

Geol. Paläont. Westf.	17	43–69	6 Taf.	Münster März 1991
--------------------------	----	-------	--------	----------------------

Das Profil der Tongrube am Hof Wersborg bei Ibbenbüren

Stephan Schultka*

Zusammenfassung

Ein Profil im höheren Teil der oberen Ibbenbürener Schichten mit transgressiv überlagerndem Zechstein im Bockradener Graben bei Ibbenbüren wird dokumentiert und faziell gedeutet. Hervorzuheben ist die fast vollständige Durchwurzelung der rot gefärbten Schichten des Karbons, was im Gelände nur schwer nachweisbar ist. Eine Abhängigkeit des Verlaufs der Wurzeln von der Korngröße des Sediments kann nachgewiesen werden. An der Basis des Aufschlusses fanden sich Arthropoden-Fährten, die hiermit erstmalig im deutschen Oberkarbon nachgewiesen werden. Der Kupferschiefer nimmt von der Mächtigkeit her mit diesem Aufschluß eine vermittelnde Stellung zwischen dem 2,50 m mächtigen Kupferschieferprofil von Uffeln und dem stark reduzierten, nur 0,40 m mächtigen Profil beim Hof Frehe im Bockradener Graben ein. Die sedimentologischen und paläontologischen Befunde der Schichten des Karbons legen eine geringe Veränderung der klimatischen Bedingungen nahe, widersprechen jedoch der Auffassung von einem „Klimaumschwung“.

Einleitung

Durch verstärkte Abbautätigkeit im Bereich der höchsten Schichten des Karbons (Westfeld) auf dem Ibbenbürener Karbonhorst (Westfeld) wurde im Bockradener Graben beim Hof Wersborg die Zechstein-Transgression aufgeschlossen. Hier ist in den letzten Jahren durch den Abbau der roten Siltsteine und Schiefertone ein wissenschaftlich wertvolles Bodendenkmal entstanden. Da die Verwitterung das Profil aufgrund der petrographischen Beschaffenheit der anstehenden Folge innerhalb kurzer Zeit zu zerstören droht, erscheint es sinnvoll, dieses Profil eingehend zu dokumentieren. Vom Liegenden zum Hangenden stehen in dem Aufschluß folgende Schichteinheiten an:

- a) rote Siltsteine und Schiefertone der „Roten Schichten“ (Westfal D)
- b) Transgressions-Konglomerat des Zechsteins
- c) Kupferschiefer
- d) Zechstein-Kalk

Im östlichen Teil des Aufschlusses stehen jenseits einer Störung dunkelgraue Schiefertone an, die möglicherweise in den Jura (Münder Mergel) zu stellen sind. Während die stratigraphische Position der Schichtenfolge westlich der Störung weitgehend geklärt ist, ist das Alter dieser grauschwarzen Schiefertone mit häufig auftretenden Ton-Eisen-Konkretionen und eingeschalteten Gipslinsen bisher nicht näher bestimmbar. Der kurzfristig zugängliche Bereich dieser Schichtenfolge ist vor allem aufgrund tektonischer Vorgänge so stark beansprucht worden, daß eine Schichtung kaum noch nachweisbar war. Bisher konnte in diesem Bereich nur eine Ton-Eisen-Konkretion mit relativ schlecht erhaltenen Brachiopoden gefunden werden, die noch nicht näher bestimmt wurden. Hier könnte es sich allerdings um ein Erosionsrelikt aus der liegenden Folge handeln, wie das in diesem Raum aus der Literatur bekannt ist. Die Tone gehören aber sicherlich nicht in das Karbon. Auch aus dem Perm des Osnabrücker Raumes sind bisher nirgendwo Sedimente bekannt geworden, die lithologisch mit den hier anstehenden verglichen werden könnten. In der Umrandung des Schafberges sind an verschiedenen Stellen Ablagerungen des höheren Jura nachgewiesen worden und z. T. aufgeschlossen gewesen (BÄSSLER, 1968; THIERMANN, 1975), die sich in ihrer Ausbildung gut mit den hier auftretenden Schiefertonen vergleichen lassen. Die Annahme eines jurassischen Alters wäre nach derzeitigem Kenntnisstand naheliegend.

* Anschrift des Verfassers:

Dr. Stephan Schultka,
Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum,
Forschungsstelle für Paläobotanik,
Hindenburgplatz 57-59,
D-4400 Münster/Westf.

Die Arbeit wurde mit Mitteln des Amtes für Bodendenkmalpflege gefördert.

Besonders beachtenswert ist im liegenden Bereich des Aufschlusses eine ca. 0,4 m mächtige Siltstein-Folge mit Spurenfossilien. Spurenfossilien sind aus dem höheren Karbon äußerst selten, erst aus dem höchsten Karbon und dem Perm sind in Deutschland mehrere Horizonte mit Spurenfossilien bekannt geworden (Saarland, Thüringen etc.).

Karbon

Rote Schichten

Die Roten Schichten stellen das jüngste Schichtglied des Westfal D im Bereich des Ibbenbürener Karbons dar (nach RABITZ in THIERMANN, 1975: 28). Sie stellen keine stratigraphische Einheit im strengen Sinne dar, sondern sind - zumindest für den basalen Anteil - nur eine fazielle Vertretung der Oberen Ibbenbürener Schichten, wie HAVLENA (1968) nachweisen konnte. Die Roten Schichten gehen kontinuierlich aus den flözführenden liegenden Schichten hervor. So tritt an der Basis der rotgefärbten Oberen Ibbenbürener Schichten zumindest im Bereich des Hügels noch ein Flöz auf (HAACK 1909). Das Flöz selbst ist allerdings von grau gefärbten Sedimenten unter- und überlagert.

Die Rotfärbung tritt offensichtlich nicht überall gleichzeitig auf, sie scheint im Süden (Bohrung Coesfeld 1) früher einzusetzen als im Norden (Schafberg, Hüggel, Piesberg). Eine exakte Klärung dieser Frage ist allerdings nicht möglich, da eine feinstratigraphische Parallelisierung aufgrund fehlender Daten derzeit noch nicht durchgeführt werden kann.

Die Roten Schichten sind überwiegend in roter Fazies ausgebildet. Sie treten in dieser Ausbildung weit verbreitet auf, neben weiteren Aufschlüssen am Hüggel wurden vergleichbare Schichten an vielen Stellen im norddeutschen Raum erbohrt. HAVLENA (1968) unterteilt die rote Schichtenfolge im Raum Ibbenbüren in zwei verschiedene Faziesausbildungen, einmal in die liegenden, sekundär rot gefärbten, und zum anderen in den oberen Anteil der primär rot abgelagerten Oberen Ibbenbürener Schichten. Die Basis der Roten Schichten ist siltig-tonig ausgebildet. Sie gehen kontinuierlich aus den grauen, flözführenden Schichten hervor. Konglomerate wurden bisher nicht beobachtet. Die hangende Schichtenfolge setzt diskordant mit einem Transgressionshorizont ein und ist deutlich gröber. Konglomeratische Ablagerungen stellen den dominanten Lithofaziestyp dar, während Schiefertone zurücktreten und fast ausschließlich auf einzelne Linsen beschränkt bleiben. Aufgrund dieser deutlichen sedimentologischen Unterschiede, die sich im gesamten Bereich des Schafberges finden, kann die vorliegende Folge in den Bereich der liegenden Roten Schichten gestellt werden. Es kann allerdings nicht gesagt werden, wo genau im Bereich der Einheit B (nach HAVLENA, 1968: 145) diese Schichtenfolge liegt.

Perm

Zechstein-Konglomerat

Das Konglomerat, das in diesem Profil die roten Siltsteine und Schiefertone überlagert, gehört bereits dem Zechstein an und ist im Osnabrücker Raum durch viele bergbauliche Aufschlüsse am Schafberg und Hüggel bekannt geworden. Diese klassischen Aufschlüsse existieren nicht mehr. Vor allem durch den intensiven, ehemaligen Abbau der Zechsteinkalke zur Eisengewinnung (Hüggel), der Verwertung als Schottermaterial sowie durch den verstärkten Abbau von Schiefertönen für die Ziegelherstellung im Westfeld des Schafberges wurden neue Aufschlüsse im Bereich der Zechstein-Transgression geschaffen. Das Transgressions-Konglomerat überlagert unterschiedlich alte Schichten des Karbons und gleicht offensichtlich ein Paläorelief teilweise aus. Die Mächtigkeit schwankt deshalb stark. Teilweise wird das Konglomerat durch andere Sedimente vertreten oder fällt ganz aus. Das zeigt sich besonders gut in den beiden heute noch zugänglichen Zechstein-Aufschlüssen im Hüggel, die unter Schutz stehen. Hier wird das Transgressions-Konglomerat durch eine Kalksteinbank vertreten, die direkt auf einem oberkarbonischen, konglomeratischen Sandstein aufliegt. In einem weiteren Aufschluß im Bockradener Graben bei Hof Frehe/Ibbenbüren liegt der Kupferschiefer z. T. direkt auf konglomeratischen Sandsteinen des Karbons.

HAARMANN (1914: 327) gab für die Ibbenbürener Karbonscholle an, daß das Konglomerat lokal ausfallen kann. HOFFMANN (1924: 281) wies für den östlichen Teil des Kupferschieferbeckens darauf hin, daß das Konglomerat nicht so weitreichend entwickelt ist, wie es erscheinen mag. Diese Annahme scheint für das gesamte Becken gültig zu sein. Meistens befindet sich an der Basis des Kupferschiefers ein kalkhaltiger, teilweise verkieselter Sandstein. Am Hüggel tritt anstelle dieser Sedimente eine Kalkbank auf, das sogenannte „Mutterflöz“. Konglomerat wie Sandstein bilden eine deutliche Morphologie aus, die vom überlagernden Kupferschiefer ausgeht.

Während TIETZE (1912) für den Ibbenbürener Raum angibt, daß das Transgressions-Konglomerat nur über den konglomeratischen Sandsteinen des Karbons entwickelt ist, über tonigen Folgen jedoch aufgrund fehlenden Materials ausfällt, beschreibt HAARMANN (1914: 327) auch auf tonigem Unterlager ein Zechstein-Konglomerat. In der Tongrube Wersborg liegt das Konglomerat ebenfalls direkt auf den roten Ton-Siltsteinen der Roten Schichten auf und bietet damit ein ungleich eindrucksvolleres Bild der Zechstein-

Transgression als in allen anderen Zechstein-Aufschlüssen des nordwestdeutschen Raumes. Darüber hinaus ist unterhalb des Konglomerates noch ein Bleichungshorizont unterschiedlicher Mächtigkeit ausgebildet, der diese Grenze zusätzlich betont.

Die Zusammensetzung des Konglomerates entspricht der Zusammensetzung von Konglomeraten des Karbons aus dieser Gegend und ist nur durch das karbonatische und stark eisenschüssige Bindemittel zu unterscheiden. Das entspricht den Beschreibungen in der Literatur. Interessanterweise finden sich in den liegenden Bereichen des Konglomerats keinerlei Aufarbeitungsprodukte der unterlagernden Schiefertone und Siltsteine. Vereinzelt finden sich hellgraue Sandsteine, die wahrscheinlich aus den Bereichen stammen, wo das Zechstein-Konglomerat direkt auf den konglomeratischen Sandsteinen des Karbons aufliegt, wie zum Beispiel wenige 100 Meter weiter nordöstlich Hof Wersborg beim Hof Frehe im Bockradener Graben.

Kupferschiefer i. w. S.

Die Mächtigkeit des Kupferschiefers, der über dem Konglomerat folgt, schwankt im hier aufgeschlossenen Bereich zwischen 100 und 120 cm. In Verbindung mit den beiden anderen aufgeschlossenen Kupferschiefer-Vorkommen auf dem Schafberg (Steinbruch Schwienheer/Uffeln, Straßenaufschluß bei Hof Frehe/Bockradener Graben) nimmt dieses Vorkommen eine vermittelnde Stellung ein. Die im Aufschluß wechselnde Mächtigkeit ist direkt abhängig von der Mächtigkeit des Konglomerats im Liegenden.

Während in Uffeln Mächtigkeiten bis zu 2,5 Metern gemessen werden können, ist der Kupferschiefer im Bockradener Graben kaum 0,4 m mächtig. Solche Feldbeobachtungen sind nötig, um zur Rekonstruktion des Paläoreliefs zur Zeit der Zechstein-Transgression zu gelangen; nur selten können solch prägnante Beobachtungen auf so engem Raum gemacht werden.

Beim Kupferschiefer handelt es sich um eine Wechselfolge von bituminösen Mergeln und detritischen Kalksteinen. Es lassen sich drei härtere, zum Hangenden hin mächtiger werdende, stärker kalkige Einschaltungen nachweisen, wie sie GRZEGORCZYK (1986) aus dem 2,5 m mächtigen Kupferschieferprofil des Steinbruchs Schwienheer/Uffeln etwa 6 km nordwestlich der Tongrube Wersborg beschreibt. Die insgesamt neun kalkigeren Einschaltungen kann GRZEGORCZYK (1986: 194) in drei verschiedene petrographische Typen unterteilen, in „wackestones“, in Laminite und Turbidite. In dem etwa 1,5 km nordöstlich gelegenen Zechstein-Aufschluß beim Hof Frehe treten solche Bänke nicht mehr auf, hier beträgt die Mächtigkeit des Kupferschiefers auch nur noch 0,4 m.

Starke Mächtigkeitschwankungen des Kupferschiefers sind schon seit langem bekannt. FREYBERG (1924: 270) gibt Mächtigkeiten von 0,1 m bis über 11 m im Bereich des Nordrandes der Rheinischen Masse an. Auch im gesamten übrigen Kupferschiefer-Meer konnten Mächtigkeitschwankungen von über 10 Metern nachgewiesen werden. Dabei fällt auf, daß die maximalen Mächtigkeiten an Küstenbereiche gebunden zu sein scheinen, die meistens auch besonders hohe Sedimentationsraten aufweisen.

Neben den Küstenbereichen spielen offensichtlich darüber hinaus Inselketten innerhalb des Kupferschiefer-Meeres eine wichtige Rolle. Sie wurden anhand von Bohrungen im Anschluß an die variszisch angelegten großen Sättel und Mulden des rechtsrheinischen Schiefergebirges im Bereich eng eingrenzbarer Zonen, Inseln und Untiefen, nachgewiesen. Aufgrund dieser Beobachtungen kommt FREYBERG (1924: 270) zu dem Schluß, daß man bei fehlendem Rotliegenden mit Klippen des Paläozoikums rechnen kann, die den Zechstein durchstoßen. TEICHMÜLLER (1957: 267) kann anhand der Zusammensetzung von Kalkkonglomeraten das Liefergebiet einengen und die Küstenlage näher bestimmen. Darüber hinaus ist er in der Lage, über die Korngrößen die generelle Schüttungsrichtung festzulegen. Es wäre interessant zu untersuchen, ob auch im Umfeld der Ibbenbürener Karbonscholle ein Hochgebiet, das als Sedimentlieferant gedient hat, zu belegen ist.

Die durch den erhöhten Sedimentzufluß gebildete „Randfazies“ des Kupferschiefers wird als sandig, dolomitisch, tonig, mergelig charakterisiert. So findet sich bei Mächtigkeiten von mehr als 2 Metern für den Kupferschiefer häufig der Hinweis, daß es sich um Mergelschiefer oder Dolomitmergel handelt und nicht um Kupferschiefer im engeren Sinne. Auch der Kupferschiefer von Ibbenbüren zeichnet sich durch einen hohen Kohlenstoff-Gehalt aus, der ihn deutlich von anderen Kupferschiefer-Vorkommen unterscheidet, wie z. B. vom Kupferschiefer am Hüggl. Nur in den küstenfernen, wohl auch tieferen Bereichen des ehemaligen Kupferschiefermeeres scheint es zur Ausbildung des Kupferschiefers im engeren Sinne gekommen zu sein. Dieser ist kalkarm, weist einen hohen Erzgehalt auf und ist teilweise bis heute bauwürdig gewesen.

Sedimentstrukturen

Die gesamte Folge zeigt im Gelände, insbesondere im Bereich der Roten Schichten, ein häufiges Auskeilen der einzelnen Sedimentationseinheiten. Dies weist auf eine starke Differenzierung der Sedimente in lateraler und vertikaler Abfolge hin. Bei einer genaueren Analyse findet sich aber nur eine begrenzte Anzahl von Sedimentstrukturen, was sich im Geländebefund bereits andeutete.

a) Schichtung

Die häufigste Schichtungsform ist Parallelschichtung. Sie beherrscht das Sedimentationsbild der tonigen und bituminös-mergeligen Ablagerungen, tritt aber auch in den siltig-sandigen Sedimenten sehr häufig auf. Aufgrund der allgemein geringen Korngröße darf man annehmen, daß es sich um Ablagerungen handelt, die schwachenergetische Transportverhältnisse belegen. Zum großen Teil dürfte es sich bei diesen Sedimenten, die nur undeutliche Schichtungsmerkmale zeigen, um Suspensionsablagerungen handeln, die auf weitgehenden Strömungsstillstand hindeuten.

Ein Sonderfall ist der Kupferschiefer, der makroskopisch parallelgeschichtet erscheint. Im Anschliff zeigt sich unter dem Binokular allerdings, besonders in den leicht verwitterten Bereichen, ein sehr feines, flaseriges Gefüge. Um feinste Kalkspat-Linsen und -Bänder herum legen sich Ton-Bitumen-Laminae (Taf. 1, Fig. 1). In vergleichbarer Weise wird die „normale Speise“ (schwächer vererzte Tonsteine) des Mansfelder Kupferschiefers von HOFFMANN (1924: 283; Taf. I, Abb. a) beschrieben.

b) Schrägschichtung

Nicht selten tritt auch Schrägschichtung auf. Meistens handelt es sich um Erosionsreste einer bzw. nur weniger Rippelgenerationen, wobei häufig nicht mehr geklärt werden kann, ob es sich dabei um Oszillations- oder Strömungsrippeln handelt. Meistens dürften wohl Strömungsrippeln vorliegen. Planare Schrägschichtung im dm-Bereich ist nur in einer Schichteinheit nachweisbar. Einzelne Schrägschichtungslaminae zeigen dabei eine interne Schrägschichtung. Es könnte sich um große Strömungsrippeln handeln, auf denen sich teilweise wieder erodierte Rippel-Generationen aufbauten. Innerhalb eines Ablagerungsvorganges kam es somit zum deutlichen Wechsel von Strömungsenergie und Strömungsrichtung. Möglicherweise handelt es sich aber auch um longitudinale Schrägschichtung, die bei der lateralen Verlagerung von Flußläufen und Prielten entsteht (REINECK et SINGH, 1980: 104). In einer weiteren Schichteinheit kommt es zu einer etwas mächtigeren Rippelschichtung, die Anklänge an kletternde Rippeln (climbing ripples) zeigt. Diese Erscheinung spricht für relativ hohe Strömungsenergien bei hoher Sedimentfracht.

Die Leebblätter der Rippeln sind meistens eben, seltener finden sich konkav gebogene Leebblätter. Das spricht für eine Ablagerung in gemäßigter Strömung bei nicht zu hoher Suspensionsfracht (REINECK, 1984: 107, nach JOPLING, 1965).

Im Kupferschiefer konnte Schrägschichtung (planar) in nur einer 0,5 cm mächtigen Schichteinheit nachgewiesen werden.

c) Rinnen

Rinnenstrukturen finden sich in fast allen Schichten mit etwas gröberen Sedimenten, vor allem im basalen Anteil der aufgeschlossenen Folge. Es handelt sich dabei meist um sehr flache Rinnen, die nur selten tiefer als 3 Zentimeter in das liegende Sediment eingreifen (Taf. 1, Fig. 2a; Taf. 1, Fig. 3a; Taf. 2, Fig. 1). Sie können aber auch dm-Tiefe erreichen. Solche auch im Gelände nachweisbaren Rinnen finden sich ausschließlich in den basalen Bereichen des Profils. Häufig verflachen diese Rinnen nach beiden Seiten gleichermaßen. Unterscheidungen in Prall- und Gleithang sind nicht möglich. Bei solchen flachen Rinnen handelt es sich möglicherweise um Ablaurinnen, die in Watten und in Flachländern nach Überschwemmungen (z. B. nach Dambrüchen, „crevasse splay“) auftreten.

Die Rinnen sind zum Teil mit parallelgeschichteten Sedimenten verfüllt, zum Teil auch mit schräggeschichteten. Das weist darauf hin, daß die Rinnen mit Parallelschichtung bei einem Wasserstand unterhalb der Oberkante verfüllt wurden, während die anderen Rinnen bei vollständiger Wasserbedeckung zusedimentiert wurden. Im Liegenden tritt vereinzelt ein Rinnengefüge auf (scour-and-fill structures).

Das Sediment in den Rinnen ist fast immer gröber als das umgebende Sediment, wie das auch im allgemeinen der Fall ist (SHROCK, 1948). Sehr häufig finden sich in den Rinnenablagerungen Siltstein/Schiefer-ton-Gerölle, die meist einen Durchmesser um 5 mm aufweisen. Diese Gerölle sind in der vorliegenden Sedimentationsfolge typische Elemente. Sie zeigen zum Teil noch interne Strukturen, d. h. eine Silt/Ton-Wechselschichtung. Bei diesen Formen handelt es sich um einen Geröll-Typ, der nach WILLIAMS (1966: 577) belegt, daß im Bereich des Oberlaufs zumindest leicht verfestigte Sedimente subaquatisch erodiert wurden. Das geschieht vornehmlich dann, wenn keine Schwebefracht zum Transport zur Verfügung steht.

d) Risse

Eindeutige Trockenrisse finden sich in den hier vorliegenden Schichtenfolgen nicht. Überhaupt wurden bisher aus dem flözführenden Karbon des euramerischen Bereichs kaum Beobachtungen von Trockenrissen bekannt gemacht. Erst im Stefan treten solche Austrocknungserscheinungen gehäuft auf.

In Querschnitten sind aber immer wieder Risse nachweisbar, die allerdings nicht den bisher bekannten Bildern von Trockenrissen entsprechen. Sie finden sich nur in den Schiefer-tonen und reichen kaum tiefer als wenige Zentimeter. Die Risse zeigen nicht die typische V-Form der Trockenrisse, bilden keine Polygone und sind im Querschnitt z. T. stark verzweigt (Taf. 2, Fig. 2). Verfüllt sind sie mit Material, das aufgrund des Fehlens der tonigen Komponente in der Matrix gröber erscheint als das umgebende Sediment. Bei einigen dieser Risse handelt es sich möglicherweise um Erscheinungen, die auf Synerese zurückgeführt werden könnten. Dafür

sprechen die geringen Dimensionen der Risse, die Form und Tiefe der Querschnitte sowie die fehlende Polygonbildung (REINECK et SINGH, 1980: 60; DONOVAN et FOSTER, 1972).

Daneben treten weitere Rißstrukturen auf, die von einem zentralen Bereich aus Apophysen-artig in das umgebende Sediment eindringen (Taf. 2, Fig. 3). Sie sind mit deutlich größerem Material verfüllt, z. T. finden sich als Komponenten 3-4 mm große Bruchstücke des umgebenden siltigen Schiefertons. Diese Erscheinungen könnte man durch Entwässerungsvorgänge erklären, atypische Trockenrisse könnten aber ebenfalls als Deutung herangezogen werden.

e) Entschichtung

Mehrfach finden sich Schichtabschnitte, die völlig ungeschichtet erscheinen. Dabei wird selten deutlich, ob es sich um eine primäre, schichtungslose Ablagerung oder um eine sekundär herbeigeführte Entschichtung handelt.

Eindeutig primären Ursprungs dürften lokal ausgebildete Siltstein/Schieferton-Geröll-Horizonte mit ungeordnet-chaotischem Gefüge sein (Taf. 1, Fig. 2b). Die einzelnen Komponenten bestehen zum größten Teil aus schlecht sortierten, stark plattigen roten Schiefertongeröllen im mm-Bereich, die in einer siltig-sandigen Matrix eingebettet sind. Hier dürfte es sich um Ablagerungen aus kleinräumigen Massenbewegungen handeln (z. B. kleinen Schlammströmen), wie sie häufig in schnell abgelagerten, stark wasserhaltigen Sedimenten des fluviatilen Formenkreises auftreten (REINECK, 1984: 301).

Bei den Schichten, wo man eine sekundäre Entschichtung annehmen darf, handelt es sich fast ausschließlich um Schiefertone (Taf. 2, Fig. 4a, b). Sie entsprechen wahrscheinlich solchen Horizonten, wie sie bereits HAVLENA (1968: 148) aus Aufschlüssen weiter nördlich im Bockradener Graben beschreibt. Er deutet diese entschichteten Horizonte als Ergebnis eines Nachbrechens der hangenden Schichten nach Oxidation und Fortführung kleiner Flözchen. Wahrscheinlicher dürfte allerdings sein, daß es sich hier um flachgründige Verwitterungshorizonte handelt, die unter warmhumiden klimatischen Bedingungen entstanden sind, oder um Entschichtungsvorgänge, die im Zusammenhang mit Rhizoturbationen stehen.

Zur Frage der Färbung

Mit der Entstehung der Färbung der Roten Schichten hat sich HAVLENA (1968) intensiv auseinandergesetzt. Dabei kommt er zu dem Schluß, daß zwei verschiedene Faziesbereiche vorliegen. Im Hangenden soll es sich um primär rot abgelagerte Sedimente handeln, wie das alle Bearbeiter bis EBERT (1954) für die gesamte Folge angenommen hatten. Für die Sedimente im Liegenden nimmt er dagegen eine primär grau gefärbte Folge mit kleinen Flözen an, die stufenweise durch Verwitterungsvorgänge sekundär rot verfärbt wurde. Dabei geht er davon aus, daß die ursprünglich vorhandenen Flözchen oxidiert und weggeführt wurden. In den dadurch entstandenen Hohlraum soll im Folgenden der Hangendschiefer nachgestürzt sein. Die grünlichgrauen Einschaltungen werden als Reduktions- bzw. Bleichungshorizonte angesehen.

Diese Deutung der Rotfärbung wurde von THIERMANN (1970: 41; 1975: 52; 1980: 46) uneingeschränkt übernommen. Grundsätzlich konnten die Befunde HAVLENAS auch am hier vorliegenden Profil bestätigt werden. So konnte keine signifikante Abhängigkeit der Korngröße von der Sedimentfarbe festgestellt werden. Allerdings sind Schiefertone seltener graugrün verfärbt als die gröberen Schichten. Zudem konnten grünlichgraue Schiefertone/Siltsteine als Komponenten in den „Schieferton-Konglomeraten“ nachgewiesen werden, was darauf hinweisen könnte, daß entsprechende Bleichungen bereits sehr früh eingesetzt haben, also eher synsedimentär oder zumindest sehr früh-postsedimentär.

Weiter konnte nachgewiesen werden, daß nicht nur grünlichgraue Reduktionshöfe um organische Reste, z. B. Wurzeln, nachweisbar sind (Taf. 1, Fig. 3c), sondern daß vereinzelt kräftige Rotfärbungen in Tonanreicherungen um Wurzeln in grünlichgrauen Schichtabschnitten auftreten können. Das weist auf eine Bleichung primär (sekundär?) rot gefärbter Sedimente hin.

Ähnliche Beobachtungen können auch in rezenten bis subrezentem Sedimenten gemacht werden. So kann es während und nach der Ablagerung von Sedimenten zu Oxidations- und dann wieder zu Reduktionsvorgängen kommen, so daß kaum noch die primäre Färbung nachgewiesen werden kann (TURNER, 1980).

An der Grenze des Karbons zum Zechstein-Konglomerat tritt ein unterschiedlich mächtiger Bleichungshorizont auf. Der hier anstehende Bleichungshorizont unterscheidet sich in seiner Färbung deutlich von den Reduktionsfarben im Liegenden. Er weist ein völliges Fehlen von roten Farben auf, die grauen Farben changieren eher ins bläuliche und unterscheiden sich deutlich von der grünlichgrauen Färbung der liegenden Sedimente. Diese bläulichgraue Färbung ist an Schiefertongebunden, die im Liegenden häufig durch ihre besonders kräftige Rotfärbung auffallen. Insgesamt wird der Horizont von hellbraunen Farben beherrscht, wie sie auch in der Matrix des überlagernden Zechstein-Konglomerates zu beobachten sind. Schon dieser Farbunterschied deutet darauf hin, daß hier andere chemische Vorgänge zur Bleichung geführt haben könnten als im Liegenden des Profils. Darüber hinaus findet sich kein „Verwitterungshorizont“ im Grenzbereich zum Konglo-

merat, d. h. ein z. B. durch Bioturbation zumindest teilweise entschichteter Horizont. Solch eine Entschichtung würde für einen längeren Zeitraum fehlender Sedimentation unter Wasserbedeckung sprechen, was zur Reduzierung der vorher roten Sedimente führen könnte. Daher liegt die Vermutung nahe, daß es sich hier um syndiagenetische und möglicherweise erst postpermische Bleichungsvorgänge durch Sickerwässer aus dem Kupferschiefer handelt und nicht um Erscheinungen der Prä-Zechstein-Verwitterung.

In diesem Zusammenhang muß darauf hingewiesen werden, daß es sich bei diesem Bleichungshorizont nicht um eine lokale Erscheinung handelt. Überall dort, wo der Kupferschiefer über rotgefärbte Sedimente transgrediert, sind diese gebleicht. Einen vergleichbaren Horizont beschreibt auch TEICHMÜLLER (1957: 267) vom Kontaktbereich zwischen dem Zechstein-Konglomerat und dem Westfal B in der niederrheinischen Bucht.

Ähnliche Beobachtungen kann man auch im Bereich der Diskordanz zwischen den sekundär und primär gefärbten Roten Schichten machen. Mehrfach treten solche Bleichungen darüber hinaus an Schieferton/Sandstein-Grenzen innerhalb der gesamten Roten Schichten auf (Taf. 2, Fig. 1). Diese Bleichungshorizonte wurde bisher jedoch noch nicht näher untersucht.

Der Wechsel von roten und grünlichgrau gefärbten Schichten ist allgemein verbreitet und Gegenstand einer sehr umfangreichen Literatur. Generell sind sich die meisten Autoren darüber einig, daß im terrestrischen Sedimentationsmilieu prinzipiell rote, feinkörnige Sedimente die Überflutungsebenen charakterisieren, während grünliche, grobkörnige Sedimente im Bereich der eigentlichen Strömungsrinne auftreten. Die sehr feinkörnigen, roten Sedimente stellen also eher Ablagerungen der Überflutungsebenen dar. Sie liegen im Auftauchbereich und sind bis zur nächsten Überflutung oft über lange Zeiten den Atmosphären frei zugänglich. Aufgrund erhöhter Oxidation bei entsprechenden klimatischen Voraussetzungen sind sie vornehmlich rot gefärbt (TURNER, 1980: 246). Zudem laufen Bleichungsvorgänge insbesondere in Tongesteinen langsamer ab, da die Porenräume relativ abgeschlossen sind und damit die Zirkulation von Porenwässern stark herabgesetzt oder ganz unterbunden ist.

Grünlichgraue Einschaltungen innerhalb solcher Folgen stellen dann Zeiten von Sumpf- oder Moorbildungen dar, d. h. Bereiche auf der Überflutungsebene, die nicht vollständig trockenfielen. Auch Bodenbildungsvorgänge können zur Bleichung führen. Mit solchen Vorgängen geht häufig eine „Calcrete“-Bildung einher. Solche Bildungen könnten ansatzweise auch im vorliegenden Profil in grünlichgrauen Schichtabschnitten vermutet werden (Taf. 3, Fig. 1).

In fluviatilen Abfolgen darf man trotzdem davon ausgehen, daß unter Wasser abgelagerte Sedimente (Fließrinne) hauptsächlich grünlichgrau gefärbt sind. Es handelt sich dabei auch meistens um gröberkörnigere Ablagerungen. Diese Sedimente verbleiben häufiger unter Wasserbedeckung und damit unter reduzierenden Bedingungen. Die Rotfärbung gröberer Sedimente ist wahrscheinlich hauptsächlich späterdiagenetisch entstanden, was vor allem bei mineralogisch „unreifen“ Sedimenten der Fall ist. Sehr häufig spielt auch das Liefergebiet eine herausragende Rolle bei der Färbung gröberer Sedimente (TURNER, 1980: 250).

Die Färbung von Sedimenten ist insgesamt von einer Vielzahl von Faktoren abhängig, wobei das Klima eine wichtige Rolle spielt. Aufgrund weltweiter Beobachtungen kann man sagen, daß die meisten Rotsedimente in semi-ariden Gebieten gebildet wurden. Für solche Bedingungen sprechen im vorliegenden Fall die häufig auftretenden intraformationellen Gerölle und das Ausklingen der Flözbildungen im direkten Zusammenhang mit dem Einsetzen der Rotfärbung. Die Klimaänderung gegenüber dem tieferen Oberkarbon ist allerdings noch nicht sehr tiefgreifend, zumindest findet keine tiefgreifende Umschichtung in der Zusammensetzung der Flora statt. So kommt es noch nicht zu einer völligen Umstellung der Biogeozönosen, sondern es werden zuerst nur Teilbereiche modifiziert (Auftreten der Rotfärbung, Auftreten der Tongeröll-Lagen, Nachlassen der Produktion von Phytomasse bzw. stärkere Oxidation der pflanzlichen Reste).

Fossilinhalt

Bei einer ersten Profilbegehung erschien die Schichtenfolge insgesamt praktisch fossilieer. Bei einer genaueren Aufnahme konnte aber doch eine ganze Reihe von Fossilresten geborgen werden. So fanden sich an der Basis der Kupferschiefer-Folge in zwei Horizonten bisher 26 Fischreste (darunter 4 weitgehend vollständige Individuen) und zwei Muschelreste. Pflanzenreste konnten in vielen Horizonten des Profils geborgen werden. Sie fanden sich häufig erst bei den Untersuchungen im Labor. Das ist nicht verwunderlich, da in den roten Sedimenten die Pflanzenreste – wenn überhaupt – nur noch als Abdruck erhalten sind, die organischen Substanzen wurden oxidiert und fortgeführt. Nur selten finden sich noch dunkle Umwandlungsprodukte der organischen Teile, wahrscheinlich handelt es sich um Manganverbindungen. Im Vergleich mit den von HAVLENA (1968), RAABE et REMY (1964) sowie vom Verfasser im nördlichen Teil des Bockradener Grabens und im Bereich des nordwestlichen Randabbruchs untersuchten Aufschlüssen ist die Pflanzenführung überraschend gering.

In drei Schichtgliedern fanden sich Calamiten-Reste (Taf. 3, Fig. 2a, b), in einem Falle handelt es sich möglicherweise um Rhizome in situ. Auf einer Schicht findet sich eine mm-mächtige Lage von dichtgepackten Cor-

daitenblättern. Wie man das oft im Karbon beobachten kann, sind über und unter den Blättern Wurzelsysteme entwickelt, auch werden die Blätter von den Wurzeln durchstoßen (Taf. 3, Fig. 3). Die Blätter liegen ohne jede Einregelung auf der Schichtfläche. Sie stellen einen Streuhorizont dar und belegen einen wahrscheinlich weitgehend monotypischen Cordaitenbestand im Ablagerungsbereich. Die Blätter finden sich in einem noch sehr quellfähigen Schiefertone, der direkt im Hangenden der Cordaiten-Blatt-Lage Calamiten-Reste aufweist. Sie belegen einen sehr nassen Standort, möglicherweise auch dauernde, flache Wasserbedeckung. Da die Cordaiten-führenden Schichten relativ kontinuierlich in das Hangende übergehen, darf man annehmen, daß es sich hier um eine der Cordaiten-Gruppen handelt, die feuchte Standorte bevorzugte.

Im stärker siltig-sandig ausgebildeten Liegenden der Folge konnte noch die Fruchtschuppe einer Lycophyten (*?Lepidostrobophyllum*) gefunden werden, die aber aufgrund der schlechten Einhaltung nicht näher bestimmt werden kann. Die schlechte Erhaltung geht dabei nicht auf Transport, sondern vielmehr auf taphonomische Vorgänge (grobes Sediment, Oxidation) zurück. Dieser Fund belegt somit auch das Auftreten von Lycophyten.

Wurzeln stellen die weitaus häufigsten pflanzlichen Reste im Profil dar. Während im Gelände die Durchwurzelung sehr schwer und auch nur in einzelnen Schichteinheiten nachweisbar ist, zeigte sich bei der genaueren Untersuchung im Labor, daß fast die gesamte Folge durchwurzelt ist. Nur in zwei Schichteinheiten von jeweils wenigen Zentimetern Mächtigkeit konnten bisher keine Wurzeln nachgewiesen werden.

Gerade in roten Sedimenten ist es sehr schwer, Wurzeln nachzuweisen, da die kohlige Substanz häufig restlos oxidiert und fortgeführt wurde. Es stellt sich somit die Frage, welche Kriterien eine Struktur im Sediment erfüllen muß, um sie eindeutig als Wurzel zu identifizieren und nicht als tierische Lebensspur, oder als anorganische Bildung.

Typisch für Wurzelsysteme ist die Verzweigung nach unten, Ausnahmen von dieser Faustregel sind selten. Seitenwurzeln haben immer einen deutlich geringeren Durchmesser als die Hauptwurzeln, wobei es allerdings nicht selten vorkommt, daß sich eine Wurzel in zwei gleichstarke Äste gabelt. Man darf also nicht nur ein kurzes Teilstück einer Wurzel beobachten, sondern muß viele Stücke und möglichst auch längere Wurzelteile untersuchen. Ein weiteres Merkmal für das Vorliegen einer Wurzel ist das häufig zu beobachtende unregelmäßige Ausdünnen und Verdicken von Wurzeln. Dies wird durch Torsionen, durch das Umwachsen von Hindernissen im Sediment oder unterschiedlich starkes Zusammendrücken von absterbenden Wurzelteilen hervorgerufen. In Tongesteinen oder tonhaltigen Silt- und Sandsteinen kann man darüber hinaus an der Außenseite der Wurzeln fast immer feine Rutschungsharnische beobachten. Solche Harnischbildungen treten zwar auch bei tierischen Bauten auf, setzen aber eine starke Wandversteifung der Grabbauten voraus. Solche Bautypen sind jedoch gerade im Süßwassermilieu sehr selten. Im Vergleich mit tierischen Bauten fehlen immer Stopfgefüge. Wohl aber kann in den Wurzelröhren ein annähernd konzentrischer Aufbau nachweisbar sein (Taf. 3, Fig. 4a, b). Solch ein konzentrischer Aufbau erklärt sich durch den unterschiedlich schnellen Abbau der Rindengewebe im Verhältnis zum Gewebe der Leitbündel. Dadurch kann es zu einer zweiphasigen Verfüllung der Wurzelröhre kommen. Auch bei tierischen Bauten ist im Querschnitt ein konzentrischer Aufbau gelegentlich beobachtbar, der durch die Phasenhaftigkeit der Verfüllung des Grabbaus hervorgerufen werden kann. Im Längsschnitt erkennt man aber sofort die konkave Stopfstruktur, die der Wurzelfüllung fehlt.

Im vorliegenden Profil findet sich bei größeren, körperlich erhaltenen Wurzelresten ein innerer, konzentrischer Aufbau. Eine äußere und eine innere, kräftig rot gefärbte schmale Zone schließt eine breitere Zone ein, die mit dem Sediment verfüllt ist, von dem die ehemalige Wurzel umgeben war. Im innersten Bereich tritt eine schmale, dreieckig verlaufende Zone auf, die wie die beiden schmalen äußeren Zonen kräftig rot gefärbt ist. Diese innerste Zone kann fast vollständig fehlen. In diesem Fall ist häufig nur noch eine feine, schwärzliche, rißartige Struktur nachweisbar, die die Innenwände der Wurzelröhre normalerweise nicht erreicht (Taf. 3, Fig. 4a, b).

Kleinere Wurzeln mit Durchmessern von weniger als 2 mm weisen eine weniger differenzierte Zonierung auf. Sie zeigen meist nur einen kräftig rot gefärbten äußeren Ring. Das Material im Innenbereich zeigt die gleiche Körnung wie das umgebende Sediment. Ab und zu findet sich zentral eine rot gefärbte rundliche Markierung.

Die kräftig rot gefärbten Zonen haben manchmal ihre Farbe auch in den grünlichgrauen Schichtabschnitten behalten. Meistens sind aber alle Bereiche der ehemaligen Wurzeln grünlichgrau gefärbt. Es zeigt sich viel häufiger ein grünlichgrauer Reduktionshof um die Wurzelbahnen, wie das HAVLENA (1968: 147) beschreibt.

Liegen die ehemaligen Wurzelreste nicht körperlich erhalten vor, werden die Wurzelbahnen in den siltig-sandigen Sedimenten häufig durch Tonbestege nachgezeichnet. Diese feinen Tonschleier zeigen immer die bereits erwähnten Harnische und glänzen dadurch häufig.

Insgesamt können zwei unterschiedliche Durchwurzelungsformen unterschieden werden.

In allen Sedimenten des Profils finden sich in erster Linie Wurzelsysteme, die in verschiedenen Winkeln zur Sedimentationsebene durch das Gestein ziehen (Taf. 4, Fig. 1,2). Diese Wurzeln treten nur relativ selten schichtparallel auf. Dabei handelt es sich wahrscheinlich nicht um einen bestimmten, nur einer Pflanzengruppe zugehörigen Wurzeltyp. Eine genauere Differenzierung der einzelnen Wurzeln bzw. eine Zuordnung zu bestimmten Pflanzengruppen ist bisher leider nicht möglich.

Seltener finden sich Wurzelsysteme, deren Wurzeln vornehmlich parallel zur Sedimentationsebene verlaufen. Sie schneiden die Schichtflächen gelegentlich sehr flachwinklig. Dieser Wurzeltyp erreicht im Durchmesser nicht die Größen des ersten Durchwurzelungstyps. Man findet ihn nur in sehr tonigen Ablagerungen. Diese Wurzeln gehören wahrscheinlich zu der Gruppe der Calamiten. Dafür spricht eine, wenn auch nicht strenge Wirtelstellung abgehender Seitenwurzeln (Taf. 3, Fig. 5). Darüber hinaus finden sich im Zusammenhang mit diesem Wurzeltyp häufig oberirdische Reste von Calamiten. Ein Beweis für die Zugehörigkeit dieser Wurzeln zu den Calamiten steht aber noch aus.

Die Pflanzenreste aus dem Kupferschiefer zeigen Spuren eines weiten Transports, sie waren zum Zeitpunkt der Sedimentation bereits teilweise abgebaut. Auf den schlechten Erhaltungszustand der Pflanzen im Kupferschiefer des Ibbenbürener Raumes weist bereits FRIMAN (1986: 203) für die wenigen Funde (insgesamt nur 8 Reste) aus der Grabung des Amtes für Bodendenkmalpflege im Steinbruch Schwienheer/Uffeln hin. So können auch alle 10 bisher geborgenen Reste nicht bestimmt werden. Zwei etwas besser erhaltene Reste könnten vom Habitus her zur Gruppe der Ullmannien gestellt werden, es könnte sich um die im Kupferschiefer sehr häufige *Ullmannia frumentaria* (Taf. 4, Fig. 3a, b) handeln. Wurzeln treten nicht auf.

Wesentlich häufiger finden sich tierische Reste, wobei es sich fast ausschließlich um Fische handelt. Wie zu erwarten, tritt *Palaeoniscum freieslebeni* (Taf. 4, Fig. 4a, b) als mit Abstand häufigste Form auf. In Uffeln ist diese Species mit einem Anteil von 90% an der gesamten Fischfauna beteiligt, im Richelsdorfer Gebirge bei Kassel beträgt der Anteil etwa 85% (SCHAUMBERG, 1977: 440). Daneben konnte ein vollständiges Exemplar von *Platysomus striatus* (Taf. 5, Fig. 1) und eine etwa 15 cm lange Schwanzflosse gefunden werden, die aufgrund der sehr großen Fulcra auf dem Dorsalrand der Schwanzflosse zu *Pygopterus* sp. (Taf. 5, Fig. 2) gehören könnte. Auch zwei unbestimmbare Muschelreste (Taf. 5, Fig. 3) konnten geborgen werden. Eingehender hat sich FRIMAN (1986) mit der Fauna des Kupferschiefers vom Schafbergs aus der Grabung im Steinbruch Schwienheer/Uffeln befaßt.

Überraschend war im vorliegenden Profil das Auftreten von Spurenfossilien. Der 40 cm mächtige, Spurenführende Horizont liegt nahe an der Sohle der Tongrube. Die gesamte untersuchte Folge zeigt durchgehend auf fast jeder Schichtfläche Arthropoden-Fährten, wenn diese auch meistens sehr undeutlich und verwischt sind. Nur in einigen wenigen Horizonten, vor allem im oberen Anteil, konnten klare Fährten geborgen werden.

Spurenfossilien allgemein sind im Karbon nicht selten, wohl aber Fährten, wenn man von Fährten des *Sinusites*-Typs absieht, der vor allem im tieferen Oberkarbon häufig ist. Spuren von höheren Tieren sind aber die große Ausnahme. So sind bisher nur Tetrapoden-Fährten im Bereich von Flöz Plaßhofsbank aus der Zeche Präsident/Bochum (KUKUK 1938: 140), von Flöz Gustav aus der Zeche General Blumenthal/Recklinghausen (SCHMIDT, 1956: 204) sowie 12 verschiedene Vertebraten-Spuren im Hangenden von Flöz Blücher aus der Zeche Dechen/Saar (WEINGARDT, 1961) beschrieben worden.

Für fast das gesamte Karbon des euramerischen Bereiches finden sich in der Literatur ebenfalls nur sehr wenig Hinweise auf Fährten. Erst im allerhöchsten Karbon sind vermehrt Horizonte mit Spurenfossilien bekannt geworden (Saarland, Thüringen, Frankreich etc.). Aus tieferen stratigraphischen Niveaus des Karbons sind sonst nur noch Vorkommen in Amerika beschrieben worden, wobei die genaue Korrelation mit der europäischen Stratigraphie allerdings nicht gesichert ist. Damit dürfte das Vorkommen von Arthropoden-Fährten in der Tongrube Wersborg zumindest in Deutschland bisher einmalig in dieser stratigraphischen Position sein.

Die Spuren sind relativ schlecht erhalten, zum Teil ist nur eine undeutliche Reihung von leichten Vertiefungen festzustellen. In den meisten Fällen ist diese Erhaltung wahrscheinlich auf das relativ grobe Sediment (Feinsand bis Grobsilt) zurückzuführen, in dem die Spuren erhalten sind. Da mehrfach auch feinere Details überliefert sind, handelt es sich zumindest in diesen Fällen nicht um „Undertracks“. Eindeutige „Undertracks“ können zuweilen beobachtet werden, diese sind aber ohne den Zusammenhang mit deutlichen Fährtenzügen kaum noch als von Spuren herrührend zu erkennen.

Bei den Spuren können drei Grundformen unterschieden werden. Es handelt sich um linear aneinandergereihte, grubenartige Vertiefungen, sog. „Perlschnüre“ (Taf. 5, Fig. 4), um schräg nach hinten zur Längsachse der Fährte gerichtete, stäbchenförmige Eindrücke (Taf. 5, Fig. 5; Taf. 6, Fig. 1) und um langgezogene, parallel zueinander liegende Schleifspuren (Taf. 6, Fig. 2). Die beiden ersten Fährtentypen dürften derselben Gruppe von Erzeugern zugeschrieben werden. Außer in der Größe sind keine echten Unterschiede feststellbar. Der Unterschied zwischen den Punkt-förmigen und den gekrümmten, Komma- bis Strich-förmigen Eindrücken ist nur auf unterschiedlich starke Berührung des Untergrundes durch die Extremitäten der Spurenerzeuger zurückzuführen. Auf diese Variabilität von Spuren weist auch WALTER (1983: 149) hin. So kommt WALTER ebenfalls zu dem Ergebnis, daß bei den Punkt- wie bei den schwach gekrümmten, Komma- bis Strich-förmigen Einzeleindrücken Fährtenähnlichkeit vorliegt.

Bei den hier untersuchten Spuren handelt es sich um asymmetrisch angelegte Fährten. Eine Eindrucksgruppe von mindestens 5 bis 6 Einzeleindrücken verläuft im Winkel von etwa 45° zur Bewegungsrichtung gegen die zweite Fährtenseite, die in den meisten Fällen gerade fortlaufend angelegt ist (Taf. 5, Fig. 5; Taf. 6, Fig.

3). Bei der gerade fortlaufenden Fährtenseite können keine Eindrucksgruppen auseinandergelassen werden. Solche Asymmetrien im Aufbau eines Fährtenzuges sind häufig beobachtet worden und könnten auf ein Laufen in sehr flachem Wasser bei schwacher Strömung zurückgeführt werden.

Eine Schleifspur zwischen den beiden Eindrucksreihen konnte in keinem Fall nachgewiesen werden.

Die Fährtenbreite liegt zwischen 11 mm und 36 mm, der Trittabstand beträgt 12 mm bis 60 mm. Die Größe der einzelnen Trittsiegel variiert von 2 bis 7 mm. Während die kleinen Trittsiegel nur rundliche Vertiefungen darstellen, zeigen die größeren Eindrücke meistens eine deutliche Komma- bis Sichelform. Das zum Fährtenzentrum hin liegende Ende der Einzeleindrücke läuft häufig in einer kleinen, rundlichen Erhebung aus, von der eine Rinne in Bewegungseinrichtung ausläuft.

Die Bewegungsrichtung des erzeugenden Tieres verläuft entgegen der konvexen Krümmungsrichtung größerer Einzeleindrücke, wobei das nach hinten weggedrückte Sediment häufig zu einem deutlichen Wall aufgeworfen wird.

Dieser Spurentyp tritt häufig im Unterdevon auf und wurde von STOERMER (1934: 21) nach KIAER 1911 als *Merostomichnites* bestimmt. Allerdings scheinen unter diesem „Genus“-Namen sehr unterschiedlich aufgebaute Fährten zusammengefaßt worden zu sein. Es zeigen sich auch starke Ähnlichkeiten mit *Umfolozia*. Die einzelnen Eindrucksgruppen bestehen aus 5 Einzeleindrücken, die aber noch einmal in sich stark gegliedert sind, was sich auch bei schlechter Erhaltung erkennen läßt (ANDERSON, 1981: 97). Eine ebenfalls sehr ähnlich aufgebaute Spur aus der Trias von Arizona und Utah bildet PEABODY (1956: Taf. 80, Fig. 4) ab, beschreibt sie jedoch nicht näher. Die Details der einzelnen Trittsiegel, wie zum Beispiel der hakenförmige Verlauf der Einzeleindrücke, sind darüber hinaus einer großen Eurypteriden-Fährte vergleichbar, die von HANKEN et STOERMER (1975) beschrieben und abgebildet wurde.

Auf einer Schichtfläche läßt sich ein weiterer Fährtentyp erkennen. Es handelt sich dabei um wenige Zentimeter lange Teilstücke einer etwa 2 bis 3 mm breiten Fährte, die aus zwei durchgehenden, flachen Schleifspuren zu bestehen scheint. Es liegen Ähnlichkeiten zu *Isopodichnus* vor, einer Fährte aus glazialen Warvenfolgen des höheren Karbons des südlichen Afrika bzw. Australien. Diese Fährten werden Phyllopoden zugeschrieben, was jedoch SAVAGE (1971: 227) bezweifelt. WALTER (1984: 71) bildet vergleichbare rezente Spuren von Decapoden ab.

Von Spuren auf deren Erzeuger rückzuschließen ist zumeist schwierig und häufig sogar unmöglich, was bereits SEILACHER (1953) nachwies. Trotzdem kann häufig zumindest auf die Tiergruppe geschlossen werden (FREY, 1975: 89). Die hier vorliegenden Fährten (bis auf den dritten, völlig anders gebauten Fährtentyp) wurden sicherlich nur von einer Tier-Gruppe erzeugt.

Im flözführenden Karbon findet sich eine Vielzahl verschiedener Arthropoden-Gruppen, die generell als Erzeuger herangezogen werden könnten. So treten neben den Eurypterida offensichtlich sehr häufig Skorpionida auf, die durch Kutikulen in Brandschiefern nachgewiesen werden können (lt. freundl. schriftl. Mitteilung durch Herrn JERAM, Manchester). Überraschend Individuen- und Arten-reich sind daneben die Xiphosurida (SCHULTKA, 1988), deren Spuren im jüngsten Palaeozoikum nicht selten nachgewiesen werden konnten (WALTER, 1983: 149). Hinzu treten Gruppen unsicherer taxonomischer Stellung wie die Arthropleurida und Euthycarcinoidea.

Die häufig zu beobachtenden Trittserien aus mindestens 5 oder 6 Einzeleindrücken sprechen gegen Erzeuger aus der Gruppe der Arthropleurida mit ihrer Vielzahl von Extremitätenpaaren. Aufgrund des Baus der Extremitäten der Euthycarcinoidea könnten diese den vorliegenden Spurentyp erzeugt haben. Obwohl die Euthycarcinoidea insgesamt 12 Beinpaare aufweisen, kann es bei halbschwimmender Fortbewegung auch zu Eindrucksgruppen mit weniger Einzeleindrücken kommen. Solch eine Fortbewegung würde – neben dem groben Sediment – auch die Detail-arme Erhaltung der Spuren erklären. Allerdings sollten dann, entsprechend dem Bau der Extremitäten von *Euthycarcinus*, innerhalb einer Eindrucksgruppe die Einzeleindrücke kontinuierlich nach hinten kleiner werden. Dies ist aber nicht der Fall, weshalb auch diese Gruppe kaum als Erzeuger in Frage kommt. Die Spuren der Xiphosurida sind recht gut bekannt und zeichnen sich durch das Auftreten einer medianen Schleifspur (? hervorgerufen durch das schleifende Telson) aus, die aber häufig auch fehlen kann, vor allem dann, wenn noch Wasserbedeckung vorlag und die Tiere das Telson zum Steuern und zur Ausbalancierung des Gleichgewichts benötigten. Die Fährten der Xiphosurida sind bei etwa gleich guten Erhaltungsbedingungen stärker differenziert als die vorliegenden. Das liegt vor allem an dem unterschiedlichen Bau des 6. Extremitätenpaares (des „pushers“), der Trilobiten-ähnliche Trittsiegel hinterläßt. Zudem haben die Xiphosuriden nur 4 Laufbeine, was sich anhand der Einzeleindrücke pro Eindrucksgruppe nachvollziehen läßt.

Über die Fährten der Eurypterida und Skorpionida ist dagegen noch wenig bekannt. Die im Unterdevon auftretenden, sehr ähnlich angelegten Fährten finden sich in Flachwassersedimenten, die fast immer auch Eurypteriden-Reste enthalten. Daher wurden die Fährtenzüge in diesem stratigraphischen Bereich dieser Arthropoden-Gruppe zugeschrieben. Es läge daher nahe, auch für die hier vorliegenden Fährten Eurypteriden als Erzeuger anzunehmen. Im Gegensatz zu den hier vorliegenden Spuren wird aber eine Trittserie nur von 3, noch dazu unterschiedlich gebauten Trittsiegeln gebildet und nicht von 5 oder 6 weitgehend gleichartig erscheinenden Einzeleindrücken. Da die Eurypterida nur 4 Laufbeinpaare aufweisen, während die Erzeuger der

hier vorliegenden Spuren mindestens 5 oder 6 Laufbeinpaare besessen haben müssen, kommen die Eurypteren nicht als Spurenerzeuger in Betracht.

Für den stratigraphischen Abschnitt des Karbonoperms kämen am ehesten Syncarida oder Peracarida als Spurenerzeuger in Frage, die bis zu 8 Laufbeinpaare aufweisen und im Karbon bereits nachgewiesen wurden (SAVAGE, 1971: 219).

In den roten Schichten des Nordwestdeutschen Raumes konnten allerdings, abgesehen von wenigen Muschel- und Conchostracen-Funden (JOSTEN et TEICHMÜLLER, 1971: 289) aus Bohrungen und dem unpublizierten Fund eines Fischrestes aus dem Bockradener Graben, bisher keine tierischen Reste geborgen werden. Die überraschend reichhaltigen Funde von tierischen Resten im höheren flözführenden Karbon im Ibbenbüren-Osnabrücker Raum während der letzten Jahre (SCHULTKA, 1988) lassen allerdings die Vermutung zu, daß noch viele Tiergruppen gar nicht nachgewiesen wurden, die als Spurenerzeuger in Frage kommen könnten.

In den Fährten-führenden Schichten können vereinzelt Wurzeln festgestellt werden, von endogener Fauna sind dagegen keinerlei Spuren nachweisbar. Solche Beobachtungen wurden häufig gemacht, es konnten jedoch bisher nur unzureichende Erklärungen gefunden werden (z. B. POLLARD et al., 1984: 215). Nachvollziehbar ist eine Erklärung, die diese Erscheinung auf eine Beziehung zwischen Nahrungsangebot im Sediment und den Lebensbedingungen endogener Faunen zurückführt. Fährtenhorizonte finden sich fast ausschließlich in Bereichen mit intensiven Oxidationsvorgängen. Dadurch wird die organische Substanz im Sediment abgebaut, weshalb die endogene Fauna nichts oder doch nur wenig Freßbares finden konnte und daher diese Bereiche mied. Zudem handelt es sich bei Uferregionen um Bereiche, die besondere Anpassungen erfordern, die auch heute nur wenige Tiergruppen erworben haben.

In den hangenden Bereichen konnten im An- und Dünnschliff mehrfach Beeinflussungen des Sedimentes beobachtet werden, deren Entstehung nicht eindeutig zu klären ist. Es handelt sich dabei um unregelmäßig-lineare Bereiche unter 1 mm Breite, in denen alle Sedimentpartikel in einer Richtung gegen die Schichtung verschoben sind (Taf. 6, Fig. 4). Gegen feine Wurzeln als Erzeuger dieser Strukturen spricht, daß sich keine der typischen Merkmale für Wurzelröhren findet. Die meisten Merkmale sind allerdings bei diesen Größenordnungen kaum noch nachweisbar. Es fehlt auch völlig die Anreicherung von Tonen im Bereich dieser Strukturen, was eigentlich zu erwarten wäre. So ist durchaus die Möglichkeit gegeben, daß es sich hier um Spuren kleiner, grabender Bodentiere handelt, die sich in jedem intakten Boden finden und die ebenfalls – neben den Wurzeln – zur Entschichtung von Bodenhorizonten beitragen.

Zusammenfassende Betrachtung

Im höheren Karbon des nordwestdeutschen Raumes kommt es zu einem langsamen Ausklingen der Flözführung, was sich bereits im tiefen Westfal D neben der Abnahme der Flözanzahl auch durch die insgesamt abnehmende Flözmächtigkeit andeutet. Mit Einsetzen der Rotfärbung im mittleren bis höheren Westfal D tritt überhaupt keine Flözbildung mehr auf. Allerdings ist aus Bohrungen bekannt, daß auch nach Einsetzen der ersten Rotfärbungen noch einige wenige, sehr geringmächtige Flöze auftreten, die aber im Liegenden und Hangenden von grauen Schiefer-tonen begleitet werden. Während im Bereich der Ibbenbürener Karbonscholle die Rotfärbung im Westfal D einsetzt, können erste Rotfärbungen in der Bohrung Norddeutschland 8 im Westen der Ibbenbürener Karbonscholle bereits im Hangenden von Flöz Tristan (hohes Westfal C) nachgewiesen werden. Aber auch in dieser Bohrung sind die nachgewiesenen Flöze und auch die Flözniveaus bis in den Bereich des Itterbeck-Horizonts (tieferes Westfal D), dem letzten deutlichen, von den Bearbeitern nachgewiesenen (? Lycopsiden-) Wurzelboden, von grünlichgrau bis grauen Schiefer-tonen, Silt- und Sandsteinen über- und unterlagert (BISEWSKI, 1971; Taf. 1).

Mit Einsetzen der Rotfärbung ändert sich der Charakter der Flora nicht (RAABE et REMY, 1964; HAVLENA, 1968), wenn auch JOSTEN in TEICHMÜLLER (1964: 820) angibt, daß bereits ab mittlerem Westfal C in der Flora eine Veränderung auftritt, die für eine beginnende Aridität sprechen könnte. Daß trotz fehlender Flözbildung ein intensiver Pflanzenwuchs stattfand, belegen die Erkenntnisse von HAVLENA (1968) sowie die hier vorgestellten Befunde. Die rotgefärbten oberen Ibbenbürener Schichten im Profil der Tongrube Wersborg sind fast vollständig von verschiedenen Pflanzentypen durchwurzelt. Auch im Stefan des nordwestdeutschen Raumes sind durchwuzelte Sedimente nicht selten nachweisbar (lt. freundl. mündl. Mitteilung durch Prof. Dr. W. Remy, Münster). Erst im Rotliegenden scheinen die Pflanzenführung und insbesondere die Bildung von durchwuzelten Horizonten weitgehend auszusetzen. Ein anhydritisches Bindemittel und ein hoher Borgehalt sprechen für niedersalinare und weitgehend aride Verhältnisse (TEICHMÜLLER, 1964: 813).

Die sedimentologischen Befunde sprechen im Bereich der oberen Ibbenbürener Schichten nicht für aride Verhältnisse, aber auch nicht mehr für ein gemäßigt-humides Klima wie in den flözführenden Abfolgen. So fehlen auf der einen Seite die typischen Merkmale arider Ablagerungsbedingungen wie äolische Sedimente, eindeutige Trockenrisse, Regentropfeneindrücke, auf der anderen Seite weist die kräftige Rotfärbung, das Fehlen von Flözen und das häufige Auftreten von Ablagerungen mit Tongeröllern auf eher warm-humide, höchstens aber leicht semi-aride Verhältnisse hin. Der paläontologische Inhalt dieser Schichtenfolge belegt eindeutig, daß keine ariden Verhältnisse herrschten. Es stand genügend Wasser für einen lang anhaltenden und

immer wieder neu einsetzenden Pflanzenwuchs zur Verfügung. Auch der Charakter der Flora änderte sich noch nicht merklich. Daß zumindest zeitweise auch randlich lakustrische Bedingungen im Bereich der Ibbenbürener Karbonscholle herrschten, zeigen die hier vorgestellten Fährten. Sie sind im terrestrischen Milieu fast ausschließlich im Uferbereich von Seen überlieferungsfähig (WALTER, 1984: 73).

Nach Ablagerung dieser Flußauen- und Seesedimente kam es zu einer längeren Zeit der Abtragung, zumindest mehrere hundert Meter hohes Westfal D wurden erodiert. Diese Folgen sind nur einige 100 Meter entfernt im Bockradener Graben und in den Randstaffeln nachweisbar. Erst mit der Zechstein-Transgression kam es wieder zur überlieferten Sedimentation und zur Bildung der bekannten marinen Flachwassersedimente des höheren Perms.

Literaturverzeichnis:

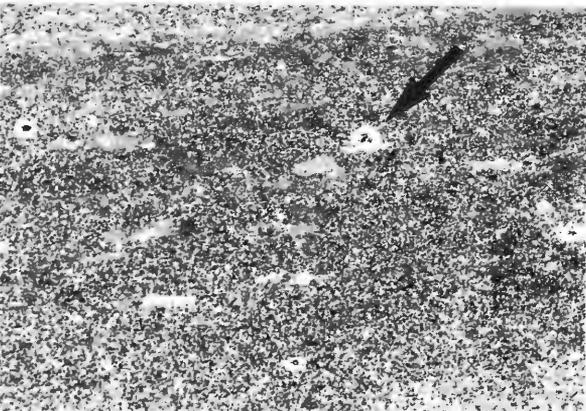
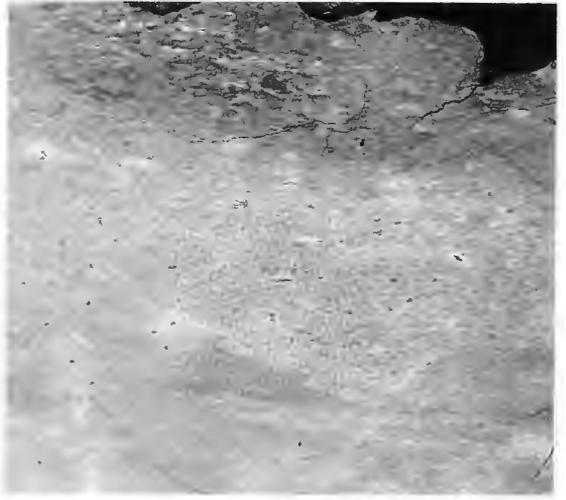
- ANDERSON, Ann M. (1981): The *Umfolozia* Arthropod Trackway in the Permian Dwyka and Ecca Series of South Africa. – *Journal of Paleontology*, **55**, 1, S. 84-108, 10 Abb., 4 Taf.
- BÄSSLER, Rolf (1968): Hydrogeologie und Grundwassernutzung im zentralen Bereich des Schafbergs bei Ibbenbüren/Westf. – *Beih. Ber. Naturhis. Ges.*, **5**, S. 93-108, 7 Abb., Hannover.
- BISEWSKI, Lothar (1971): Das jüngere Oberkarbon der Bohrung Norddeutschland 8 bei Bentheim. – *Fortschritte in der Geologie Rheinlands und Westfalen*, **18**, S. 263-280, 2 Abb., 1 Taf., 1 Tab., Krefeld.
- BODE, H. (1953): Zur Stratigraphie des Osnabrücker Karbons. – *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, **104**, 13, S. 431-440, 2 Abb., Hannover.
- DONOVAN, R. N. et FOSTER, R. J. (1972): Subaqueous shrinkage cracks from the Caithness Flagstone series (Middle Devonian) of Northeast Scotland. – *J. Sediment. Petrol.*, **42**, S. 309-317, 9 Abb., Tulsa.
- EBERT, Artur (1954): Geologie der Ibbenbürener Karbonscholle. – *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch*, **14**, 113 S., 23 Abb., 2 Tab., 6 Taf., Hannover.
- FREY, Robert W. (1975): *The Study of Trace Fossils*. – Berlin: Springer, 1975, 562 S.
- FREYBERG, B. von (1924): Palaeogeographische Karte des Kupferschieferbeckens, – *Jahrbuch des Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung*, **4**, S. 266-278, 1 Abb., 1 Tab., 1 Karte, Halle.
- FRIMAN, L. (1986): 9. Ibbenbüren-Uffeln, Steinbruch Schwienheer, Paläontologische Auswertung. – *Ausgrabungen und Funde in Westfalen-Lippe*, **4**, S. 198-204, 1 Abb., Münster.
- GRZEGORZCYK, Detlef (1986): 9. Ibbenbüren-Uffeln, Steinbruch Schwienheer, Geologische Auswertung. – *Ausgrabungen und Funde in Westfalen-Lippe*, **4**, S. 194-198, 3 Abb., Münster.
- HAACK, W. (1909): Der Teutoburger Wald südlich von Osnabrück. – *Jahrbuch der Königlich-Preussischen Geologischen Landesanstalt*, **29**, S. 458-531, 2 Taf., Berlin.
- HAARMANN, Erich (1911): Die geologischen Verhältnisse des Piesberg-Sattels bei Osnabrück. – *Jahrbuch der Königlich-Preussischen Geologischen Landesanstalt Berlin für das Jahr 1909*, **30**, 1, S. 1-58, 5 Taf., Berlin.
- (1914): Die Ibbenbürener Bergplatte, ein „Bruchsattel“, S. 324-372, 16 Abb., 1 Taf., 1 Karte. – in: *Branca Festschrift*, Berlin: Bornträger, 1914.
- HANKEN, N. M. et STOERMER, Leif (1975): Tracks of a larger eurypterid. – *Fossil and Strata*, **4**, S. 255-270, 12 Abb., 3 Taf., Oslo.
- HARMS, Franz-Jürgen (1980): *Hüggel. Geologischer Exkursionsführer*. – Hasbergen: Gemeinde Hasbergen, 1980, 70 S., 48 Abb., 1 Karte.
- HAVLENA, Vaclav (1968): Über das Alter und die Entstehung der roten Schichten des Karbons von Ibbenbüren. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, **1968**, S. 142-152, 4 Abb., Stuttgart.
- HOFFMANN, Werner (1924): Erzführung und Erzverteilung des Mansfelder Kupferschiefers und die hieraus sich ergebenden mineralbildenden und -umbildenden Vorgänge im Kupferschiefer. – *Jahrbuch des Halleschen Verbandes für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung*, **4**, S. 278-324, 6 Abb., 13 Tab., 3 Taf., Halle.
- JOSTEN, Karl-Heinz et TEICHMÜLLER, Rolf (1971): Zusammenfassende Übersicht über das höhere Oberkarbon im Ruhrrevier, Münsterland und Ibbenbürener Raum. – *Fortschritte in der Geologie von Rheinland und Westfalen*, **18**, S. 281-292, 1 Taf., Krefeld.
- KELLER, G. (1966): Mächtigkeitenfragen der Roten Schichten (Westfal D) im Gesamtbild der Horsttektonik des Ibbenbürener Schafbergs. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, **1966**, S. 36-43, Stuttgart.
- KLASSEN, Horst (Ed.) (1984): *Geologie des Osnabrücker Berglandes*. – Osnabrück: Naturwissenschaftliches Museum, 672 S., 127 Abb., 24 Tab., 10 Taf. sowie einem Anlageband mit 30 Anlagen, 1 Karte.
- KREMP, Gerhard et TEICHMÜLLER, Rolf (1953): Ruhrkarbon und Osnabrücker Karbon. Ein Vergleich der Schichtenfolge und Metamorphose. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, **1953**, 8, S. 343-349, 3 Abb., Stuttgart.

- KUKUK, Paul (1938): Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlengebietes. – Berlin: Springer, 1938, XVII + 706 S., 744 Abb., 14 Taf., 48 Tab.
- PEABODY, Frank E. (1956): Ichnites from the Triassic Moenkopi Formation of Arizona and Utah. – *Journal of Paleontology*, **30**, 3, S. 731-740, 3 Taf.
- POLLARD, John E. et WALKER, Elaine F. (1984): Reassessment of Sediments and Trace Fossils from Old Red Sandstone (Lower Devonian) of Dunure, Scotland, Described by JOHN SMITH (1908). – *Geobios, Mémoire 8 spécial*, S. 215, Lyon [Kurzfassung].
- RAABE, H. et REMY, W. (1964): Pflanzenfunde in den Roten Schichten von Ibbenbüren. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, **1964**, S. 378-379, Stuttgart.
- REINECK, Hans-Erich (1984): Aktuogeologie klastischer Sedimente. – Frankfurt: W. Kramer-Verlag, 348 S., 250 Abb., 12 Tab.
- et SINGH, Indra Bir (1980): Despositional Sedimentary Environments with Reference to Terrigenous Clastics. – Berlin: Springer-Verlag, 549 S., 683 Abb.
- SAVAGE, N. M. (1971): A varvite ichnocoenosis from Dwyka Series of Natal. – *Lethaia*, **4**, S. 217-233, 17 Abb., Oslo.
- SCHAUMBERG, Günther (1977): Der Richelsdorfer Kupferschiefer und seine Fossilien, IV. Die Pflanzlichen Fossilien des Kuperschiefers, sonstige Lebensspuren, Aufrechnung der Fundhäufigkeit. – *Der Aufschluß*, **28**, 11, S. 427-442, 16 Abb., Heidelberg.
- SCHMIDT, Hermann (1956): Die große Bochumer Oberkarbon-Fährte. – *Paläontologische Zeitschrift*, **30**, 3/4, S. 199-206, 3 Abb., 1 Taf., Stuttgart.
- SCHULTKA, Stephan (1988): Beiträge zur Paläontologie der terrestren Räume unter besonderer Berücksichtigung des Ibbenbüren-Osnabrücker Karbons. – Münster: Selbstverlag, 149 S., 74 Abb., 5 Tab. [Inaugural-Dissertation der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, unveröffentlicht].
- SEILACHER, Adolf (1953): Studien zur Paläichnologie. I. Über die Methoden der Paläichnologie. – *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, **98**, S. 87-124.
- SHROCK, R. R. (1948): *Sequence in layered rocks*, 507 S. – New York: McGraw-Hill Book.
- STOERMER, Leif (1934): Merostomata from the Downtonian Sandstone of Ringerike, Norway. – *Skr. norske Vid.-Akad., Oslo, I. math.-nat. Kl.*, **1933**, 10, S. 1-125, 39 Abb., 12 Taf., Oslo.
- TEICHMÜLLER, R. (1957): Ein Querschnitt durch den Südteil des Niederrheinischen Zechsteinbeckens. – *Geologisches Jahrbuch*, **73**, S. 39-50, 1 Taf., 8 Abb., Hannover.
- (1964): Zur Stratigraphie und Inkohlung des jüngsten Oberkarbons (Silesium) in Nordwestdeutschland. – *Compte Rendu du 5ième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère*, Paris: 9-12. Septembre 1963, S. 813-820, 4 Abb., Paris.
- THIERMANN, Arend (1970): Erläuterungen zu Blatt 3712 Tecklenburg. – *Geologische Karte Nordrhein-Westfalen 1:25 000*, 243 S., 22 Abb., 10 Tab., 7 Taf., Krefeld.
- (1975): Erläuterungen zu Blatt 3611 Hopsten. – *Geologische Karte Nordrhein-Westfalen 1:25 000*, 214 S., 21 Abb., 9 Tab., 5 Taf., Krefeld.
- (1980): Erläuterungen zu Blatt 3612 Mettingen. – *Geologische Karte Nordrhein-Westfalen 1:25 000*, 200 S., 23 Abb., 12 Tab., 2 Taf., Krefeld.
- TIETZE, O. (1912): Das Steinkohlengebirge von Ibbenbüren. – *Jahrbuch der Königlich-preussischen geologischen Landesanstalt*, **27**, 2, S. 301-353, 6 Abb., 2 Taf., Berlin.
- TURNER, P. (1980): Continental Red Beds. – *Developments in Sedimentology*, **29**, 529 S., Amsterdam.
- WALTER, Harald (1983): Zur Taxonomie, Ökologie und Bistatigraphie der Ichnia limnisch-terrestrischer Arthropoden des mitteleuropäischen Jungpaläozoikums. – *Freiberger Forschungshefte*, **C 382**, S. 144-193, 8 Abb., 11 Taf., 2 Tab., Leipzig.
- (1984): Zur Ichnologie der Arthropoda. – *Freiberger Forschungshefte*, **C 391**, S. 58-94, 8 Abb., 4 Taf., Leipzig.
- WEINGARDT, Wilhelm (1961): Tierfährtenfunde aus der Steinkohlenzeit. – *Die Umschau in Wissenschaft und Technik*, **19**, S. 587-590, 15 Abb.
- WILLIAMS, Gordon D. (1966): Origin of Shale-Pebble Conglomerate. – *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, **50**, 3, S. 573-577, 11 Abb.

Tafel 1

- Fig. 1** Kupferschiefer-Mergel mit karbonatischen Linsen (weiß) und Bleiglanz (Pfeil), Schicht 6, 4:1, Anschliff
- Fig. 2a** Rinne mit überlagerndem Tongeröll-Horizont, Schicht 13, 1:1, unter Immersion
- Fig. 2b** Ausschnitt auf Fig. 2a, 4:1, unter Immersion
- Fig. 3a** Rinnen und Erosionshorizonte, Schicht 19, im oberen Bereich Rißstrukturen (Pfeil), 1:1, unter Immersion
- Fig. 3b** Ausschnitt aus Fig. 3a, Rißstrukturen, 2:1, unter Immersion
- Fig. 3c** Wurzelröhren mit grünem Hof (Pfeil), 4:1, unter Immersion

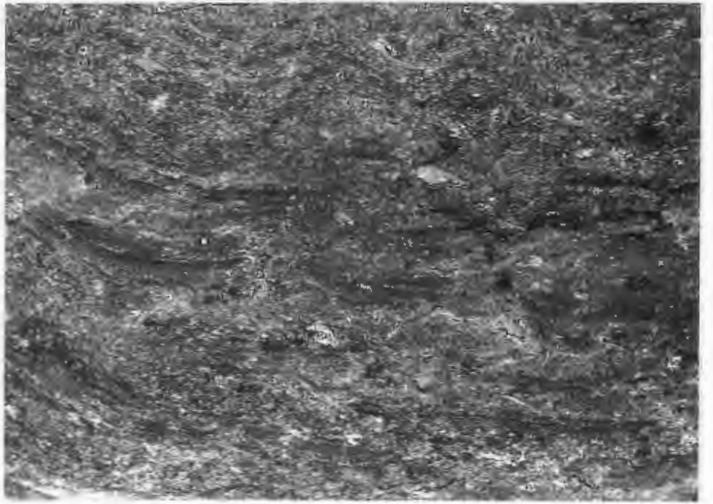
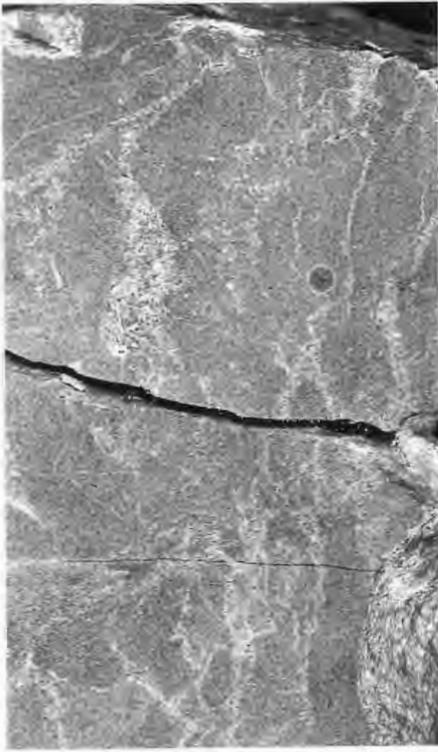
TAFEL 1



Tafel 2

- Fig. 1** Rinnenbildung mit ? Reduktionshof (Pfeil), Schicht 19, 2:1, unter Immersion
Fig. 2 Rißstrukturen unklarer Genese (? Trockenrisse, ? Syneresisrisse), Schicht 19, 2:1, unter Immersion
Fig. 3 Rißstruktur unklarer Genese (Trockenriß?), Schicht 17, 2:1, unter Immersion
Fig. 4a beginnende Entschichtung eines Tongeröll-Horizonts (? Bodenbildungsvorgänge), Schicht 16, 1:1, unter Immersion
Fig. 4b Ausschnitt aus Fig. 4a, 2:1, unter Immersion

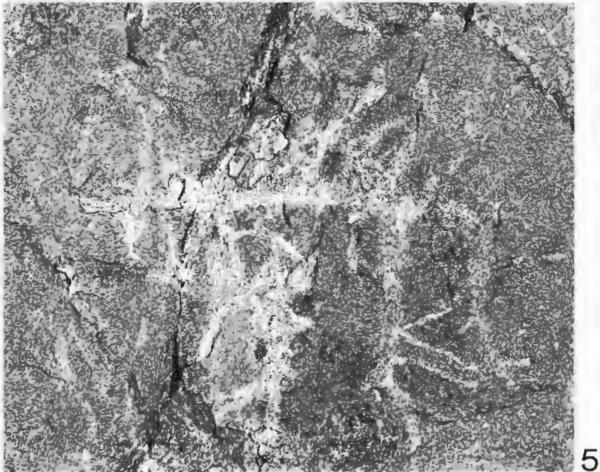
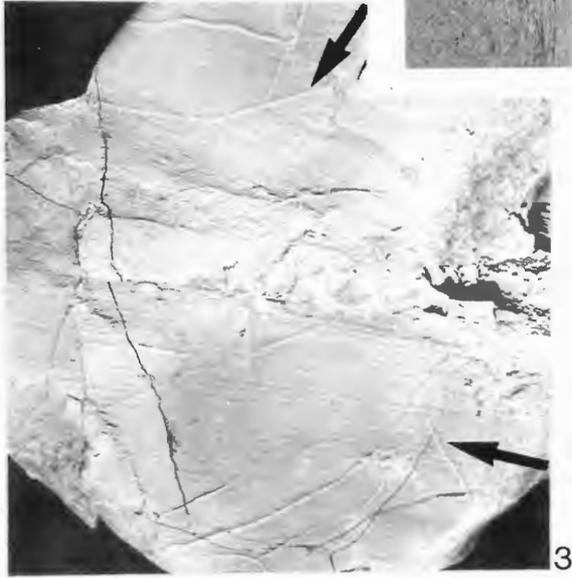
TAFEL 2



Tafel 3

- Fig. 1** Toneisen-Konkretionen (Anzeichen einer beginnenden Bodenbildung?) Schicht 13, 2:1, unter Immersion
- Fig. 2a, b** schlecht erhaltene Calamitenreste mit Nodiallinie (Außenabdruck), Schicht 16, 2:1
- Fig. 3** *Cordaites principalis* aus dem Hangenden der Schicht 16, mit deutlichen Durchwurzelungsspuren (Pfeil), 2:1, mit MgO bedampft
- Fig. 4a** Körperlich erhaltene Wurzeln, Schicht 15, 2:1, unter Immersion
- Fig. 4b** Wurzelröhre (Querschnitt), Schicht 19, 5:1, unter Immersion
- Fig. 5** Schichtparallele Wurzeln (? Calamiten-Typ), Schicht 14, 2:1

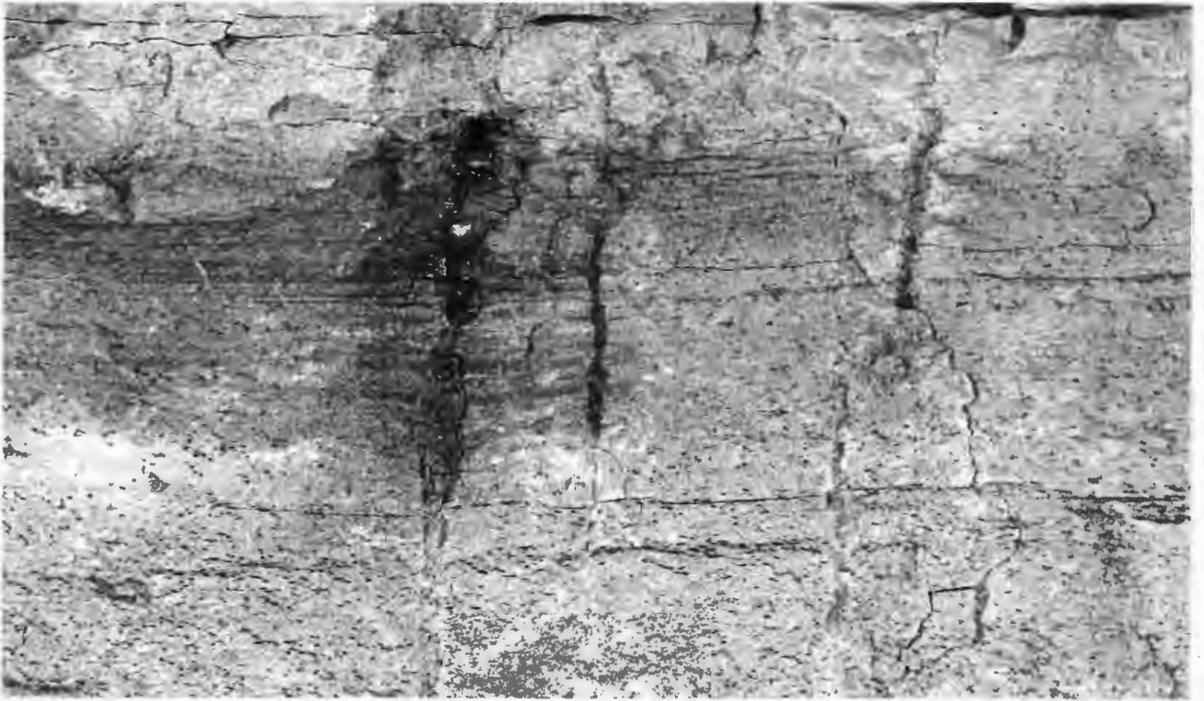
TAFEL 3



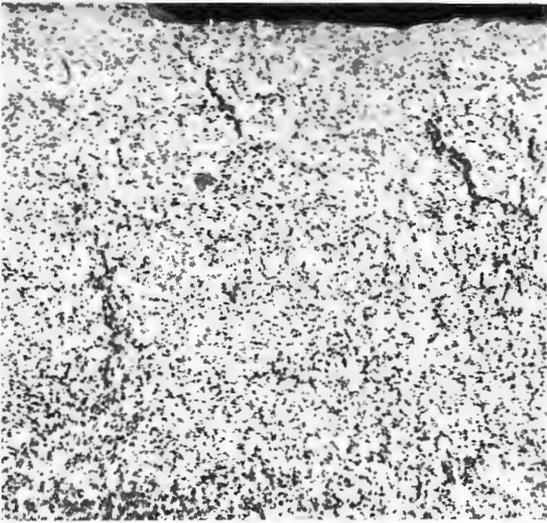
Tafel 4

- Fig. 1** Durchwurzelungsspuren im Liegenden der Schicht 18, Querbruch, 1:1
- Fig. 2** Wurzelspuren im Liegenden der Schicht 18 mit großen ? Hämatit-Kristallaggregaten, 2:1, unter Immersion
- Fig. 3a, b** vermutlich zur Gruppe der *Ullmannia frumentaria* gehörige Koniferenreste, Kupferschiefer, a) Schicht 5; b) Schicht 2, 1:1, unter Immersion
- Fig. 4a** Kopf eines *Palaeniscum freieslebeni* mit gut erhaltenem Gebiß, Kupferschiefer, Schicht 7, 1:1, unter Immersion
- Fig. 4b** Details aus Fig. 4a, hinterer Teil des Unterkiefers, 5:1, unter Immersion

TAFEL 4



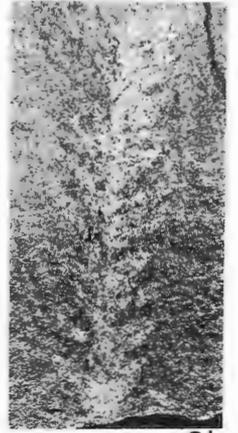
1



2



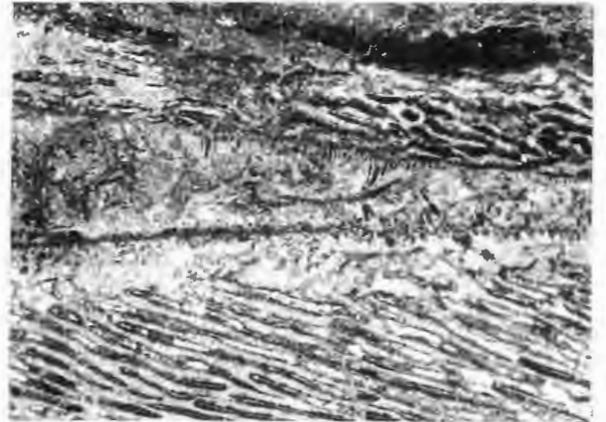
3a



3b



4a

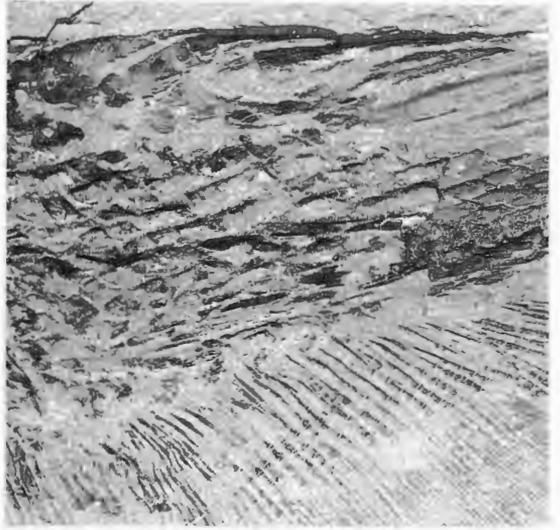


4b

Tafel 5

- Fig. 1** *Platysomus strictus*, Kupferschiefer, Schicht 7, 1:2, unter Immersion
Fig. 2 Fulcra von ? *Pygopterus* sp., Kupferschiefer, Schicht 7, 2:1, unter Immersion (Größe der Schwanzflosse läßt auf ein Individuum von über 600 mm Länge schließen)
Fig. 3 unbestimmbarer Muschelrest, Kupferschiefer, Schicht 2, 2:1
Fig. 4 Fährte mit rundlichen Einzeleindrücken („Perlschnüre“), Schicht 20, 2:1
Fig. 5 Fährte mit stärker differenzierten, Komma-förmigen und mehr Punkt-förmigen Einzeleindrücken, Schicht 20, 1:1

TAFEL 5



Tafel 6

- Fig. 1** Komma-förmige Einzeleindrücke, Schicht 20, 2:1
Fig. 2 kurze Teilstücke einer Fährte, die aus zwei flachen, parallel verlaufenden Schleifspuren besteht, Schicht 20, 2:1
Fig. 3 Fährte mit deutlich erkennbaren Eindrucksgruppen (5 oder 6 Einzeleindrücke), Schicht 20, 1:1, mit MgO bedampft
Fig. 4 sekundäre Sedimentbeeinflussung, ? Zooturbation, ? Rhizoturbation, Schicht 17, 10:1

TAFEL 6



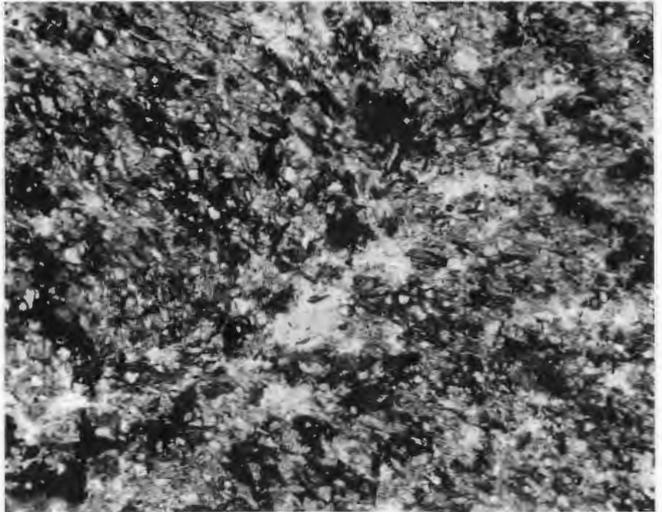
1



2



3



4

Anhang

Profil der Tongrube Wersborg bei Ibbenbüren, Stand vom 21. 4. 1986

20 Liegend

Siltstein, sandig, Sedimentstrukturen durch große, in Eisenhydroxide umgewandelte Kristalle weitgehend verdeckt, vereinzelt Auftreten von Wurzeln, schichtparallel, in den hangenden 40 cm sehr häufiges Auftreten von Fährten, im Hangenden scharf begrenzt und deutlich, zum Liegenden hin undeutlicher werdend.

19 160 cm

Schieferton/Siltstein-Wechselfolge, hell- bis kräftig rot gefärbt, Parallelschichtung bis sehr flache Schrägschichtung vorherrschend, Auftreten enger Folgen von Erosionshorizonten, viele Laminae mit dichtgepackten, flachen Tongeröllen (Durchmesser bis etwa 4 mm), flache Rinnen (bis etwa 2 cm Tiefe) durch schwach schrägschichtete Sedimente verfüllt, im Hangenden Auftreten schmaler, z. T. verzweigter Risse, daneben isoliert erscheinende Nester mit größerem Material; mäßig durchwurzelt, Wurzeln im tonigen Bereich fast ausschließlich schichtparallel, im hangensten Bereich keine Wurzelreste.

18 95 cm

Siltstein, teilweise stark tonig, kräftig rot gefärbt, mit graugrün gefärbten Linsen, Liegendfläche deutlich erosiv, im Liegenden verstärktes Auftreten von Rinnen im cm-Bereich, zum Hangenden hin an Ausdehnung zunehmend, kleinräumige Schrägschichtung, (z. T. „Scour-and-fill“), tonige Bereiche häufig mit Rutschungen, Belastungsmarken und Rißstrukturen, Hangendes sekundär entschichtet, möglicherweise durch Rhizoturbation, in den basalen 35 cm Verwischen der Sedimentstrukturen durch Sammelkristall-artige Bildungen von Eisenhydroxiden; mäßig bis gut durchwurzelt, Wurzeln mit Durchmessern von weniger als 0,5 mm, im Liegenden mit Durchmessern über 2,5 mm, grüne Höfe häufig, im Liegenden etwa 10 cm mächtige Schicht ohne Durchwurzlung.

17 47 cm

Schieferton bis stark toniger Siltstein, kräftig rot gefärbt, deutlich gradiert („fining-up“), angedeutete Parallelschichtung, Auftreten von Rißstrukturen mit schichtparallel in das umgebende Sediment eindringenden Apophysen, lokal ausgebildeter Horizont mit ungeordnet-chaotisch abgelagerten, plattigen, roten Schieferton-Geröllen, kleinräumige Rutschungsharnische häufig; mäßig durchwurzelt, zum Liegenden hin abnehmend, Wurzeln mit Durchmessern von weniger als 0,5 mm, vereinzelt Auftreten sehr schlecht erhaltener Abdrücke von unbestimmbaren Pflanzenresten (? Calamitenreste)

17B 30 cm

Siltstein, hellrot bis grünlichgrau gefärbt, gradiert („coarsening-up“)-Folge, im Liegenden Parallelschichtung nur angedeutet, über einem Erosionshorizont abruptes Auftreten intensiver, planarer Schrägschichtung im dm-Bereich, einzelne Schrägschichtungslaminae mit interner Schrägschichtung (longitudinale Schrägschichtung?), Auftreten einzelner, über 5 mm großer Siltstein/Schieferton-Gerölle mit interner Wechselfolgschichtung; schwach durchwurzelt, Wurzeln mit Durchmessern bis etwa 5 mm.

16 21 cm

Schieferton, siltig, kräftig rot gefärbt, zum Hangenden hin heller werdend, im mm-Bereich wechselgeschichtet, einzelne Laminae „Girlanden“- bis „tepee“-artig verbogen, zum Hangenden hin zunehmende Entschichtung, Schieferton-Gerölle mit 5 mm Durchmesser z. T. senkrecht im Sediment stehend, ab und zu Auftreten grüner Komponenten in Schieferton/Siltstein-Geröll-führenden Horizonten, bis 0,5 mm tiefe Rinnen nachweisbar; gut durchwurzelt, Wurzeln mit Durchmessern über 5 mm, an der Basis Auftreten vereinzelter, schlecht erhaltener Calamitenreste, etwa 10 cm über der Basis Lage dichtgepackter Cardaitenblätter (Streuhorizont), im Hangenden vereinzelt, stark oxidierte Calamitenreste (Rhizome?).

15 23 cm

Siltstein, tonig, im Liegenden kräftig rot gefärbt, im Hangenden grünlichgrau, Übergangszone sehr schmal, im Liegenden weitgespannt leicht bogig schrägschichtete, im Hangenden angedeutete Parallelschichtung; mäßig bis gut durchwurzelt, im Hangenden nur kleine Wurzeln mit Durchmessern bis 3,5 mm, im Liegenden Durchmesser bis 5 mm erreichend, 20 Wurzeln pro dm² senkrecht zur Schichtung, etwa 2 Wurzeln pro dm² annähernd parallel zur Schichtung.

- 14** 55 cm
Schiefer-ton, siltig, kräftig rot gefärbt, lokale Grünfärbungen, Schichtungsmerkmale kaum feststellbar, ? feine Parallelschichtung, kleinräumige Rutschungsharnische sehr häufig; mäßig durchwurzelt, vornehmlich mit fein verzweigtem Wurzeltyp (? Calamiten-Wurzeln), größere Wurzeln mit Durchmesser bis 5 mm, 4 Wurzeln pro dm² senkrecht zur Schichtung, etwa 15 Wurzeln pro dm² annähernd parallel zur Schichtung.
- 13**
Siltstein, grünlichgrau, lokal vor allem im Liegenden und Hangenden rötlich gefärbt, Parallelschichtung, im Hangenden Rinnen im cm-Bereich, nesterweises Auftreten von Ton-Eisen-Konkretions-artigen Bil-dungen, (? an das Auftreten von Wurzeln gebunden); schwach durchwurzelt, zum Liegenden hin Abnahme der Durchmesser der Wurzeln von 4 mm auf weni-ger als 2 mm.
- 12** 15 cm
Siltstein, tonig, überwiegend rot in größeren Bereichen auch grünlichgrau gefärbt, Parallelschichtung, mäßig durchwurzelt, Wurzeln mit Durchmesser um 2 mm
- 11** 25 cm
Siltstein/Schiefer-ton, hellgrau, vom Liegenden zum Hangenden hin kontinuierliche Korngrößenzunah-me („coarsening-up“), Parallelschichtung, an der Basis Auftreten von Ton-Eisen-Konkretionen; Einzel-Wurzeln mit Durchmessern um 2 mm.
- 10/9** 59 cm
Schiefer-ton, siltig, an der Basis kräftig, bläulichdunkelgrau sonst vorherrschend hellgelb-bräunlich, in den hangenden 15 cm vereinzelt Rinnenstrukturen im cm-Bereich; schwach durchwurzelt, Wurzeln mit Durchmessern um 1 mm, Vereinzelt, schlecht erhaltene Calami-tenreste, z. T. nur noch Kutikulenabdrücke
- 8** 50 cm
Konglomerat, teilweise nur 30 cm mächtig, mit eingelagerten Sandkörpern, Konglomerate erscheinen ungeschichtet, ganz selten Auftreten von Schrägschichtung, die Sandsteine mit ausgeprägter planarer und bogiger Schrägschichtung im cm- bis dm-Bereich, angedeutete Rippelmarken, Liegendfläche schwach erosiv, Erosionsmarken selten mehrere Zentimeter tief
- 7** 20 cm
Mergel, braungrau, stark bituminös, parallelgeschichtet, Schichtflächen unduliert-dendritisch ausgebil-det, nach etwa 15 cm ausgeprägte Harnischfläche (teilweise Spiegelharnisch); im Liegenden vollständige Fische häufig.
- 6** 14 cm
Mergel, braungrau, stark kalkig, bituminös, teilweise vermulmt, parallelgeschichtet, eine etwa 0,5 cm mächtige Lamina mit Winkeln um 15° schräggeschichtet, Bleiglanz und Pyrit häufig; vereinzelt Fischschuppen, an der Basis häufiger.
- 5** 15 cm
Mergel, braungrau, stark bituminös, im Hangenden vermulmt, parallelgeschichtet; vereinzelt Auftreten von Pflanzenresten.
- 4** 25 cm
Mergel, braungrau, stark kalkig, bituminös, parallelgeschichtet; einzelner Knochenrest.
- 3** 7 cm
Mulm, braun.
- 2** 25 cm
Mergel, braungrau, stark bituminös, parallelgeschichtet; vereinzelt Fischschuppen, ? pflanzliche Reste.
- 1** Hangend
Mergelige Kalke (Stinkkalk), grau, fein parallel geschichtet; Bryozoen-Kolonien, nesterweises Auftreten kleinwüchsiger Brachiopoden.