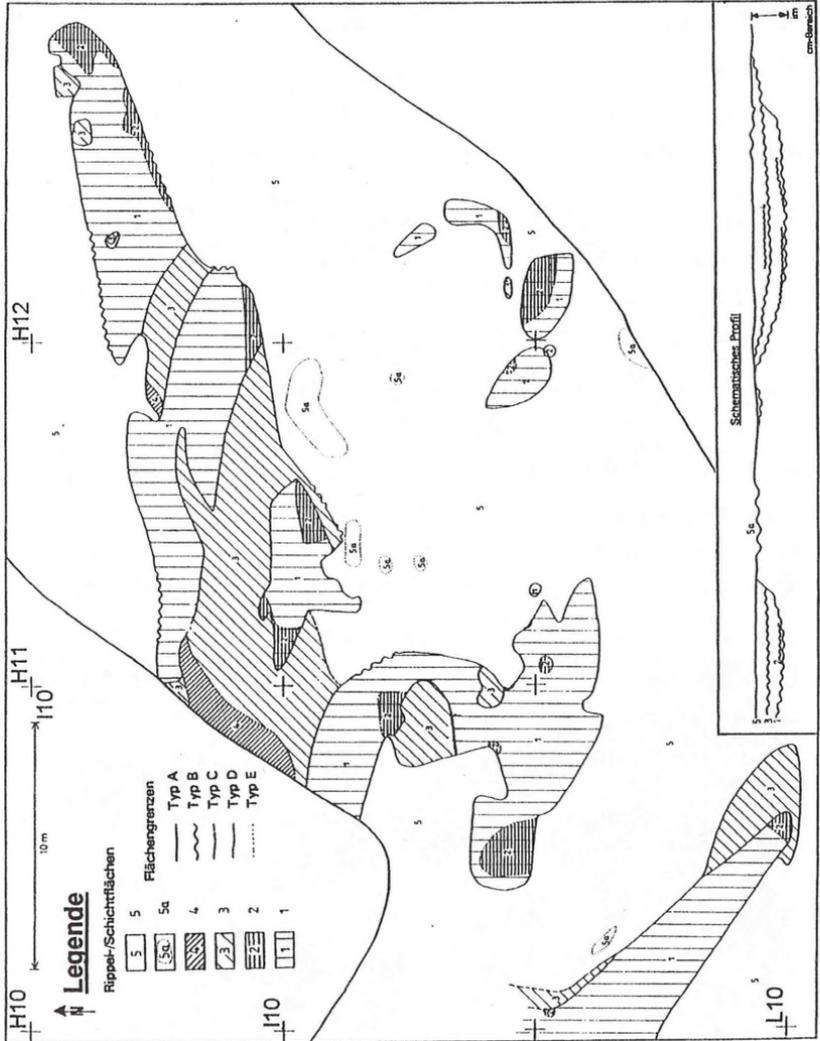
Niveaus großflächig freigelegt. Die Oberflächen dieser nur wenige mm bis maximal 3 - 4 cm mächtigen Schichten weisen eine Vielfalt von Marken (vor allem Rippelmarken) und Spuren auf (Abb.1). Um die räumlich-zeitlichen Beziehungen der angeschnittenen Schichten und das Inventar der Marken und Spuren detailliert zu erfassen, wurden ausgewählte Bereiche auf der Basis des Grundrißplans des Naturdenkmals sowie des Rasternetzes, das zur Dokumentation der Spuren erstellt wurde (vgl. Arb. FISCHER, Abb. 5) kartiert (SCHWENNICKE 1988, 1993). Die Abb. 2 gibt einen dieser Bereiche wieder.



**Abb. 1:** Teilansicht der Rippelflächen der Sohlfläche des Naturdenkmals.

Wie aus dem Profilschnitt in Abb. 2 hervorgeht, ist die Fläche 5 das höchstgelegene der angeschnittenen Schichtniveaus. Sie bildet den größten Teil der Sohle des Naturdenkmals. Sie besitzt ein unregelmäßig-wulstiges Relief, hervorgerufen durch unregelmäßig begrenzte, zum Teil ineinander übergehende Vertiefungen von maximal einigen cm Tiefe in ihrer Oberfläche (Abb. 5). Mit zunehmender Ausdehnung nimmt ihre Tiefe zu. Während kleinere Vertiefungen meist längliche Umrisse haben, besitzen größere unregelmäßigere Formen. In einigen Bereichen der Oberfläche 5

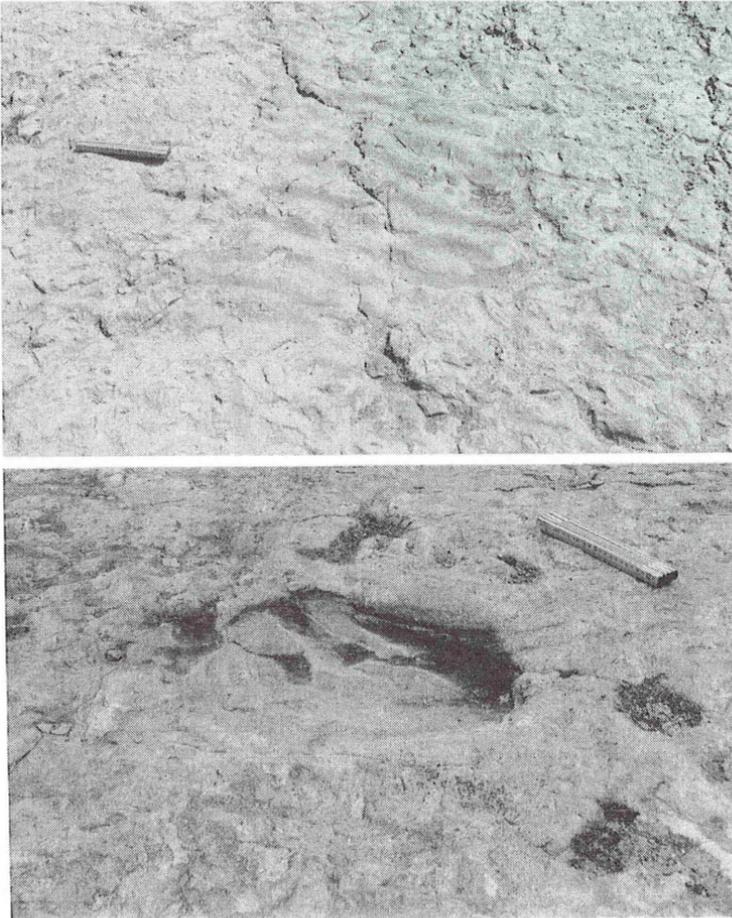
treten die Vertiefungen in ihrer Häufigkeit zurück und es existieren darüberhinaus kleine Areale (maximal wenige dm) mit mehr oder weniger glatter



**Abb. 2:** Karte eines Teilbereichs der Rippelflächen: Die Rippelfläche 1 stellt das tiefste, die Fläche 5 mit Rippelflächen 5a das höchste auf-geschlossene Flächenniveau auf der Aufschlußsohlbank dar. Flächengrenzen: Typ A: willkürliche Abbruchkanten infolge des Steinbruchbetriebes. Typ B: Diskordanzen. Typ C: verwitterungsbedingt "unscharfe" Grenzen. Typ D: Grenzen von primär nur fleckenhaft angelegten Rippel-flächen 2 und 4. Typ E: Grenzen von Rippelflächen 5a. Schematisches Profil: Überhöhtes schematisches Profil zur Veranschaulichung der Lagebeziehung der Flächen (weitere Erläuterung im Text).

Oberfläche. Die Entstehung der Fläche 5 wird in Arbeit FISCHER (Abb.19) diskutiert und illustriert. Weiterhin kommen isolierte, bis einige dm große Flächen mit Rippeln (5a) im Bereich der Fläche 5 vor.

Rippelmarken kommen in mehreren Niveaus (1 bis 5) vor; sie wurden während des Steinbruchbetriebes oder nachfolgend durch die Verwitterung freigelegt. Da diese Schichten durch tonige Häutchen gegeneinander ge-



**Abb. 3:** Die wulstige Oberfläche 5 mit isolierten "fleckenhaften" Rippelvorkommen (5a). Oben: Ovaler Fleck mit Rippeln, nur wenig in die Fläche 5 eingesenkt. Unten: Rippelfläche 5a, geneigt gegen die Fläche 5 auf der der Maßstab (22 cm) liegt.

trennt sind, lösen sie sich leicht voneinander ab (vgl. Kap. 2.1.). Die aufgeschlossenen Teilflächen der verschiedenen Rippelflächen lassen sich innerhalb des Naturdenkmals gut korrelieren (Abb. 2), da die Rippelsysteme der unterschiedlichen Rippelflächen eine jeweils typische Ausbildung aufweisen (Streichen und Gestalt der Rippeln u.a.). Die Existenz der Rippelflächen 1 bis 4 beschränkt sich weitgehend auf die heute freiliegenden Areale im Süd- und Ostteil der Sohlfläche. In anderen Arealen sind sie nur sporadisch in kleinen "Flecken" von wenigen dm bis m Größe vorhanden und wahrscheinlich auch nur noch in geringem Maße unter der heutigen wulstigen Sohloberfläche verborgen. Meist sind sie bei der Anlage der Oberfläche 5 zerstört oder abgetragen worden.

Das schematische Profil in der Abb. 3 stellt überhöht die Lagebeziehungen der kartierten Flächen zueinander dar. Die Rippelmarken sind schematisch dargestellt, geben aber ihre Größenverhältnisse zueinander in etwa richtig wieder: Die Rippelfläche 1 stellt das älteste aufgeschlossene Flächenniveau dar und ist großflächig verfolgbar. Sie zeigt ein deutliches Relief und stellenweise sind auf ihr regelrechte Steilkanten von einigen cm Höhe, als Ränder höher gelegener Areale, ausgebildet. Nachfolgend wurden die Rippelflächen 2 angelegt. Dies geschah nachweislich nur fleckenhaft in Form von Arealen, die nur selten eine Ausdehnung von mehr als 1 m<sup>2</sup> erreichen. Die oft nur wenige mm mächtigen, rippeltragenden Sedimentlagen keilen randlich aus. Die Rippeln gehen hier in die ältere Fläche 1 über, um dort schließlich auszulaufen. Die nächstjüngere Rippelfläche 3 ist wiederum großflächig angelegte. Sie besitzt ein deutlich geringeres Relief als die Oberfläche 1. Erneut nur fleckenhaft wurde anschließend die Rippelfläche 4 gebildet. Das Rippelsystem 5a war ursprünglich ebenfalls eine großflächig angelegte Rippelfläche, wurde aber nachträglich weitgehend zerstört und ist nur noch in Resten im Niveau der Fläche 5 erhalten (Kap. 3.5.). Die Fläche 5 stellt eine morphologisch weitgehend ausgeglichene Oberfläche dar (Kap. 3.2.) und entspricht wahrscheinlich der

"isochronen Schichtfläche" von JÜRGENS (1972) in einigen Steinbrüchen bei Münchehagen. Sie schneidet alle tieferliegenden Rippelflächen erosiv ab.

Die Verbreitungsgrenzen der einzelnen Rippelflächen sind durch mehrere Faktoren begründet. Oft sind es willkürlich durch Steinbruchbetrieb oder Verwitterung entstandene Abbruchkanten zu einer tiefer gelegenen Schichtfläche, aber nicht unbedingt zur nächsttieferen (Typ A). Auskeilende Tonlagen können dabei das Ablöseverhalten der Schichten zueinander beeinflussen und damit die Lage von Abbruchkanten bestimmen. Weiterhin können Erosionsdiskordanzen die Verbreitungsgrenzen von Rippelflächen markieren (Typ B), wobei häufig die liegende Rippelfläche unmittelbar "vor" ihrer Kappung ein deutliches Ansteigen zur Erosionsdiskordanz hin aufweist. Den Typ C stellen Verbreitungsgrenzen dar, die bei der Verwitterung "unscharf" geblieben sind und im Gelände keine klare Linie markieren. Schließlich kommen die schon primär nur fleckenhaft angelegten Rippelflächen 2 und 4 vor, die durch den Flächengrenzen-Typ D begrenzt werden.

Isolierte, "fleckenhafte" Rippelflächen (mit "5a" in den Abb. 3 und 4 bezeichnet) kommen im Niveau der Fläche 5 im gesamten Bereich des Naturdenkmals vor. Ihre maximale Ausdehnung beträgt wenige m, ist meist aber viel geringer. Ihre Begrenzung stellt einen weiteren Typ dar (Typ E): Die Rippelflächen liegen überwiegend etwas unter dem Niveau der Fläche 5, wiederholt auch genau in diesem Niveau bzw. manchmal sogar leicht darüber. Im ersten Fall werden die Rippeln randlich überlagert, im zweiten und dritten Fall mehr oder weniger deutlich randlich durch eine Erosionsdiskordanz gegen die Oberfläche 5 begrenzt. Häufig treten beide Möglichkeiten nebeneinander auf (Abb. 5 A, B). Die isolierten Vorkommen stellen die Reste einer ursprünglich durchgehenden Fläche dar (Kap. 3.3).

### **3. SEDIMENTTEXTUREN**

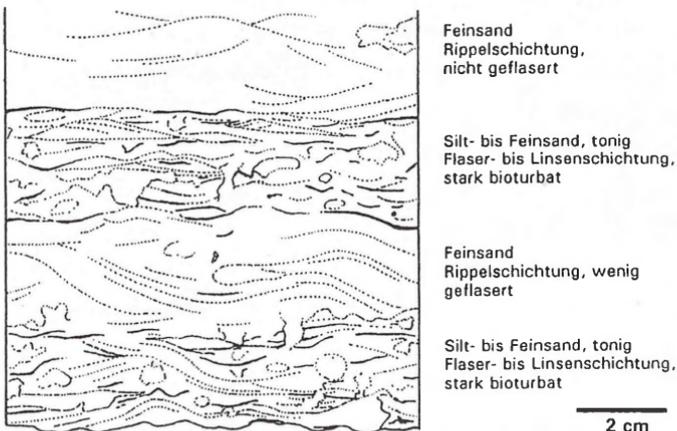
#### **3.1. Schichtung**

In Proben aus der Sohlbank stellt kleindimensionale Wellenrippelschichtung den dominierenden Schichtungstyp dar. Sie zeigt durch ihre symmetrischen, bzw. ungleichsinnig asymmetrischen Gefüge, daß sie ohne Strö-

mungseinfluß unter rein oszillierender Wasserbewegung entstanden ist (HARMS et al. 1982). Die InternTexturen sind im allgemeinen nur undeutlich erkennbar, da sich das vorwiegend feinsandige Gestein durch gute Kornsortierung auszeichnet und in unterschiedlichem Maße bioturbat entschichtet ist. Letzteres erzeugte schlierige Texturen im Sediment. Einzelne kleine tonige Intraklasten, Pflanzenhäcksel und feiner Bruchschill sind eingelagert.

Die Rippelmuster auf den Schichtoberflächen sind durch Tonhäutchen abgedeckt. Sie fixierten die Oberflächen und erschwerten ihre Aufarbeitung (Hjulström – Diagramm, s. REINECK & SINGH 1980). Meist sind die Tonlagen in den Rippeltälern deutlich mächtiger (bis zu ca. 3 mm), manchmal fehlen sie auf den Rippelkämmen ganz. Fehlen die Tonhäutchen, lassen sich einzelne Schichten nicht mehr voneinander ablösen.

Kleindimensionale Flaser- und Linsenschichtung kommt in der Sohlbank des Naturdenkmals ebenfalls häufig vor (mehrere Proben aus dem Südteil der Sohlfläche; vgl. Abb. 7). Sie ist stark durch Bioturbation überprägt. Der rhythmische Wechsel von Flaser- und Linsenschichtung einerseits und Rippelschichtung andererseits deutet auf zyklische Veränderungen des Energieniveaus im insgesamt niedrigerenergetischen Ablagerungsraum hin.



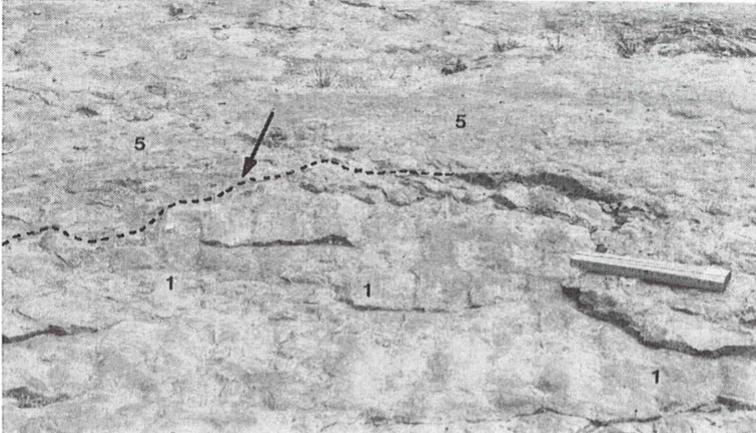
**Abb. 4:** Stark bioturbate Linsen- und Flaserschichtung im Wechsel mit Rippelschichtung. Südteil der Sohlfläche.

Gelegentlich treten in linsen- und flasergeschichteten Gesteinen Deformationsstrukturen in Form von wulstigen Wickelstrukturen auf; die ehemals vorhandenen Sandlagen und -linsen werden dadurch zerstört. Die Strukturen entstanden wahrscheinlich hauptsächlich durch schockartiges Aufschwimmen von Schlamm (z.B. beim Trockenfallen), verbunden mit dem Einsinken sandiger Partien (BOGGS 1995).

Die Sedimentfüllungen von Rinnenrelikten (Kap. 3.6.) zeigen völlig andere Schichtungsmerkmale. Hier tritt vorwiegend mittel- bis großdimensionale trogförmige Schrägschichtung auf. Die interne Laminierung ist durch Korngrößenwechsel gut sichtbar und nur selten bioturbat überprägt.

### 3.2. Erosionsdiskordanzen

Neben den Kleinst-Diskordanzen der Rippelschichtung sind im Aufschluß auch großflächig verfolgbare Erosionsdiskordanzen zu beobachten. Die auffälligste wird durch die im Niveau weitgehend ausgeglichene Fläche 5 gebildet. Sie kappt ein älteres Relief und gleicht es aus (Abb. 5).



**Abb. 5:** Die Fläche 5 als Ausgleichsfläche: durch die Oberfläche 5 werden nur die ehemals höher gelegenen Areale der Rippelfläche 1 erosiv abgeschnitten (siehe Pfeil).

Weitere Erosionsdiskordanzen sind in Gesteinsanschliffen aus dem Ostteil der Sohlfläche zu beobachten. Sie sind meist mit einem Korngrößenwechsel

verbunden und können ein ausgeprägtes Kleinrelief ausgleichen, wenn das liegende Sediment eine genügende Bindigkeit besaß. In rezenten Milieus ist dies beispielsweise im Schlickwatt der Fall. Die Existenz der Diskordanzen deutet auf variable energetische Verhältnisse bzw. zeitweiligen Strömungseinfluß hin.

### 3.3. Rippelmarken

Die Rippelmarken der Sohlfläche des Aufschlusses (Kap. 1.) unterscheiden sich in Größe, Gestalt und Streichrichtung. Da sie wichtige Informationen über den Ablagerungsraum vermitteln können, wurden die Marken systematisch vermessen (Kap. 3.3.1., 3.3.2.). Dabei wurde erkennbar, daß sie häufig synsedimentär überprägt sind (Kap. 3.3.3.).

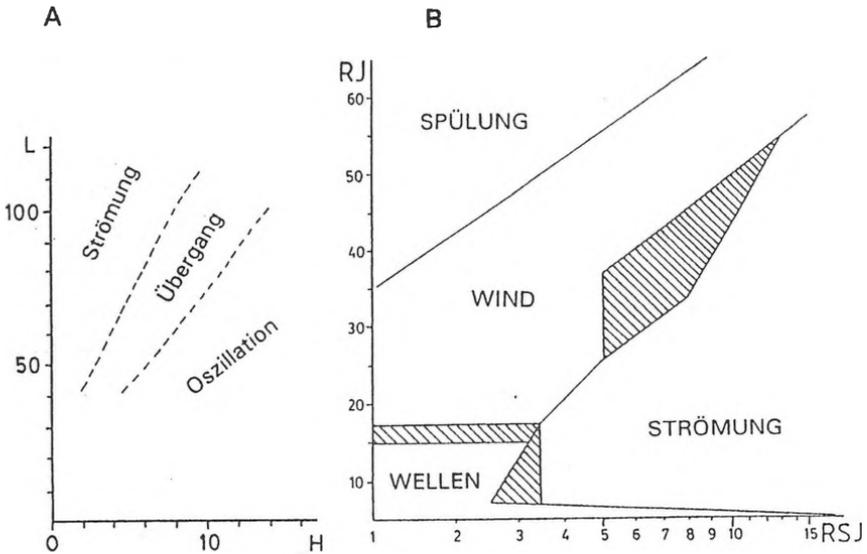
#### 3.3.1. Methodik der Rippelmessungen

Als Rippel-Grundtypen sind in aquatischen Milieus Strömungs- und Wellenrippeln unterscheidbar. Zwischen beiden Grundtypen existieren als Übergangsform asymmetrische Wellenrippeln, die durch asymmetrische Oszillation oder bei gleichzeitigem Wirken von Oszillation und Strömung entstehen (REINECK & WUNDERLICH 1968, HARMS et al. 1982).

Zur Beschreibung von Rippelmarken benutzt man eine Reihe meßbarer Parameter, die rechnerisch und statistisch ausgewertet werden können. Es sind dies die Rippellänge  $L$ , die Rippelhöhe  $H$  sowie die Projektionen  $I_1$  und  $I_2$  von Luv- und Leehang auf die Basis (REINECK & WUNDERLICH 1968, REINECK & SINGH 1980). Sekundär überprägte Rippelmarken (Kap. 3.3.3.) wurden bei der Vermessung zur Bestimmung dieser Parameter nicht berücksichtigt (vgl. TANNER 1967). Aus den Daten lassen sich der Rippel-Index (RI) als  $RI = L/H$  und der Rippelsymmetrie-Index (RSI) als  $RSI = I_1/I_2$  berechnen (REINECK & SINGH 1980). Die ermittelten Werte können graphisch dargestellt werden (Abb. 6).

Um den unterschiedlich stark pendelnden Verlauf der Rippelkämme und auch ihre Streichrichtung charakterisieren zu können, wurden Kämme

jeweils in kurzen Abständen eingemessen. Die Daten werden als Richtungsrosen dargestellt.



**Abb. 6:** Diagramme für Rippelmeßdaten. A: L-H-Diagramm, B: RI-RSI-Diagramm (nach TANNER 1967). Die schraffierten Felder stellen Überlappungsbereiche dar.

Die angewendete Meßmethode für Rippelprofile birgt Fehlerquellen. So können die Rippelmarken syngedimentär durch Regen, Sedimentation in den Rippeltälern, Überprägung durch strömendes Wasser bzw. durch Änderungen in der Strömungsart und Richtung in ihrer Form verändert worden sein. Postsedimentär ist mit frühdiagenetischer Kompaktion zu rechnen (BRUUN-PETERSEN & KRUMBEIN 1968). Schließlich kann auch die Verwitterung Rippelmarken verändert haben. Dadurch können vor allem geringere Rippelhöhen vorgetäuscht werden und die Werte verschieben sich im Diagramm (Abb. 6B) in Richtung "Windrippeln".

### 3.3.2. Resultate der Rippelmessungen

Das Streichen der Rippelmarken ist in Abb. 7 dargestellt. Insgesamt gesehen, treten sehr unterschiedliche Streichrichtungen auf. Innerhalb der Rippeln einer isochronen Rippelfläche ist jedoch das Streichen meist in

etwa konstant. Hin und wieder kommen Rippelmarken vor, die lokal durch ein Umbiegen der Kammlinien ihre Streichrichtung ändern. Weiterhin sind gelegentlich Interferenzrippeln zu beobachten.

Das unterschiedliche Streichen der Rippelmarken, speziell auf den Rippelflächen 1, 3 und 5, weist in Verbindung mit dem Auftreten von Interferenz und Wellenbeugung auf eine Entstehung der Rippeln unter Flachwasserbedingungen in Küsten- bzw. unmittelbarer Ufernähe hin, da hier durch refraktierte Wellen und sich kreuzende Wellensysteme alle möglichen Streichrichtungen auftreten können (GRAFENSTEIN 1984). Die Unterschiede im Kammverlauf innerhalb einer Rippelfläche wurden wahrscheinlich durch gering variierende Wassertiefen im Zusammenhang mit einem veränderlichen Einfluß unterschiedlicher Wellenrichtungen hervorgerufen. Das insgesamt nur seltene Auftreten von Interferenzrippeln deutet auf nur geringe Reliefunterschiede der damaligen Sedimentoberfläche mit wenigen kleinen Untiefen im Bereich des heutigen Aufschlusses hin. Die Kante einer solchen Untiefe befindet sich ca. 2 m östlich der Rippelmeßgruppe 1A (Abb. 7). Die Untiefe selbst wurde im Zuge der Anlage der Fläche 5 erosiv abgeschnitten und ist nicht mehr als solche erhalten.

Den Kammverlauf der Rippelmarken charakterisieren die Richtungsrosen in der Abb. 7. Bei jeweils in etwa konstanter durchschnittlicher Streichrichtung der Rippelmarken auf den Flächen 1 bzw. 3, zeigen sich innerhalb dieser Unterschiede im Kammverlauf ("ruhiger" bzw. "unruhiger"). Besonders auffällig ist der nahezu gestreckte Kammverlauf der Rippeln der Rippelfläche 1 im Areal um das Koordinatenkreuz K/L-10/11 (Abb. 7), erkennbar an der geringen Streuung der Werte in der Richtungsrose. Die Ursache dafür ist eine lokale Kappung der Rippelmarken durch strömendes Wasser (Kap. 3.3.3.), was zu einer Begradigung des Kammverlaufs führte.

Die Rippelprofilmessungen wurden in ausgewählten Arealen nach dem oben beschriebenen Verfahren durchgeführt. Die Meßgebiete der einzelnen Rippelmeßgruppen sind in der Karte der Abb. 7 eingetragen. Die aufgeschlüsselten Resultate sind aus den Diagrammen der Abb. 8 und 9 zu erse-

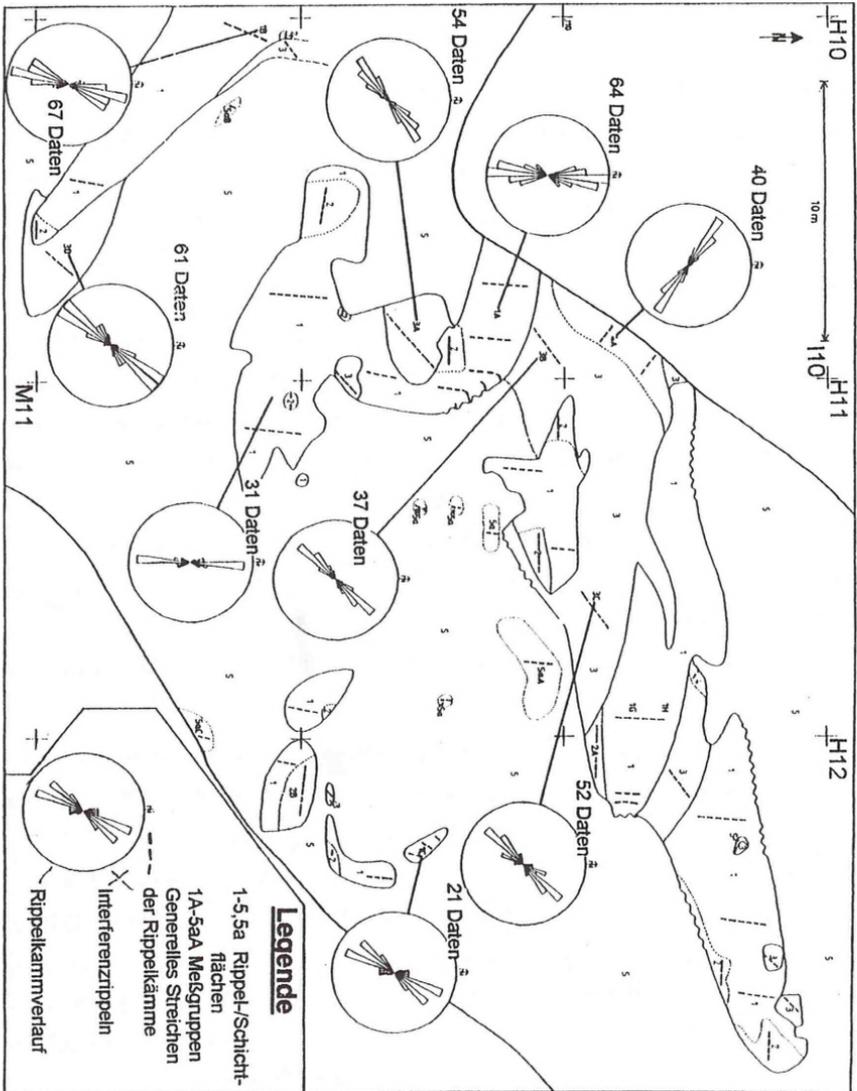


Abb. 7: Karte: Rippelsysteme der Rippelflächen 1, 2, 3, 4 und 5a. Die generelle Rippelrichtung ist durch ----- angedeutet. Eingetragen ist die Lage von Rippelmeßgruppen ("1B", siehe Abb. 8 - 9); die zugehörigen Richtungsrosen spiegeln den unterschiedlich stark pendelnden Kammverlauf wider.

hen. Ergänzend dazu zeigt die Abb. 10 typische Rippelprofile der einzelnen Meßgruppen.

Aus der Auswertung der Daten ergibt sich: Die meisten Rippeln sind symmetrische bis leicht asymmetrische Wellenrippeln (jedoch ohne gleichgerichtete Orientierung der Asymmetrie der Rippeln einer Fläche), da ihre Werte in den RI-RSI-Diagrammen alle in den Bereich "Oszillation" und in den L-H-Diagrammen in den Bereich "Oszillation" oder in den Übergangsbereich fallen (Abb. 8,9). Generell handelt es sich um Kleinrippeln (vortex-Wellenrippeln; HARMS et al. 1982), jedoch kann ihre Größe auch innerhalb einer Rippelfläche erheblich schwanken (Abb. 8, 9). Letzteres ist wahrscheinlich auf ein unterschiedlich hohes Energieniveau an der Sedimentoberfläche in den verschiedenen Arealen zum Zeitpunkt der Rippelbildung zurückzuführen. Vermutlich spielten vorwiegend geringe Wassertiefenunterschiede eine Rolle.

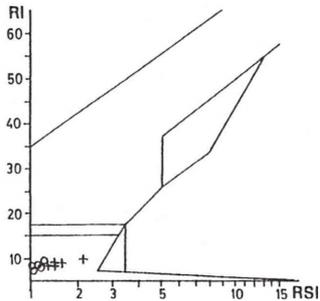
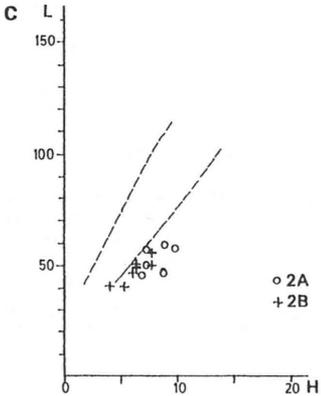
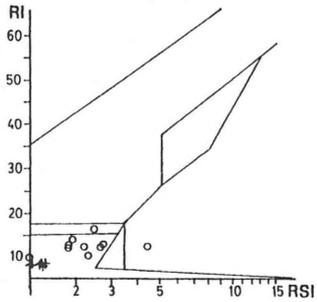
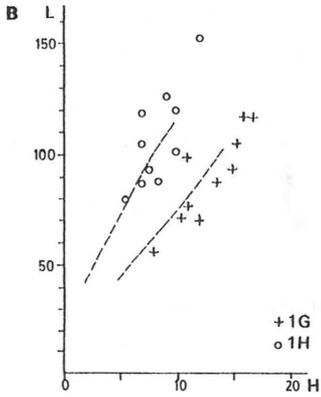
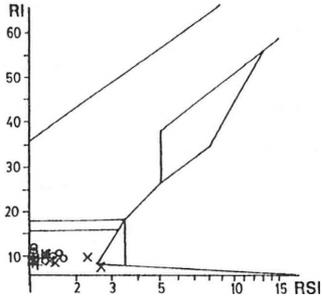
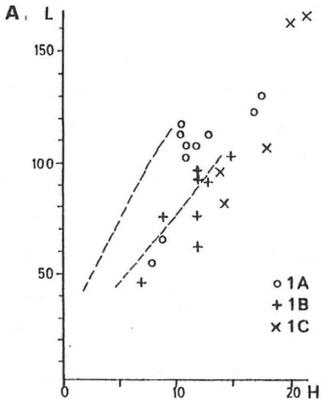
Aus der Größe der Rippeln und der Korngröße des Sediments (Feinsand) ergibt sich, daß die Rippeln bei insgesamt niedrigen Geschwindigkeiten des Wassers am Boden entstanden sind (s. HARMS et al. 1982). Eine Aussage über die tatsächliche Stärke der Wellenbewegung an der Oberfläche läßt sich daraus aber nicht ableiten, da die resultierende Wasserbewegung am Boden von der Wassertiefe abhängt (BOGGS 1995). Die Tonlagen auf den Rippelflächen kennzeichnen Stillwasserphasen.

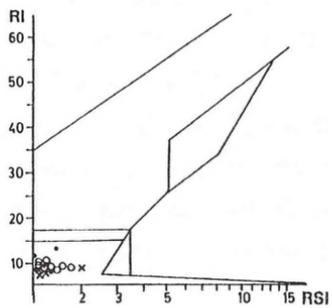
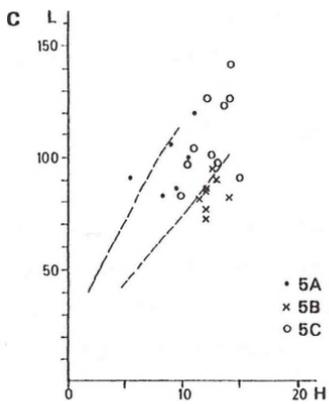
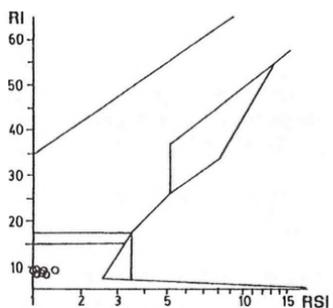
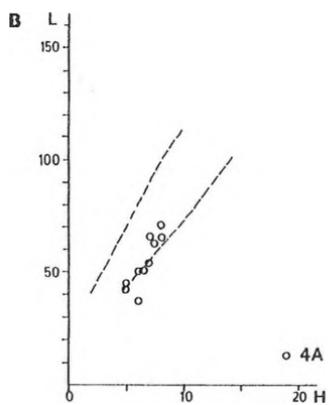
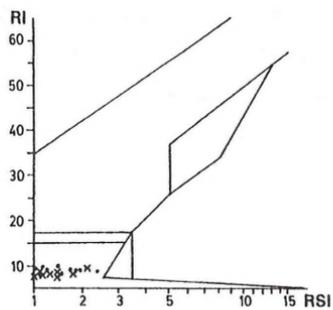
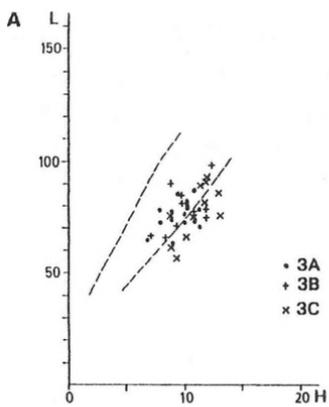
In der Abb. 8 werden die benachbarten Meßgruppen 1G und 1H der Rippelfläche 1 miteinander verglichen (vgl. dazu die entsprechenden Rippelprofile

Erläuterungen zu den beiden folgenden Seiten

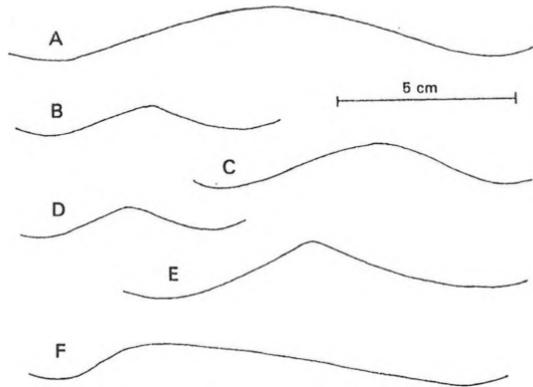
**Abb. 8:** Auswertung der Rippelprofilmessungen getrennt nach Rippelflächen und Rippelmeßgruppen. Die einzelnen Rippelmeßgruppen sind durch unterschiedliche Symbole bezeichnet. Zur Lage der Rippelmeßgruppen auf den Rippelflächen siehe Abb. 7. Zur Erläuterung der Diagramme vgl. Abb. 6, weitere Erläuterung im Text. A: Meßgruppen 1A, 1B, 1C der Rippelfläche 1. B: Meßgruppen 1G und 1H der Rippelfläche 1. C: Meßgruppen 2A und 2B der Rippelfläche 2.

**Abb. 9:** Auswertung der Rippelprofilmessungen: A: Meßgruppen 3A, 3B, 3C und 3D der Rippelfläche 3. B: Meßgruppe 4A der Rippelfläche 4. C: Meßgruppen 5A, 5B und 5C der Rippelfläche 5.





der Abb. 10). Die Rippeln der Meßgruppe 1H zeigen eine deutliche Asymmetrie, wodurch einige Werte sogar in den Bereich "Strömung" fallen. Diese Rippeln haben durchschnittlich eine größere Rippellänge als die Rippeln der jeweils benachbarten Meßgruppe bei meist kleinerer Rippelhöhe. Eindeutig haben diese asymmetrischen Rippeln eine Strömungsbeeinflussung erfahren.



**Abb. 10:** Typische Rippelprofile der unterschiedlichen Rippelflächen.

A: Rippelfläche 5. B: Rippelfläche 4. C: Rippelfläche 3. D: Rippelfläche 2. E: Rippelfläche 1. F: Typisches Profil für strömungsüberformte Rippeln der Fläche 1.

Die Rippeln der Meßgruppe 1H können jedoch nicht primär als Strömungsrippeln gebildet worden sein, da sie nur "fleckenhafte" zusammen mit Wellenrippeln auf ein und derselben Rippelfläche vorkommen. Das gemeinsame Vorkommen von Wellen- und Strömungsrippeln auf einer Fläche gilt als Flachstwasseranzeichen (REINECK 1984): durch ablaufendes Wasser werden lokal die zur Zeit des Wasserspiegelmäßigstandes gebildeten Wellenrippeln umgeformt. Die Asymmetrie strömungsüberformter Rippeln ist in allen beobachteten Fällen gleichgerichtet und deutet auf eine lokale Fließrichtung nach W hin.

Schließlich stellt sich die Frage, inwieweit sich die Rippelmarken für eine Bestimmung der Wassertiefe zum Zeitpunkt ihrer Bildung heranziehen lassen. Generell ist eine Berechnung der Wassertiefe aus den Dimensionen von Wellenrippeln nicht möglich (GRAFENSTEIN 1984, BOGGS 1995). Für die

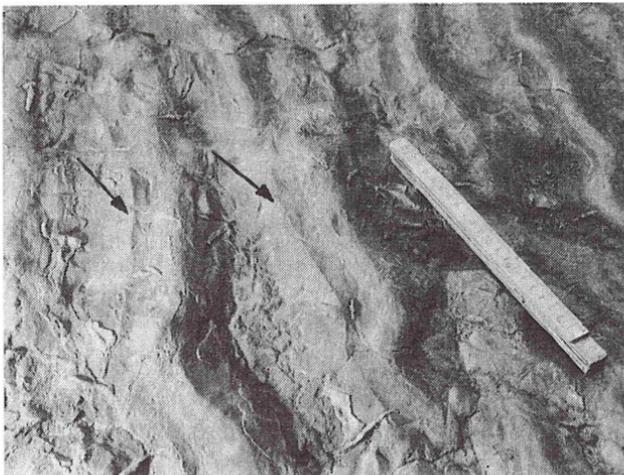
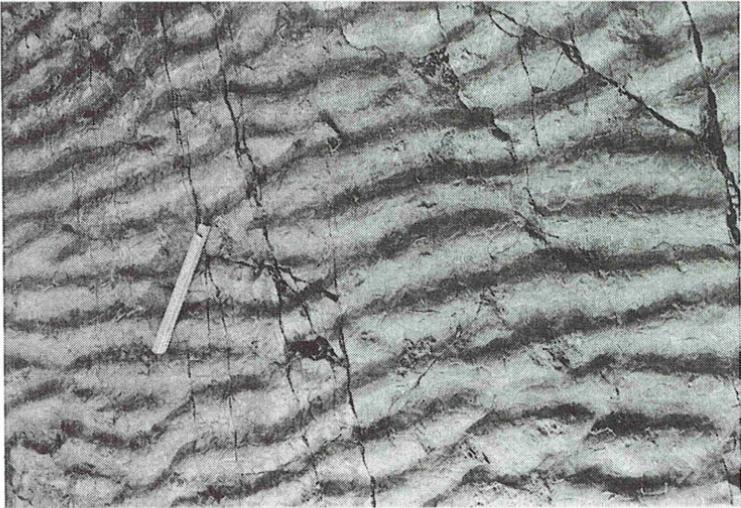
Bildung von Strömungsrippeln (also auch von strömungsüberformten Rip-peln) ist eine Wassertiefe von mindestens 3-facher Rippelhöhe notwendig (REINECK 1984). Für die strömungsüberprägten Rippen entspricht dies einem Wert von 5 - 10 cm. Dieser Wert für die Wassertiefe ist jedoch nur für die Spätphase des Trockenfallens gültig und erlaubt keine Rückschlüsse auf die maximale Wassertiefe.

### 3.3.3. Überprägung von Rippelmarken

Die Gestalt vieler Rippen zeigt eine Überformung durch sekundäre Prozesse an. So treten häufig abgerundete Rippelkämme auf. Hin und wieder finden sich in diesen Arealen Rippelmarken, die noch die ursprüngliche scharfe Kontur aufweisen und somit die sekundäre Überprägung beweisen (Abb. 11A).

In einigen Bereichen der Rippelfläche 1 (z. B. um das Koordinatenkreuz K/L-10/11) haben die Rippelmarken abgeflachte, breite Kämme mit geradem Verlauf. Die Rippeltäler sind schmal und scharf. Pflanzenhäcksel ist sowohl in den Rippeltälern als auch auf den Rippelkämmen quer zur Kammrichtung eingeregelt. Die Ursache für die Überprägung der Rippen war strömendes Wasser, was zu einer Kappung der Kämmen und zu einem Transport des Sediments in die Rippeltäler führte. Dadurch wurden die Rippelkämme in ihrem Verlauf begradigt (vgl. die Richtungsrose der Rippelkämme aus dem Areal um das Koordinatenkreuz K/L-10/11, Abb. 7).

Ebenso kommen auf den Rippelflächen 1 und 3 Rippelmarken vor, deren Kämmen nur lokal eng begrenzt abgeflacht sind. Die Rippeltäler sind in diesen Abschnitten schmaler als normal. In diesen Fällen ist wohl ein Breitlaufen der Rippen oder ein Überformen durch schwappendes Wasser beim Trockenfallen (REINECK & SINGH 1980) oder eine Kappung durch Kapillarwellen bei geringer Wasserbedeckung (REINECK 1984) die Ursache, da keine Hinweise auf fließendes Wasser gefunden wurden. Weiterhin existieren auf den Rippelflächen 1, 2, 4 und 5a kleine Bereiche, in denen die Rippelmarken stark verwaschen oder sogar völlig eingeebnet sind (Abb.

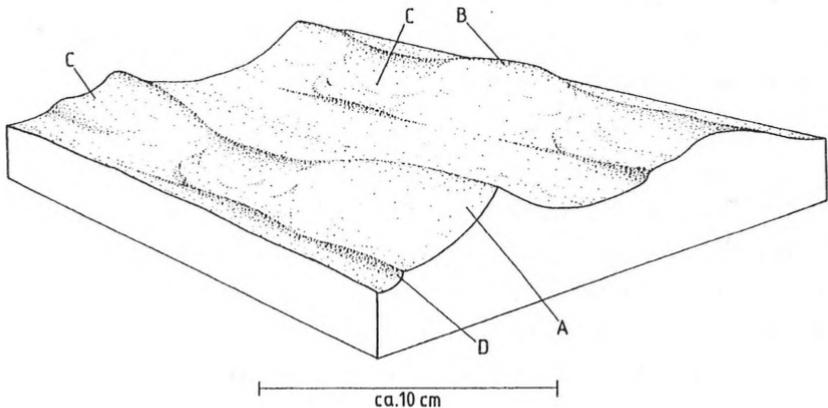


**Abb. 11:** Überprägte Rippelmarken. Oben: Rippelmarken mit abgerundeten Kämmen auf der Rippelfläche 3. Unten: Rippelmarken der Fläche 1 mit kleineren parallelen Rippelkämmen (Pfeile) auf den E-Flanken (Zollstockspitze nach N).

12). Die Ursache war wahrscheinlich schwappendes Wasser beim Auftauchen bzw. Interferenzen (Interferenzrippeln kommen vereinzelt vor).

Auf der Rippelfläche 1 treten wiederholt Rippeln auf, deren Kämme Rutschungserscheinungen aufweisen, verursacht durch ein Instabilwerden der Rippeln beim Trockenfallen: hier sind Partien der Rippelkämme in die Rippeltäler hinabgeglitten (Abb.12; NEWTON 1968). Es kommen alle Übergänge bis hin zu völlig breitgelaufenen Rippeln (s.o.) vor.

Auf der Rippelfläche 1 sind häufig parallel zu den Rippelkämmen auf deren Flanken, bzw. in den Rippeltälern, kleine Sekundärrippelkämme entwickelt. Sie können einseitig (Abb. 11B) oder beidseitig symmetrisch vorkommen. Auf derselben Rippelfläche treten gelegentlich Rippeln mit Doppelkämmen auf. Der Abstand der beiden Kämme beträgt wenige cm. Sekundärrippeln und Doppelrippelkämme entstehen bei fallendem Wasser. Weiterhin existieren auf dem Flächen 3 und 5 vereinzelt Systeme kleiner Wellenrippeln, die winklig zu den Hauptkämmen angelegt wurden. Sie entstanden in der letzten Phase des Trockenfallens unter dem Einfluß des Windes (KLEIN 1970, REINECK & SINGH 1980).



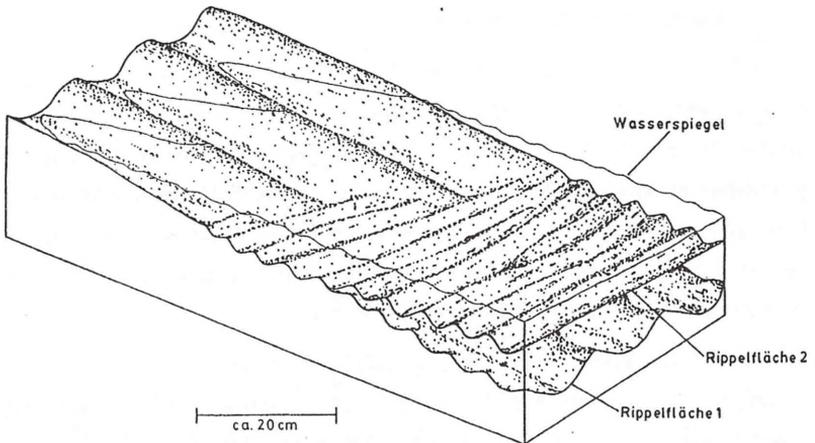
**Abb. 12:** Überprägung von Rippelmarken beim Trockenfallen. A: ursprüngliche Rippelform. B: Rundung des Rippelkammes C: Rutschungen. D: Kantenbildung (weitere Erl. im Text).

Oft sind in den Rippeltälern der Rippelfläche 1 bis wenige mm hohe Kanten an den Seiten der Rippelkämme ausgebildet. Die Kanten entstehen in der letzten Phase des Trockenfallens, wenn die Rippelkämme bereits trockengefallen sind und nur noch in den Rippeltälern ablaufendes Wasser vorhanden ist. Das ablaufende Wasser kann eine gewisse Tiefen- und Seitenerosion verursachen und zur Kantenbildung führen. Unmittelbar benachbart können sich Areale befinden, in denen in den Tälern sedimentiert wurde. Das Ergebnis sind dann verflachte Rippeltäler mit einem verbreiterten und ebenen Talboden.

Eine Besonderheit stellt die Genese der Rippelflächen 2 und 4 dar. Wie bereits im Kap. 2 erwähnt, handelt es sich um nur "fleckenhafte" in Depressionen angelegte Rippelsysteme, die durchschnittlich kleiner als die sonstigen Rippeln sind. Rückschlüsse auf ihre Genese erlaubt insbesondere die Rippelfläche 2. Die rippeltragenden Sedimentlagen sind maximal wenige mm mächtig und keilen randlich aus, so daß ihre Rippeln randlich schließlich in das Niveau der Rippelfläche 1 eingreifen (Abb. 13). Dies deutet darauf hin, daß in der Endphase des Trockenfallens der Flächen 1 und 3 in Depressionen noch einige Zeit kleine Restwasserflächen erhalten blieben. Von höher gelegenen Arealen ablaufendes Wasser verfrachtete Sediment in diese Depressionen, was dort lokal begrenzt zur Bildung eigenständiger Sedimentlagen mit Wellenrippeln kleiner Rippellänge führte.

Zusammenfassend ist festzustellen: Bei den Rippelmarken der Sohlbank des Naturdenkmals "Saurierfährten Münchehagen" handelt es sich um Oszillationsrippeln. Die Größe der Rippelmarken schwankt, die Rippeln der Flächen 2 und 4 sind im Durchschnitt etwas kleiner als die der anderen Rippelflächen. Generell handelt es sich um Kleinrippeln. Sie weisen eine Vielzahl von Überprägungsmerkmalen auf, ein kleiner Teil zeigt eine Überformung durch strömendes Wasser an. Alle diese Überprägungen sind bei fallendem oder ablaufendem Wasser bis hin zu einem völligen Trockenfallen entstanden. Einen Sonderfall stellen die Rippelflächen 2 und

4 dar, die erst im Zuge des Trockenfallens der Flächen 1 bzw. 3 fleckenhaft in flachen Depressionen der Sedimentoberfläche angelegt wurden.



**Abb. 13:** Oben: Flecken von Rippeln in Depressionen der Fläche 1 entstanden in der Endphase des Trockenfallens dieser Fläche. 1: Rippelverlauf auf Fläche 1. 2: Rippeln mit eigenständigem Verlauf, die im Vordergrund auf einer über 1 liegenden dünnen Sandsteinschicht entwickelt sind. Links vom Zollstock queren diese jüngeren Rippeln die Käme der Rippelfläche 1. Unten: Schematische Erläuterung im überhöhten Blockbild.

### 3.4. Weitere Marken

Auf der Rippelfläche 1 sind vereinzelt löchrige Strukturen zu beobachten, bestehend aus Anhäufungen zahlreicher kleiner, runder bis ovaler Vertiefungen von 1 - 3 mm Durchmesser und gleicher oder geringerer Tiefe. Wahrscheinlich handelt es sich um Schaummarken (REINECK 1984), die ein sicheres Auftauchanzeichen sind. Fossile Beispiele wurden wiederholt beschrieben (z.B. WUNDERLICH 1970), obwohl sie nur schlecht erhaltungsfähig sind.

Im Niveau der Fläche 5 auf treten vereinzelt Kolkmarken auf. Der größte beobachtete Durchmesser beträgt ca. 1 m, die maximale Tiefe nur wenige cm. Die Umrisse sind unterschiedlich, die Sedimentoberfläche ist glatt. Am Boden der Kolke sind Tonminerale und Pflanzenhäcksel angereichert. Generell kommen Kolke in den unterschiedlichsten Wassertiefen vor und zeigen Strömungseinfluß an (AIGNER & FUTTERER 1978).

### 3.5. Die Oberfläche 5 der Sohlbank

Die heute unregelmäßig-wulstige Oberfläche 5 der Sohle des Aufschlusses wurde ursprünglich als glatte Fläche angelegt, wie kleine Reste davon beweisen (Kap. 2.). Die wulstige Oberflächenmorphologie entstand später. Sie ist aber sedimentär angelegt, wie man auf frisch freigelegten Flächen (im aktiven Steinbruch nördlich des Naturdenkmals) beobachten kann. Sie ist also - zumindest nicht allein - auf Verwitterung zurückzuführen, wie dies noch von SCHWENNICKE (1993) vermutet wurde.

Wie schon von FISCHER (S. 36) geschildert, wurde die Fläche 5 als Erosionsfläche, die mit geringem Winkel diskordant ältere Schichten schneidet, angelegt. Sie war zunächst glatt, worauf Restflächen hinweisen. Auf ihr liegen Vorkommen kleiner Rippelfelder (Fläche 5a), die trotz ihres heute nur inselhaften Auftretens offensichtlich gleichzeitiger Entstehung sind (Rippeln gleicher Größe, gleicher Richtung). Die Rippeln der Fläche 5a sind oft deutlich gegen die Fläche 5 geneigt oder sind entlang einer

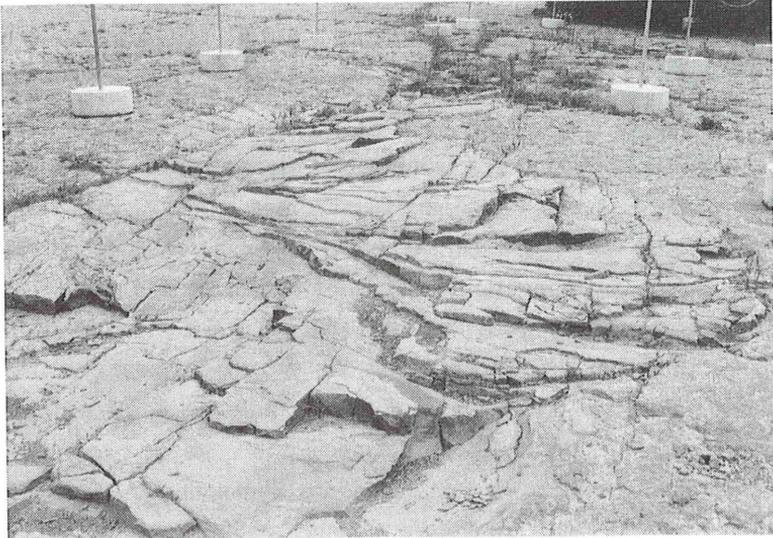
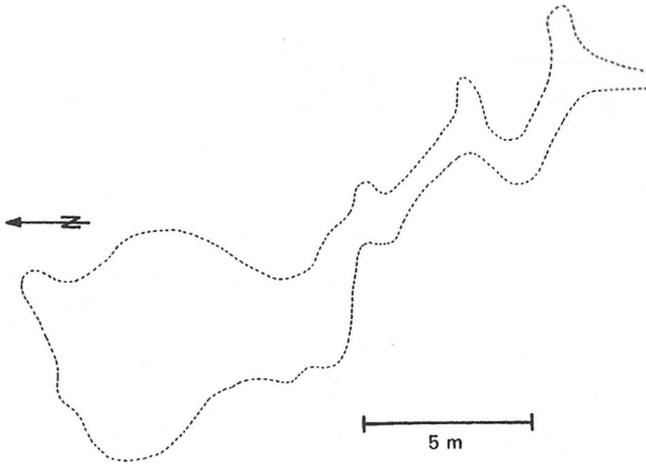
Einmuldung entwickelt (Abb.3). Selten liegen sie exakt im Niveau der Fläche 5. Randlich können die Rippelflächen 5a auch erosiv durch die Fläche 5 abgeschnitten sein oder sie werden von wenigen cm Sediment überlagert.

Einem Ansatz von MACKENZIE (1975) folgend, sind die gerippten Flächen 5a wohl als Reliktstrukturen zu deuten, die in Depressionen erhalten blieben, während sie in höher gelegenen Arealen durch schwappendes oder abfließendes Wasser zerstört wurden. Die ursprünglich glatte Oberfläche des Niveaus 5 und seine weitflächige Ausdehnung lassen darauf schließen, daß sie durch ein schichtflutartiges Abfließen des Wasser, eventuell im Gefolge eines Sturmereignisses, entstanden sein könnte.

Nach der Glättung der Fläche 5 setzte sich die Sedimentation fort und das Substrat wurde (erneut) durch Benthos besiedelt. Die heute überwiegend zu sehende wulstig-knollige Oberflächenform der Sohlbank ist das Ergebnis der Wühltätigkeit dieser Organismen.

### **3.6. Rinnen**

Im Bereich des Naturdenkmals sind mehrere Rinnenstrukturen erschlossen. Im Freilandbereich sind sie durch Sandauflager zu ihrem Schutz abgedeckt. Nur eine verhältnismäßig kleine Struktur ist in den Quadranten I-K/9 (FISCHER, Abb. 5), nahe des Ausgangs der Schutzhalle, derzeit noch zugänglich. Der größte Rinnenrest ist SSE-NNW-gerichtet und hat eine Länge von über 20 m (Abb. 14). Zwei ähnliche, aber wesentlich kleinere Strukturen von etwa 10 m Länge mit etwa gleichem Streichen sind an anderer Stelle auf der Sohlfläche aufgeschlossen. Sie sind erosiv in das Liegende eingeschnitten und nachfolgend mit Sediment verfüllt worden. Im Naturdenkmal sind auch zahlreiche weitere, stets kleinere Rinnenrelikte von wenigen m Ausdehnung erhalten. Auch sie greifen mehr oder weniger deutlich in das Liegende ein und weisen intern dieselben Schichtungsmerkmale wie die großen Relikte auf.



**Abb. 14:** Rinnenrelikt. Oben: Umriß der Struktur in den Rasterfeldern D10 bis F11. Der mäandrierende Verlauf ist erkennbar, Verzweigungen sind angedeutet. Unten: Detailausschnitt. Deutlich ist die Schrägschichtung der Rinnenfüllung sichtbar (Blick nach Süden)

Aufbau und Schichtungsmerkmale lassen sich besonders gut an Hand der großen Struktur (D10-F11) studieren. Sie ist 1 - 2 m, lediglich an ihrem NNE-Ende 3 - 4 m breit. Die äußere Form zeigt einen stark mäandrierenden Verlauf mit Prall- und Gleithängen (Abb.14). Am Südende ist die Einmündung einer weiteren Rinne von Osten her angedeutet. Die Sedimentfüllung besteht aus schlecht sortiertem Silt- bis Feinsandstein und ist zwiebelschalenförmig, mittel- bis großdimensional trogförmig schrägschichtet (Abb.14, unten). Die einzelnen Schrägschichtungskörper (wenige mm bis einigen cm mächtig) folgen dem mäandrierenden Verlauf, wodurch sie sich gegenseitig abschneiden. Im Rinnentiefsten sind sie am mächtigsten. Die Schrägschichtungskörper fallen meist nach S hin ein, was eine Fließrichtung in der Rinne von NNW nach SSE belegt. Gelegentlich sind auf den Oberseiten von Schrägschichtungskörpern kleine Wellenrippeln geringer Höhe zu beobachten.

Pflanzenhäcksel ist häufig und in bis zu 1 m<sup>2</sup> großen Flecken zusammengeschwemmt. Weiterhin finden sich vereinzelt kleine Tonintraklasten und Schilllagen. Die Rinnensedimente sind nur in Ausnahmefällen bioturbat.

Die heutigen Rinnenrelikte sind die tiefsten Bereiche ehemals existierender Rinnensysteme; sie wurden von einem etwas höher gelegenen Niveau eingeschnitten. Sie bildeten ein verzweigtes, prielartiges System in dem Wasser (im Bereich des Naturdenkmals) wohl vorwiegend in südöstliche Richtungen abfloß.

#### **4. Ichnofauna**

In diesem Kapitel sollen die Spurenfossilien der Sohlfläche des Naturdenkmals, mit Ausnahme der Sauriertrittsiegel, behandelt werden. Die Terminologie basiert auf SEILACHER (1964), SIMPSON (1975), EKDALE (1984), BROMLEY (1990). Eine ausführliche Darstellung findet sich in SCHWENNICK (1993).

#### 4.1. Beschreibung des Ichnofossilinhalts

##### Spurentyp A (*Thalassinoides*)

Es handelt sich um reichlich verzweigte Gangsysteme mit vorwiegend horizontalen und wenigen vertikalen Elementen, die als Vollformen erhalten sind. Der Gangdurchmesser schwankt (auch innerhalb eines Gangsystems) zwischen 3 und 9 mm. Der Gangquerschnitt ist kreisförmig, ellipsoid oder auch trapezförmig. Die Gänge zeigen keine Wandung im eigentlichen Sinne. Sie sind typischerweise Y- oder T-förmig verzweigt. Die Verzweigungspunkte sind meist deutlich verengt (Abb. 15). Die Endungen von Blindgängen sind abgerundet bis spitz. Manchmal ist ein Stockwerkbau angedeutet. Die Gänge kreuzen sich nie in einer Ebene, sondern es ist stets ein "Ausweichen" des jüngeren Gangsystems zu beobachten (Abb. 16).

Die Gänge sind unregelmäßig gestopft, doch ist die Stopfstruktur nicht immer erkennbar. Meist sind (im Anschliff gut sichtbar) die Stopflamellen zwiebelschalenförmig ineinanderliegend (Abb. 16, vgl. EKDALE et al. 1984). Sie werden teilweise als Lamellen einer "Räumauskleidung" gedeutet, was zu einer vertikalen Verlagerung der Gänge führte (SCHÄFER 1962, HOWARD & FREY 1984, KAMOLA 1984). Daher weisen die Gangsysteme, die im Niveau von Tonlagen auf Rippelflächen (s. Kap. 3) angelegt wurden, meist an der

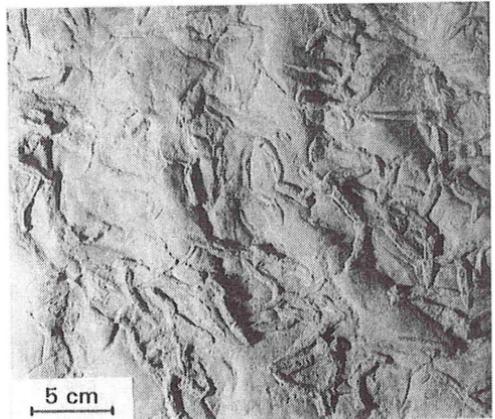


Abb. 15: Spurentyp A (*Thalassinoides*).

Oberseite einen hellen Streifen auf. Es handelt sich um nachgefallenes sandiges Material, das sich farblich von der dunkleren sonstigen Gangfüllung unterscheidet.

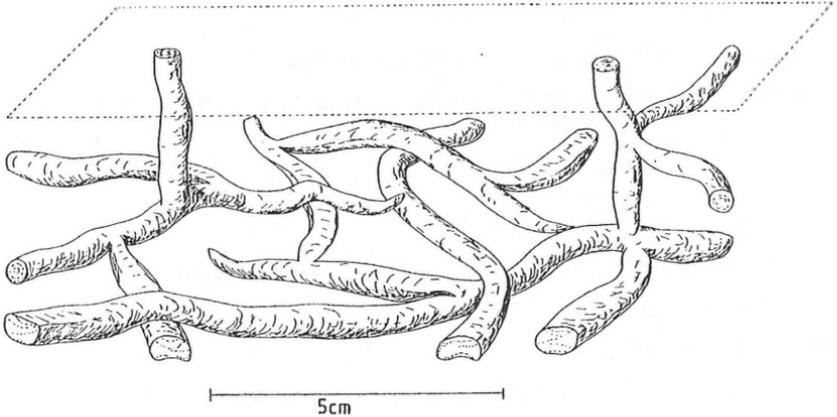


Abb. 16: Rekonstruktion von Bauten der Typs A (*Thalassinoides*).

Der Spurentyp A weist wesentliche Merkmale thalassinoider Baue auf (BROMLEY & FREY 1974, FREY & HOWARD 1975, EKDALE ET AL. 1984, HOWARD & FREY 1984, FREY & HOWARD 1990). Problematisch ist die geringe Größe der Gänge, jedoch wurden *Thalassinoides*-Baue ähnlicher Größe bereits beschrieben (MÜLLER 1971, ARCHER 1984). Es erscheint daher zulässig, die hier beschriebenen Spuren dem Ichnogenus *Thalassinoides* EHRENBERG 1944 zuzuschreiben.

Allgemein werden Crustaceen als Erzeuger thalassinoider Spuren angenommen (MÜLLER 1970, BROMLEY & ASGAARD 1972, BROMLEY & FREY 1974, FREY ET AL. 1984, SWINBANKS & LUTERNAUER 1987). Die Tatsache, daß die Gänge im Bereich der Rippelflächen streng den Trennflächen zwischen Sandsteinbänkchen folgen, ist ein Indiz für ihre Fodinichnia-Domichnia-Natur. Auf den Rippelflächen reicherte sich neben Tonmineralen organischer Detritus an, der gezielt gefressen wurde. Unklar bleibt, in welcher Tiefe unter der Sedimentoberfläche die Bauten angelegt wurden.

Vermutlich waren es aber weniger als 10 cm. Bevorzugt horizontal angelegte Gangsysteme von *Thalassinoides* kommen vorwiegend in niedrigerenergetischen Milieus vor (Schelf bis Lagune; ARCHER 1984, HEINBERG & BIRKELUND 1984, KAMOLA 1984).

Der Spurentyp stellt den weitaus größten Anteil an der Gesamtheit der vorhandenen Ichnofauna. Die Baue sind vor allem auf den Rippelflächen zu beobachten.

#### Spurentyp B (? *Thalassinoides*)

Die Spuren dieses Typs sind wesentlich kleiner als die des Typs A und als Vollformen erhalten. Es sind nur zum Teil verzweigte, horizontale Gangsysteme von im allgemeinen 2 - 5 cm Länge. Vertikale Elemente wurden nicht beobachtet. Der Gangquerschnitt ist meist kreisförmig; der Durchmesser beträgt ca. 2 - 5 mm und kann innerhalb eines Ganges schwanken. Der Gangverlauf ist unregelmäßig gestreckt bis bogig und es kommen Y- und T-Verzweigungen vor. Die Verzweigungsstellen sind meist verengt, aber nicht so deutlich wie beim Spurentyp A. Eine Gangwandung ist nicht vorhanden. Die Gangfüllungen sind undeutlich gestopft und heben sich durch eine hellere oder dunklere Farbe vom umgebenden Sediment ab (Abb. 17). Gangsysteme kreuzen sich stets in unterschiedlichen Ebenen.

Dieser Spurentyp weist, wie der Spurentyp A, thalassinoidale Merkmale auf. Es sind dies die Y- und T-Verzweigungen, die restriktive Form der Verzweigungen, das Fehlen einer speziellen Wandung und die Existenz gestopfter Gangfüllungen. Problematisch sind die geringe Verzweigungsdichte und die sehr geringe Größe der Spuren (*Thalassinoides*-Baue dieser geringen Größe wurden in der zugänglichen Literatur bisher nicht beschrieben). Dieser Spurentyp kann daher nur als eine *Thalassinoides* vergleichbare Spur bezeichnet werden. Als Erzeuger kommen vermutlich Crustaceen in Betracht. Spuren dieses Typs sind nur lokal häufiger auf der Sohlfläche des Aufschlusses vorhanden. Insgesamt gesehen haben sie nur einen geringen Anteil an der Gesamtheit der Ichnofauna.

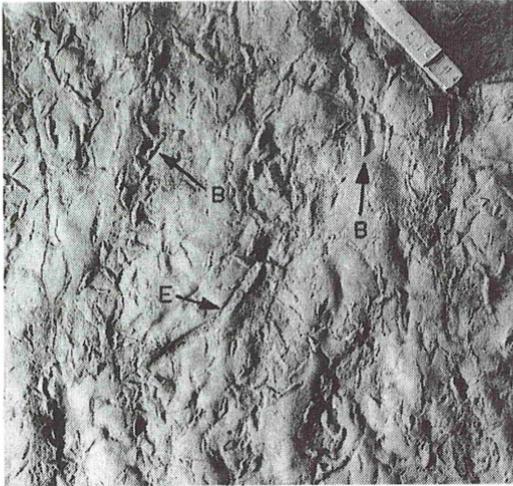


Abb. 17: Spurentypen B (? *Thalassinoides*) und E (cf. *Planolites*). Stark eingeebnete Rippelmarken.

#### Spurentyp C (? *Monocraterion*)

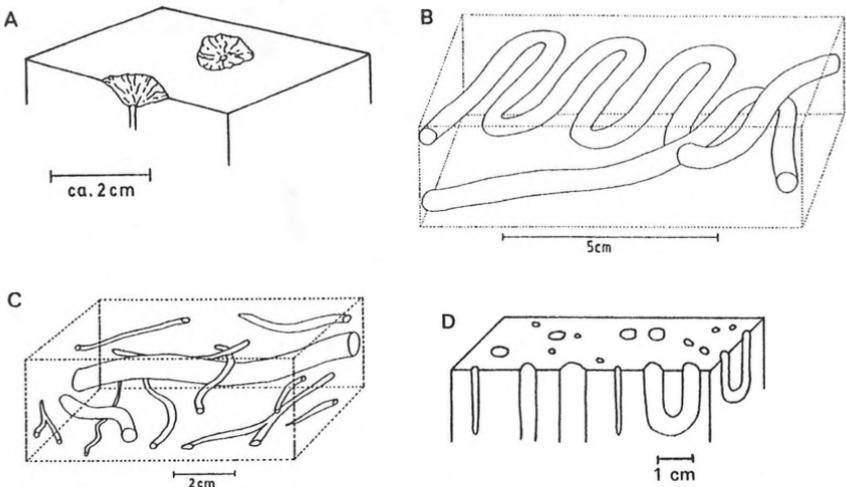
Die Spuren sind als negative Epichnia erhalten. Sie bestehen aus kleinen, muldenartigen Trichtern mit gefurchem Trichterboden, mit einem Durchmesser von ca. 0,6 - 2,5 cm und einer unregelmäßigen randlichen Begrenzung. Im Trichtertiefsten befindet sich die Mündung einer Kanalfüllung von ca. 2 - 4 mm Durchmesser (Abb. 18A).

Wahrscheinlich entsprechen die Spuren dem Typ I von PELZER et al. (1987) und PELZER (1988). Es scheint sich um Baue von *Monocraterion* zu handeln; allerdings fehlen Beobachtungen aus entsprechenden vertikalen Anschnitten. Der Spurentyp kommt nur sehr vereinzelt vor. Als Erzeuger kommen vermutlich sedimentfressende Anneliden in Betracht.

#### Spurentyp D (*Muensteria*)

Diese Ichnofossilien sind als negative oder schwach positive Epireliefs erhalten. Innerhalb einer Spur sind beide Erhaltungsformen möglich. Es handelt sich um unverzweigte, bevorzugt horizontal angelegte, gestreckt bis bogige, aktiv gestopfte, wandungslose Gangfüllungen (Abb. 19) mit kreis-

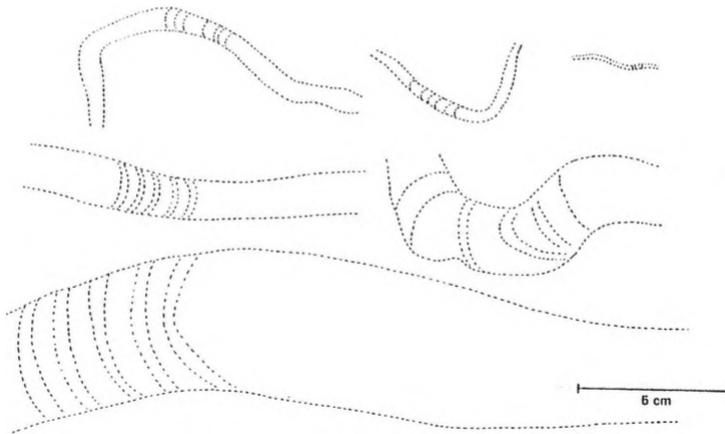
förmigem Querschnitt. Der Durchmesser der Spuren variiert zwischen 0,2 und 5 cm. Es treten innerhalb der angegebenen Bandbreite alle möglichen Durchmesser auf, so daß es nicht eindeutig möglich ist, aus dieser nach der Größe sehr heterogenen Gruppe Untergruppen auszugliedern (vgl. dazu BRACKEN & PICARD 1984). Bei einer Erhaltung als positives Epirelief sind die Spuren oft nur undeutlich erkennbar, da sich ihre Füllung farblich kaum bzw. nicht vom umliegenden Sediment unterscheidet. Die uhrglasförmig gebogenen Stopflamellen, die Bewegungsrichtung des spurenerzeugenden Tieres anzeigend, sind häufig nur undeutlich zu erkennen.



**Abb. 18:** Baue aus der Sohlbank des Naturdenkmals „Saurierfährten Münchehagen“. A: Räumliche Lage des Spurentyps C (?*Monocraterion*). B: Spurentyp F. C: Spur des Typs G (*Planolites*). D: Spurentyp H (*Skolithos*) und J (*Arenicolites*).

Bei dem hier beschriebenen Spurentyp handelt es sich wahrscheinlich um *Muensteria* STERNBERG 1833 (BROMLEY & ASGAARD 1979, BRACKEN & PICARD 1984, HEINBERG & BIRKELUND 1984). Es existieren Unterschiede zu *Ancorichnus* HEINBERG 1974 mit einer zonierten Füllung (BROMLEY 1990). Die Spur entspricht wahrscheinlich dem Typ XIII von PELZER et al. (1987) und PELZER (1988). D'ALESSANDRO & BROMLEY (1987) halten das Ichno-

genus *Muensteria* für nicht gültig und ordnen *Muensteria* dem Ichnogenus *Taenidium* zu. Dem widerspricht jedoch PICKERILL (1994).



**Abb. 19:** Spurentyp D (*Muensteria*). Darstellung unterschiedlicher beobachteter Größen mit Andeutung der internen Stopftextur.

Als Erzeuger dieser Spuren kommen nur endobenthische Sedimentfresser in Betracht (BRACKEN & PICARD 1984, HEINBERG & BIRKELUND 1984). Nach dem Spurentyp A ist der Typ D der zweithäufigste der Ichnofauna der Sohlbank des Naturdenkmals.

#### Spurentyp E (cf. *Planolites*)

Im Unterschied zu den Spurentypen D und G sind die Spuren dieses Typs meist als deutliche positive Epichnia erhalten. Es sind unverzweigte, völlig horizontale (und daher bis zu 0,4 m weit verfolgbare), gestreckte Gangfüllungen mit kreisförmigem Querschnitt (Abb. 18C). Der Durchmesser der Gänge beträgt ca. 5 - 6 mm und ist jeweils völlig konstant. Ihre Füllung erscheint oft texturlos, in vielen Fällen ist jedoch auch eine unregelmäßige Stopftextur angedeutet. Randlich sind die Gänge durch Diagenese dunkler gefärbt.

Es handelt sich wahrscheinlich um Spuren des Ichnogenus *Planolites* NICHOLSON 1873 oder eine verwandte Form (PEMBERTON & FREY 1982). Als

Erzeuger kommen vermutlich sedimentfressende Anneliden in Betracht. Der Spurentyp tritt nur sehr vereinzelt auf.

#### Spurentyp F (mäandrierende Gänge)

Die Spuren sind als positive Epichnia erhalten und bestehen aus unverzweigten, horizontal bis wenig geneigten Baue, die mehrheitlich als geführte Mäander angelegt wurden (Abb. 18B). Der Gangquerschnitt ist kreisförmig, der Durchmesser beträgt 4 - 6 mm und bleibt innerhalb eines Ganges weitgehend konstant. Stopftexturen sind nur teilweise und undeutlich erkennbar. Eine Wandung ist nicht vorhanden. Die Gangfüllung hebt sich farblich nicht vom umgebenden Sediment ab, so daß die Spuren dieses Typs im Gelände nur herausgewittert gut zu erkennen sind. Die Gänge unterschiedlicher Systeme können sich in einer Ebene kreuzen.

Erzeuger dieser Spuren waren wahrscheinlich endobenthische, detritusfressende Anneliden. Die Spuren dieses Typs kommen nur selten vor.

#### Spurentyp G (*Planolites*)

Die Spuren sind als negative und positive Epichnia sowie seltener auch als Endichnia erhalten. Die Epireliefs sind meist nur unscharf begrenzt. Es sind ungeteilte oder spärlich verzweigte Gänge. Sie sind glattwandig, gerade oder gebogen (zum Teil stark), mit kreisförmigem Querschnitt und einem Durchmesser von ca. 0,5 bis max. 10 mm. Die Lage ist bevorzugt horizontal oder flach geneigt, doch kommen alle möglichen Orientierungen im Raum vor, wobei sich die Gänge zum Teil in einer Ebene kreuzen. Die Gangfüllungen unterscheiden sich farblich und texturell kaum vom umgebenden Gestein (Abb. 18C).

Die Spuren sind dem Ichnogenus *Planolites* NICHOLSON 1873 zuzuordnen (PEMBERTON & FREY 1982, FREY & HOWARD 1990). Das Vorkommen von *Planolites* ist vorwiegend an niedrig- bis mäßigenergetische Bedingungen unterschiedlicher Milieus geknüpft (EKDALE et al. 1984, HOWARD & FREY 1984, KAMOLA 1984, GRADZINSKI & UCHMAN 1994 u.a.).

Die Erzeuger dieser Baue waren wohl endobenthisch lebende Sedimentfresser, vermutlich Anneliden. Spuren von *Planolites* sind im Niveau der Sohlfläche ziemlich häufig.

#### Spurentyp H (*Skolithos*)

Diese Baue sind zylindrische Röhren, die senkrecht zur Sedimentoberfläche orientiert sind (Abb. 18D). Sie haben einen kreisförmigen Gangquerschnitt, einen Durchmesser von weniger 0,1 cm bis über 1,0 cm und keine erkennbare Wandung. Die Gänge sind passiv gefüllt. Die maximale Länge beträgt wahrscheinlich einige cm.

Die Spuren gehören zum Ichnogenus *Skolithos* HALDEMAN 1840 (ALPERT 1974, HÄNTZSCHEL 1975). *Skolithos* tritt in hochenergetischen Milieus und auf Wattflächen auf. Als Erzeuger kommen Anneliden, Phoroniden oder Crustaceen in Betracht (HÄNTZSCHEL 1975, BRACKEN & PICARD 1984, KAMOLA 1984, PIENKOWSKI 1985, AITKEN et al. 1988).

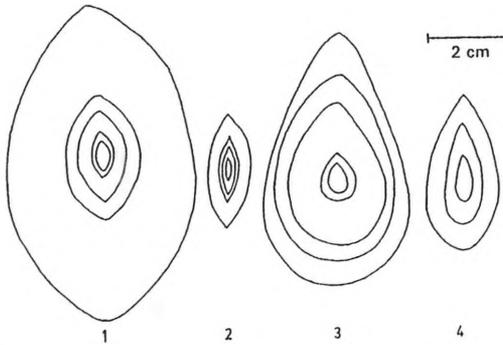
#### Spurentyp J (*Arenicolites*)

Die U-förmigen Gänge sind mehr oder weniger senkrecht zur Sedimentoberfläche orientiert, so daß auf Schichtflächen nur ihre Mündungen sichtbar sind (Abb. 18D). Es existieren Röhrendurchmesser von 2 - 10 mm, wobei das Verhältnis von Röhrendurchmesser zu Röhrenabstand in etwa gleich bleibt (etwa 1:1). Spreiten sind nicht vorhanden. Die Gangfüllungen unterscheiden sich in Farbe und Textur kaum vom umgebenden Sediment. Die Spuren sind dem Ichnogenus *Arenicolites* SALTER 1857 zuzuordnen (HÄNTZSCHEL 1975, HOWARD & FREY 1984, GRADZINSKI & UCHMAN 1994 u.a.).

Wahrscheinlich handelt es sich um *Domichnia* von Anneliden, eventuell auch um *Fodinichnia-Domichnia*. Die Spuren kommen selten vor. *Arenicolites* findet sich in vielen Milieus, ist aber typisch für Wattablagerungen (AITKEN et al. 1988).

### Spurentyp K (*Pelecypodichnus*)

Die Spuren sind als negative Epichnien mit meist scharfem Relief erhalten. Sie enthalten jedoch häufig die Steinkerne der spurenerzeugenden Bivalven. Es handelt sich um *Pelecypodichnus* (KAMOLA 1984, PIENKOWSKI 1985, THOMS & BERG 1985; bei HÄNTZSCHEL 1975 und MAPLES & WEST 1989 als *Lockeia* bezeichnet). Es kommen vier Formen vor, die sich im Umriß und in ihrer maximalen Größe unterscheiden. Die Abb. 20 zeigt für jeden Formtyp die Bandbreite der existierenden Größen. Die Spuren sind zahlreich vertreten. Am häufigsten kommt die zweite, nur selten die letzte Form vor (Abb. 20). Insgesamt müssen also mindestens vier verschiedene Bivalvenarten als Erzeuger angenommen werden.



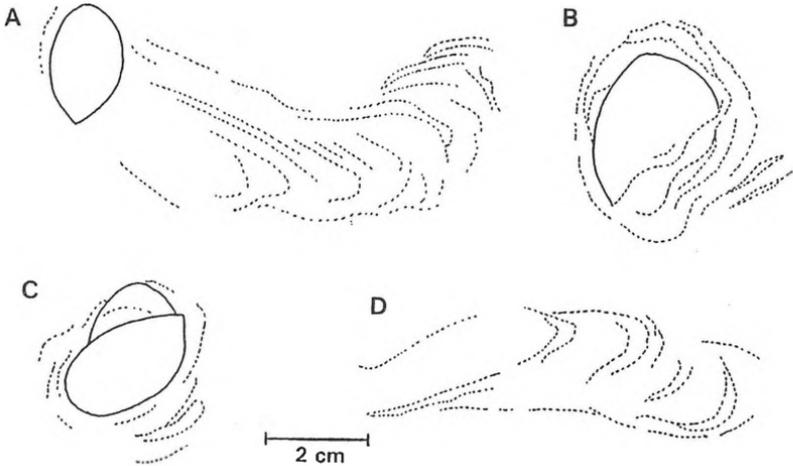
**Abb. 20:** Spurentyp K (*Pelecypodichnus*): Vier Formgruppen sind nach dem Umriß unterscheidbar. Innerhalb jeder Gruppe existieren verschiedene Größen (zueinander gehörende Größen sind ineinandergezichnet).

### Spurentyp L (Bewegungsspuren von Bivalven)

Die Spuren äußern sich als gestreckt verformte Schichtgefüge, die sich teilweise als Streifenzonen seitlich oder als konzentrische Gefüge an *Pelecypodichnus*-Spuren anlagern. Wegen der beobachtbaren Assoziation mit *Pelecypodichnus* handelt es sich wohl um Bewegungsspuren von Bivalven.

Im einfachsten Fall entstanden die Spuren durch eine Dreh- oder steile Aufwärtsbewegung der Bivalven (Abb. 21B,C). Etwas häufiger sind Wühlspuren zu beobachten, die zum Teil zusammen mit dem Spurentyp K

vorkommen (Abb. 21 D) und meist eine nur wenig geneigte Lage gegen die Schichtung einnehmen. Es handelt sich dabei um Bewegungsspuren, die auf einen vorwiegend seitlichen Platzwechsel zurückgehen.



**Abb. 23:** Spuren des Spurentyps L - Bewegungsspuren von Bivalven. A und D: Flach geneigte Bewegungsspuren. B: Spur einer steilen Aufwärtsbewegung. C: Spur einer Drehbewegung.

#### Fragliche Spuren

Auf den Rippelflächen 1 und 3 kommen hin und wieder flache, schüssel-förmige, ovale bis kreisförmige Vertiefungen mit einem Durchmesser zwischen 7 und 12 cm vor. Die Tiefe beträgt 1 - 2 cm. Möglicherweise handelt es sich um Ruhespuren eines unbekanntes Organismus (?Fische).

#### 4.2. Verbreitung der Ichnofossilien auf der Sohlbankfläche des Aufschlusses

In der Verbreitung und Häufigkeit der einzelnen Spurenfossiltypen auf der Sohlfläche bestehen zum Teil erhebliche Unterschiede. Die Verbreitung der Spuren auf einer kartierten Rippelfläche der Sohlfläche zeigt die Abb. 22. Es dominieren die Spurentypen A, B, D und K. Die anderen Typen treten zurück und sind nur lokal häufiger vorhanden.

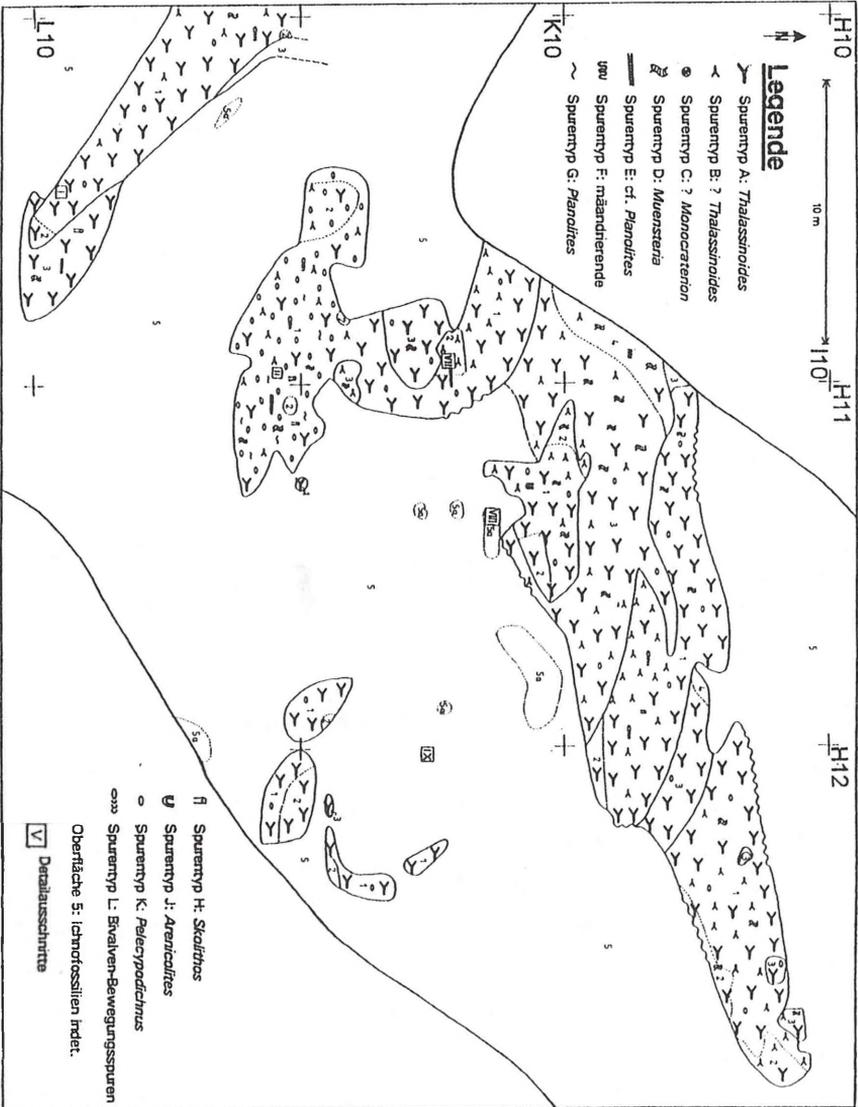


Abb.22: Karte der Vorkommens von Ichnofossilien auf den Rippelflächen 1-5.

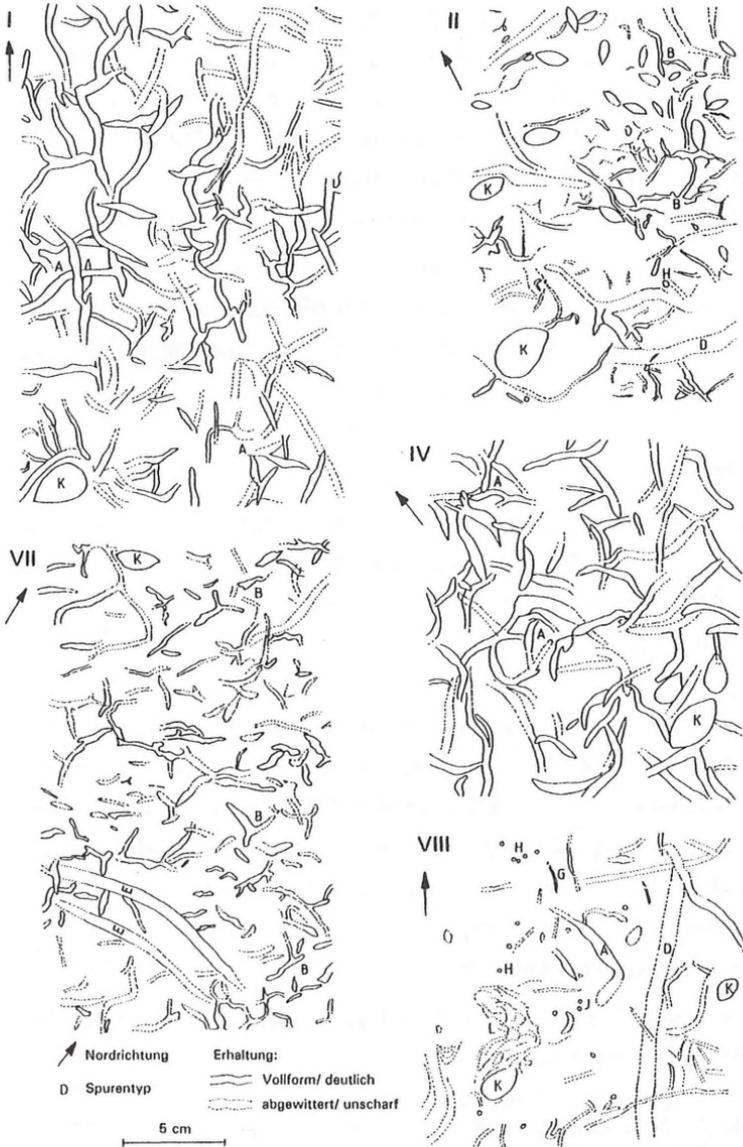


Abb. 23: Spurengemeinschaften auf der Sohlfläche des Naturdenkmal. Lage der Beobachtungspunkte s. Abb. 22. I: *Thalassinoides*-dominierte Assoziation. II: *Thalassinoides*/*Pelecypodichnus*-Assoziation. IV: *Thalassinoides*-Assoziation. VII: *Thalassinoides*/*Planolites*-Assoziation. VIII: *Muensteria*-Assoziation. Die Buchstaben benennen die Lebensspurentypen (s. Text).

Auf der Fläche 5 sind ebenfalls alle Spurentypen vertreten. Auf Grund der schlechteren Erhaltung bzw. Herauswitterung der Spuren dieser Fläche, ist hier jedoch eine kartographische Erfassung der Verteilung der einzelnen Spuren nicht genau möglich und wurde deshalb auch unterlassen. Die Spurendichte schwankt nur wenig auf den Rippelflächen und der Fläche 5; dagegen finden sich meist nur wenige Spuren in Rinnensedimenten.

Die vorhandenen Spurengemeinschaften wurden an repräsentativen Punkten zeichnerisch aufgenommen und sind vollständig bei SCHWENNICKE (1993) dokumentiert. Eine Auswahl zeigt die Abb. 23; ihre Lokalitäten sind in Abb. 22 mit römischen Ziffern eingetragen.

### 4.3. Ichnofazies

Spurenfossilien reflektieren neben dem Verhalten ihres Erzeugers mehr oder weniger deutlich ökologische Parameter (SEILACHER 1978, PEMBERTON et al. 1992). Darunter hat die Wassertiefe keinen direkten Einfluß auf die Zusammensetzung der Spurengemeinschaft, die jedoch auf viele ökologische Faktoren, die mit der Tiefe korrelierbar sind, reagiert (FREY et al. 1990, BROMLEY 1996). Auch die Salinität spielt keine unmittelbare Rolle (BROMLEY & ASGAARD 1991). So finden sich viele Spurenfossilien in unterschiedlichen marinen bis hin zu kontinentalen Milieus (GRADZINSKI & UCHMAN, 1994). Insgesamt gesehen können aber Spurenfossilgemeinschaften, in Verbindung mit sedimentologischen Daten, wichtige Informationen für eine Interpretation des Ablagerungs- und damit des Lebensraumes der spurenerzeugenden Organismen liefern.

An dieser Stelle sollen noch einmal die Ichnofossilien der Sohlfläche des Naturdenkmales aufgeführt werden:

- Spurentyp A: *Thalassinoides* (häufigster Spurentyp).
- Spurentyp B: ? *Thalassinoides* (häufig).
- Spurentyp C: ? *Monocraterion* (vereinzelt).
- Spurentyp D: *Muensteria* (häufig).
- Spurentyp E: cf. *Planolites* (vereinzelt).
- Spurentyp F: mäandrierende Spuren (selten).
- Spurentyp G: *Planolites* (häufig).

- Spurentyp H: *Skolithos* (selten).
- Spurentyp J: *Arenicolites* (selten).
- Spurentyp K: *Pelecypodichnus* (häufig).
- Spurentyp L: Bewegungsspuren von Bivalven (selten).

Für den Zeitpunkt der Ablagerung der Sedimente der Sohlfläche sind Süßwasser-Verhältnisse anzunehmen, wie sich aus Funden von Neomiodontiden und Unioiden (im Naturdenkmal und in benachbarten Aufschlüssen; PELZER 1988, MUTTERLOSE 1997) ableiten läßt. Die Funde stammen aus dem Liegenden wie auch dem Hangenden der Sohlbank. Der Hauptsandstein wurde unter reinen Süßwasserbedingungen abgelagert (s.a. ELSTNER & MUTTERLOSE, 1996:Abb. 4).

Die sedimentologischen Beobachtungen zeigen, daß im Ablagerungsraum eine nur geringe Wassertiefe vorhanden war. Wiederholt kam es zum Trockenfallen des Sedimentationsbereichs (Kap. 4.). Die Wasserbewegung war normalerweise relativ gering und beschränkte sich auf Wellengang, wie die Schichtungsmerkmale und Rippelmarken belegen. Auch die dichte Besiedlung des Bodens durch Benthos (Lebensspuren!) war nur bei relativ ruhigen Verhältnissen möglich. Lediglich sporadisch traten hochenergetische Ereignisse auf (Fläche 5, Kap. 3.5.).

Die meisten Ichnofossilien der vorliegenden Spurenssoziation lassen sich der *Cruziana*-Fazies zuordnen, wie *Muensteria*, *Planolites* und *Thalassinoides* (EKDALE et al. 1984, HEINBERG & BIRKELUND 1984). Diese Ichnofazies ist im Meer typisch im Bereich zwischen der Wellen- und der Sturmwellenbasis entwickelt (FREY & PEMBERTON 1985, BROMLEY 1996). Sie ist dadurch gekennzeichnet, daß sie hochdiverse Spurenssoziationen enthält, in denen Sedimentfresser dominieren (Überwiegen von Fodinichnia gegenüber Domichnia/Cubichnia). Einige für die *Cruziana*-Fazies typische Baue, wie *Teichichnus* oder *Rhizocorallium* fehlen zwar im Bereich der Sohlbank, werden jedoch von WILDE (1981) und PELZER (1988) aus der mittleren Partie des Hauptsandsteins im benachbarten Steinbruch „Stadtländer“ beschrieben. Die Spurenssoziation der Sohlbankfläche enthält weiterhin mit *Monocraterion* und *Skolithos* einige Elemente der

*Skolithos*-Fazies (SEILACHER 1967). Diese Spuren sind jedoch nicht sehr häufig.

Mischfazies mit Spuren der *Skolithos*- und *Cruziana*-Fazies sind von verschiedenen Autoren aus ästuarinen, brackischen Milieus beschrieben (EKDALE et al. 1984, WIGHTMAN et al. 1987, BEYNON et al. 1988). Geringdiverse Vorkommen der *Cruziana*-Fazies mit hoher Spurendichte sind aus lagunären Ablagerungen bekannt. Innerhalb eines solchen Ablagerungsraumes treten *Thalassinoides* und *Planolites* bevorzugt im inneren Bereich der Lagune, *Muensteria* und *Skolithos* dagegen in washover-Ablagerungen auf (EKDALE et al. 1984).

Obwohl viele der Spuren der Sohlbank auch aus dem nichtmarinen Bereich beschrieben sind (*Muensteria*, *Planolites*: BRACKEN & PICARD 1984, GRADZINSKI & UCHMAN 1994), enthält sie keine charakteristischen Spuren der nichtmarinen *Scoyenia*-Fazies (FREY et al. 1984). Auch mit der *Psilonichnus*-Fazies, die als Misch-Ichnofazies vorwiegend im Bereich des Trockenen Strand und von Dünen, aber auch in Durchbruchsschwemmflächen vorkommt, ist sie nicht vergleichbar.

Insgesamt spiegelt die Spurengemeinschaft einen gut durchlüfteten Ablagerungsraum mit ruhigen und stabilen Sedimentationsverhältnissen und geringer Wasserenergie wieder, in dem sandiges und standfestes Substrat die Anlage von Bauen endobenthonischer Tiere erleichterten. Wasserspiegelschwankungen bis hin zum Trockenfallen waren eher die Ausnahme (Kap. 3.3.).

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

WILDE 1981 und PELZER 1988 zeigten, daß sich die unterkreidezeitlichen Sandsteine der Rehburger Berge im Randbereich des Niedersächsischen Beckens im Übergang von der fluviatilen in die litorale Fazies abgelagerten. Im unteren Berrias herrschten zunächst regressive Bedingungen, wodurch sich eine Deltaebene aus S bis in das Gebiet der Rehburger Berge vorschieben konnte (PELZER 1988). Allmählich erfolgte ein Umschwung zu

einer transgressiven Entwicklung, in deren Verlauf es zu Erosion und Aufarbeitung entlang der Küste kam. Im Bereich der Rehburger Berge entstanden Küstenbarrieren, an deren Rückseite sich ein lagunäres Milieu, vorwiegend mit Süßwasser gefüllt, entwickelte (s. FISCHER, Abb. 27). Eine fluviatil dominierte Küstenebene im Gebiet des Osterwaldes verzahnte sich nach N mit diesem lagunären Bereich. Der Barrieregürtel verlagerte sich aus dem Gebiet der Rehburger Berge und der Bückeberge allmählich nach S; erst im Bereich von Deister und Süntel kam es wahrscheinlich zu einem Stillstand der transgressiven Entwicklung (PELZER 1988).

Die sandigen Sedimente des engeren Ablagerungsraum sind durch Vorherrschen von Wellenrippel- und Flaserschichtung gekennzeichnet, was in Verbindung mit der vorhandenen starken Bioturbation auf ein niedriges bis mäßig hohes Energieniveau hindeutet. Die Rippelmarken, die auf Schichtflächen wiederholt erhalten sind, sind fast ausschließlich Wellengangsrippeln. Lediglich ein kleiner Teil stellt strömungsüberformte Rippeln dar. Ihr wechselndes Streichen zeigt variierende Windrichtungen an. Bei Trockenfallen wurden die Rippeln überprägt. Die Sedimentationsrate war wahrscheinlich insgesamt gering. In häufigen Stillwasserphasen kam es nur noch zum Absatz von tonig-siltigen Lagen auf Rippelflächen. Auch die Erhaltung der zahlreichen Dinosauriertrittsiegel auf der Sohlfläche des Naturdenkmals weist auf nur mäßige Wasserbewegung hin.

Die Sohlbank-Oberfläche (Flächen 5, 5a; Kap.3.) markiert einzelnes höher-energetisches Ereignis (z.B. Sturm), das tieferliegende Schichten erodierte. Auf der Sohlbank sind Reste von Rinnenböden erhalten, die in sie erosiv einschneiden. Sie zeugen von einem verzweigten System von Ablaufkanälen. Da im abgeschlossenen Niedersächsischen Becken Gezeiten wohl kaum eine Rolle spielten, zeugen diese Rinnen von nur episodischen Wasserspiegelschwankungen, etwa im Gefolge von nachlassendem Windstau oder nach Durchbruch der Trenn-Barrieren zwischen Lagune und Becken.

Die Bioturbation ist in der Sohlbank des Naturdenkmals sehr stark und führte oft zu völliger Entschichtung. 11 verschiedene Ichnofossil-Formen

können unterschieden werden. Sie bilden eine Misch-Ichnozönose, aus Spuren der *Cruziana*- und der *Skolithos*-Fazies. Spuren von Sedimentfressern der *Cruziana*-Fazies überwiegen. Die Spurendichte ist sehr hoch. Die Ichnozönose kennzeichnet den Sedimentationsraum als niedrigenergetischen, gut durchlüfteten Flachwasserbereich.