

## Johann Georg Bornemann und die mikropaläontologische Methode bulk maceration

Vortrag auf der Jahrestagung 1996 der Paläontologischen Gesellschaft in Leipzig (1998 aktualisiert)

MANFRED BARTHEL, Berlin

Ich danke der Paläontologischen Gesellschaft für die Gelegenheit, hier eine Jugendsünde korrigieren zu können: Vor 30 Jahren hatte ich nämlich behauptet, BORNEMANN sei der Begründer der Kutikularanalyse. Ich war begeistert von der Wiederentdeckung seiner Originalpräparate im Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Halle und voller Bewunderung über seine methodisch vorbildlichen Vergleiche mit rezenten Cycadeen-Epidermen (BARTHEL 1966). Dabei hatte ich damals aber übersehen, daß WEBER in WESSEL & WEBER (1855) schon einige Monate vor BORNEMANN (1856) zwei Epidermis-Strukturen von Angiospermen-Blättern des Niederrheinischen Tertiärs abgebildet, mit rezenten Arten verglichen und deren taxonomische Bedeutung erkannt hatte – Kollege H. KERP hat das 1990 richtiggestellt. Aber diesen kleinen Zeitvorsprung (die Arbeit erschien im Dezember 1855) verdankt der Rheinländer nur der *Palaeontographica*, die schon damals ein schnelles Journal war. Und dies schmälert das Verdienst des Thüringers BORNEMANN um die Präparations- und Untersuchungsmethodik unseres Faches keineswegs. Denn er hat die fossilen Kutikulen bereits präpariert und in gläsernen Durchlicht-Präparaten untersucht, während WEBER die Zellstrukturen ihrer fossilen, naturmazerierten Blätter ohne weitere Präparation schon im Auflicht zeichnen konnten. Auch bei CORDA (1845) und UNGER (1851) sind solche Auflicht-Darstellungen fossiler Kutikulen beiläufig abgebildet. Und BORNEMANN hat eine weitere bedeutende und sehr zukunftssträchtige mikropaläontologische Methode im Zusammenhang mit der Kutikular-Analyse entwickelt: Das *Bulk-Mazerieren*. Der Begriff wurde erst viel später, von T. M. HARRIS, dem großen Erforscher der englischen Jura-Floren, 1926 in die Literatur eingeführt, wobei dieser glaubte, etwas methodisch Neues gefunden zu haben. BORNEMANN selbst erhob keinen Anspruch auf eine methodische Erfindung.

Was hat BORNEMANN 1853, während der Arbeit an seiner Dissertation, getan? Er sammelte bei seiner Heimatstadt Mühlhausen, aus einem Steinbruch am Vorwerk Weidensee (CLAUS, briefliche Mitteilung 1964) Tonproben aus den basalen Schichten des Lettenkohlen-Keupers mit „Pflanzenhäcksel“, also makroskopisch nicht bestimmbar, weil mechanisch stark zerkleinerte Pflanzenreste. Die löste er unter Wasser mit Hilfe eines Skalpells aus dem Gestein und bettete sie in Kanada-Balsam auf kleine Objektträger. Unter dem Durchlicht-Mikroskop beobachtete er Zellstrukturen auf den bräunlich-gelben Blattfragmenten. Dies publizierte er in seiner Schrift „Die organischen Reste der Lettenkohlengruppe Thüringens...“ (1856). Einige seiner Präparate übergab BORNEMANN der Berliner Universität, an der er 1854 promovierte. Auch diese Präparate sind erhalten geblieben (Abb. 1). Zwei glückliche Umstände waren es, die BORNEMANN zu seiner Entdeckung verhalfen:

Ein Lockergestein mit quellfähigen Tonmineralen, das sich schon im Wasser zersetzt und die Pflanzenreste freigab – also die sonst notwendige Prozedur mit Flußsäure ersparte. Ferner die Durchsichtigkeit der Reste – sie waren durch lange oberflächennahe Lagerung des Gesteins naturmazeriert und waren von brauner Farbe. Diese, unter Paläobotanikern sehr geschätzte, aber seltene Erhaltung erspart manchmal die riskante Mazeration mittels Schulze'schem Gemisch (Salpetersäure + Kaliumchlorat) im Labor, erreicht aber oft nicht die hohe Qualität der Zell-Erhaltung wie bei schwarzen Compressions (KRINGS & KERP 1997). Das Schulze'sche Gemisch benutzte übrigens BORNEMANN noch nicht – das Verfahren wurde erstmals vom Leipziger Botaniker SCHENK (1867) angewandt, nicht von SCHULZE (1855) selbst, wie so oft in der Literatur behauptet. BORNEMANN gewann seine rezenten Vergleichspräparate durch Schwefelsäure-Behandlung von Cycadeen-Fiedern. Übrigens profitierte er dabei von den reichen Beständen des Botanischen Gartens Leipzig, der vor 140 Jahren unter METTENIUS das große Reiseziel der europäischen Paläobotaniker war, um rezentestes Vergleichsmaterial zu studieren – vor allem tropische Farne in einer heute unvorstellbaren systematischen Vielfalt. (Ich vergleiche damit die kümmerlichen Bestände der meisten heutigen Farnhäuser).

BORNEMANN hat etwas erstmalig getan, was selbst heute noch nicht überall angewendet wird: Die Gewinnung von Blattfetzen, die im Inneren des Gesteins verborgen sind, durch Aufschlännen und die mikroskopische Untersuchung von morphologisch nicht bestimmbareren Blattfetzen – dem „Häcksel“.

Nun werden mir die Palynologen entgegenhalten, daß dieses analog bei der Gewinnung disperser Sporomorphen täglich in ihren Labors erfolgt. Im Prinzip ja, aber es gibt einen erheblichen Unterschied: Die zerbrechlichen Kutikulen überstehen das Zentrifugieren nur sehr schlecht, meist gar nicht. Was als „Kutikulen“ auf den Objektträgern der Palynologen übrigbleibt, ist eine Selektion der robustesten Formen, meist nicht mehr zu bearbeiten, weil zu klein. Und oft sind es überhaupt keine Blatt-Kutikulen, die da von den verehrten Kollegen als bildstörende Elemente zwischen den Sporomorphen wahrgenommen werden. Dazu noch später ein Wort. Besser ist es vielleicht, wenn wir öfter einmal anderen Mikropaläontologen im Labor über die Schulter schauen. Besonders von den Aufbereitungsmethoden der Mikro-Vertebraten-Spezialisten können wir Paläobotaniker viel lernen. (Natürlich verbrauchen wir nicht tonnenweise Essigsäure, sondern begnügen uns mit Wasserstoff-Peroxid und nur, wenn es nicht anders geht, in aller gebotenen Vorsicht mit Flußsäure). Flußsäure hat auch mein langjähriger Zimmer- und Labor-Nachbar HERMANN JAEGER benutzt, wenn er seine wunderbar körperlich erhaltenen Graptolithen aus dem Gestein löste – das ist eine Aufbereitung, die dem ersten Arbeitsgang bei der *bulk maceration* entspricht und in der Paläozoologie vielfach angewandt wird.

Für uns Paläobotaniker aber folgt danach erst die Mazeration im engeren Sinne, d.h. die Behandlung mit starken Oxidationsmitteln und schließlich das Lösen der organischen Verbindungen durch schwache Laugen. Insgesamt heißt das also der Reihe nach: Sediment aufschließen, sieben oder dekantieren und die organischen Reste behutsam auf Sicht weiterpräparieren – hier sind dann die Karpologen mit ihren inkohlten Früchten und Samen fast am Ziel. Wir aber trocknen nicht, sondern mazerieren erst und hoffen, das noch etwas übrigbleibt und im Durchlicht Strukturen zeigt. Aber keine Sorge! Meist bleibt vielmehr erhalten, als man deuten kann! Solche Präparate zeigen oft eine unglaubliche Fülle organischer Reste: Kutikulen von Blättern, Achsen, Sporangien-Wänden, Integumente von Samenanlagen, größere Sporomorphen (vor allem Megasporen), ganze, meist noch unreife Sporenhäuten, Tracheiden und fusitische Fragmente aller Art (Abb. 2).

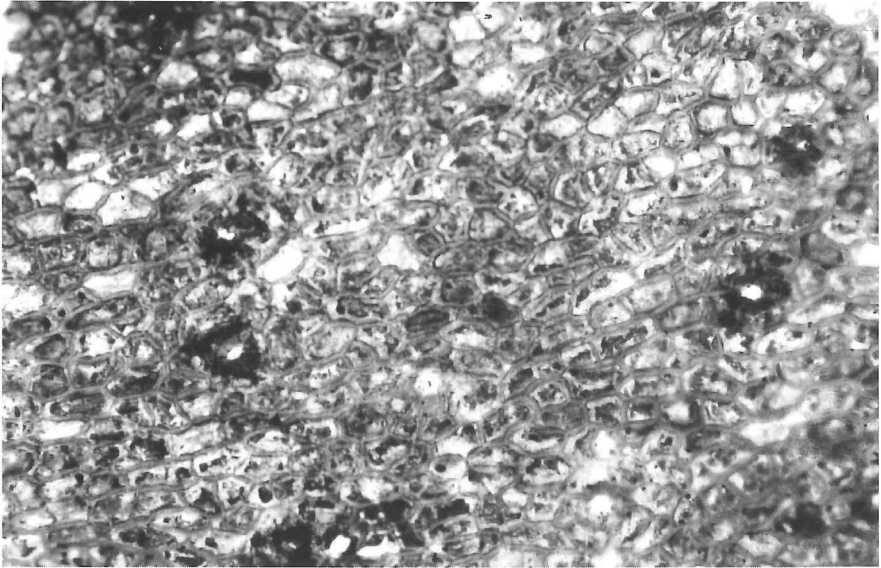
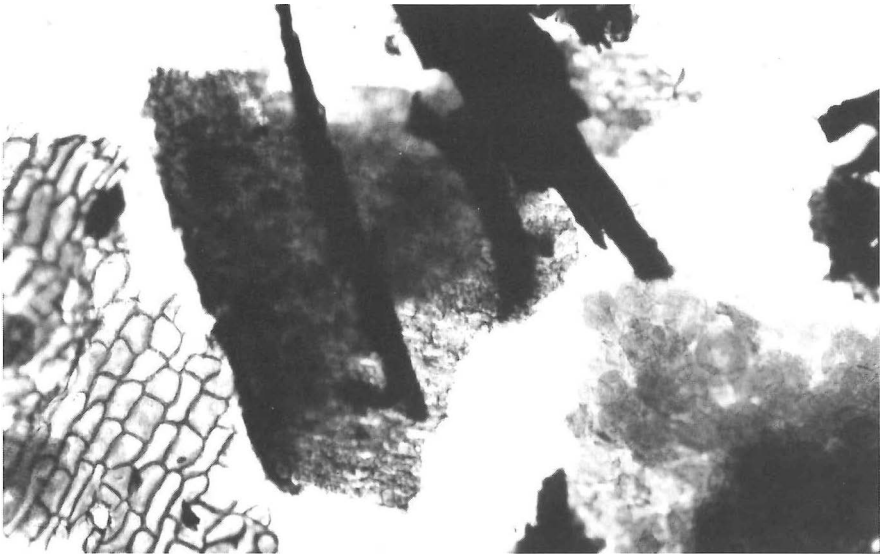


Abb. 1: Epidermis eines Cycadophyten-Blattes. 160:1. Lettenkohlen-Keuper bei Mühlhausen. Präparat von J. G. BORNEMANN.



Eine andere Situation, also nicht der üppige Reichtum von Häcksel, sondern die Armut von morphologisch bestimmbar Fossilien in Sedimentproben (Bohrkernen) fordert ebenfalls zu dieser Methode heraus, die in dieser Hinsicht mit der Sporenpaläontologie konform geht.

Über die Anwendung der *bulk maceration* sind in den letzten 4 Jahrzehnten mehrere bedeutende Arbeiten erschienen. In Toronto gab es 1990 sogar einen workshop zum Thema „Pflanzenhäcksel“. Für deutsche Vorkommen nenne ich nur die Untersuchungen von ROSELT & SCHNEIDER (1969) im Tertiär, die von BENDA (1962) im Wealden und DABER im Lias (1957). Am stärksten beeindruckt haben mich persönlich die Resultate, die HOEG & BOSE (1960) im Gondwana-Perm des Kongo-Beckens und MAPES & SCHABLION (1979) im Pennsylvanian von Oklahoma sowie MAPES & MAPES (1989) in Texas erzielten. Die erste Arbeit wies eine reiche Flora in einer bisher wenig bekannten Region nach, die letzteren zeigten durch die Kombination verschiedener Präparations-Methoden, wie man auch in küstennahen marinen Sedimenten fertile und sterile Blattreste finden und untersuchen kann.

Auch bei meinen eigenen Arbeiten im Karbon, Perm und Tertiär habe ich ständig versucht, mich der BORNEMANN'schen Methode zu bedienen. In mehreren Fällen war dies wissenschaftlich recht ergiebig. Ich wähle 3 Beispiele:

Im Langsettian/Duckmantian (Westphal A/B) der Tiefbohrung Rügen II gelang die Untersuchung anatomischer Merkmale von *Sphenophyllum*-Blättern (BARTHEL in DABER 1969, BARTHEL 1997) Abb. 3.

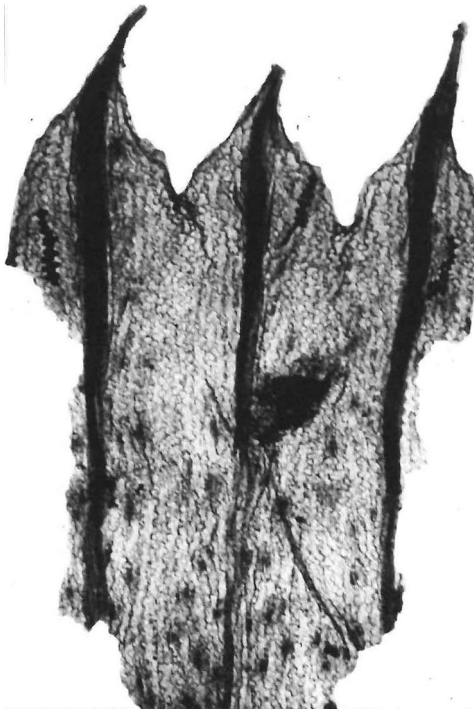


Abb. 3: Epidermis (Ober- und Unterseite nicht getrennt) von *Sphenophyllum cuneifolium* (STERNBERG) ZEILLER. 40:1. NE-Deutschland, Barth/Hiddensee-Formation, Bohrung Rügen II, 1619, 4m Teufe. Langsettian-Duckmantian (Unteres Westphal).

Im Schweinsdorfer Flöz der Niederhäslich-Formation des Döhlen-Beckens konnte eine reiche Flora mit vielen mesophytisch-xerophytischen Elementen nachgewiesen werden (BARTHEL 1976a), siehe Abb. 4.

Im Eozän des Weißelster-Beckens und des Geiseltales wurde eine neue Cycadeen-Gattung entdeckt: *Eostangeria* BARTHEL 1976b.

Wie wir eben gesehen haben, findet man häufig in solchen Präparaten etwas, was sich ebenso resistent gegenüber der Fluß- und Salpeter-Säure verhält wie die Kutikulen, und was farblich wie eine dicke Kutikula aussieht, aber eine höhere Lichtbrechung beim Fokussieren erkennen läßt: Chitin-Integumente von Arthropoden, oft auch *cuticles* genannt (Abb. 5). Das gemeinsame Vorkommen dieser terrestrischen Tiere und der kohlebildenden Landpflanzen in palustren Biotopen und die gleiche Aufbereitungs- und Präparationstechnik sind die Gründe, weshalb diese tierischen Fossilien vorrangig zuerst unter Paläobotaniker-Mikroskopen gesehen werden. Ein frühes Beispiel war das Vorkommen im Schweinsdorfer Flöz des Döhlen-Beckens (Niederhäslich-Formation). Wir haben das schon vor 34 Jahren publiziert (REICHEL & BARTHEL 1964), aber die Reaktion darauf war aber zunächst deprimierend gering. Immerhin war ich wenigstens selbst sensibilisiert, verstärkt auf Arthropoden-Funde zu achten. 1977 gab es dann endlich das große Erfogserlebnis im Döhlen-Becken. Der Bergingenieur TH. THÜMMEL barg aus dem Grubenfeld Bannewitz über dem 3. Flöz Fragmente einer großen *Arthropleura* und übergab sie mir zur „paläobotanischen Bestimmung“. Kollege J. SCHNEIDER in Freiberg hat die Bearbeitung übernommen; erste Resultate sind inzwischen veröffentlicht (SCHNEIDER & BARTHEL 1997).

Gesehen werden solche Chitin-Reste öfter einmal, aber als tierische Reste gedeutet werden sie meist noch lange nicht. Ich erinnere ich mich noch gut an einen Besuch des polnischen Geologischen Institutes in Sosnowice im September 1964. Da konnte man auf dem abendlichen Cocktail-Empfang in den Fluren und Treppenhäusern gerahmte Mikrofotos von Sporen und „Kutikuli“ sehen. Letztere stammten alle aus einer einzigen Strate des berühmten Flözes Pochhammer (Nr. 510) aus der Sattelgruppe Oberschlesiens, und sie waren trotz vorgerückter Stunde und alkoholreicher Luft unschwer als tierische Chitin-Integumente zu erkennen. Ich weiß leider bis heute nicht, ob meine damalige Bemerkung außer nachhaltig-zustimmende Heiterkeit zu erregen, etwas zur Bearbeitung dieser tierischen Fossilien verholfen hat. Teilnehmer des letzten Internationalen Karbonkongresses in Kraków 1995, die das gleiche Institut 21 Jahre später besuchten, können vielleicht Auskunft geben, was heute unter den schönen Bildern steht. Aber nicht nur Palynologen, sondern auch Blätter-Paläobotaniker, die eigentlich wissen müßten, wie die Kutikula eines Pflanzen-Organs aussieht, haben mehrfach Chitin-Integumente ins Pflanzenreich versetzt (1969 sogar aus dem gleichen ober-schlesischen Flöz).

Welch Ironie der Wissenschaftsgeschichte! Noch vor 100 Jahren hat hier in Sachsen ein sehr namhafter Paläontologe eingerollte verkieselte Rotliegend-Farnfiederchen als „*Paläojulus*“ ins Arthropoden-Tierreich befördert (H. B. GENITZ 1872). Durch diesen Vorfall gewitzt, gibt seitdem kein Paläobotaniker mehr seine Arthropoden-Funde freiwillig aus der Hand. Er publiziert sie lieber selbst – kryptisch auf Tafel-Figuren inmitten seiner Farnfiedern, Pteridospermen-Kutikulen und Calamiten-Strobili. Dort werden sie dann nur ausnahmsweise von Paläozoologen entdeckt.

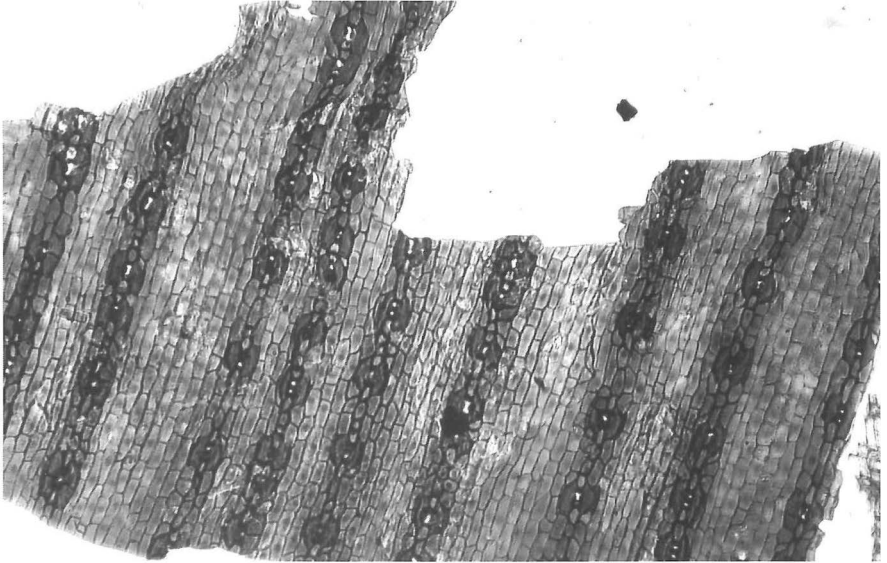


Abb. 4: Blatt-Epidermis eines unbekanntes mesophytisch-xerophytischen Floren-Elements (? Cycadophyt). 80:1. Döhlen Becken, Niederhäslich-Formation, Schweinsdorfer Flöz. Rotliegend. Präp. Nr. XV/61.

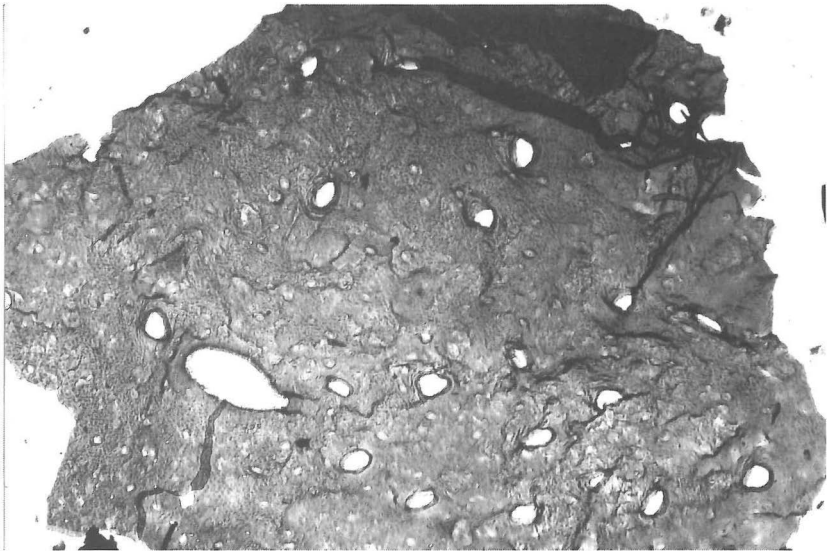


Abb. 5: Chitin-Integument eines Arthropoden. 35:1. Döhlen Becken, Niederhäslich-Formation, Schweinsdorfer Flöz. Rotliegend.

Ein gutes Beispiel für das Gegenteil, die rechtzeitige Zusammenarbeit von Paläobotanikern und Paläozoologen bietet die berühmte Mittel-Givet-Lokalität Gilboa im Staate New York. Dort entdeckten BONAMO und GRIERSON beim Bulk-Mazerieren inmitten der pflanzlichen Reste tierische „cuticles“ und dann nach einer weiteren Aufbereitung größerer Sediment-Mengen sehr gut erhaltene terrestrische Spinnen (Trigonotarbidien), die in der bedeutenden Arthropoden-Arbeit von SHEAR et alii (1987) veröffentlicht wurden.

Unter dem Einfluß dieses Erfolges gingen dann JERAM, JERAM & SELDEN und SHEAR (alle 1994) im Visé von East Kirkton (Schottland) daran, die Methode gezielt auf Arthropoden anzuwenden. Auch hier ein großer Erfolg: Skorpione, Eurypteriden und Myriapoden wurden aus dem Kalkstein isoliert.

Egal, ob Kutikula oder Integumentfetzen, wir wissen zunächst meist nicht, zu welchen Organismen unsere Reste gehören. Dies teilen wir mit vielen anderen mikropaläontologischen Funden. Es sind parallele oder vorherige Untersuchungen der betreffenden Organe in situ erforderlich, um paläobiologische Aussagen zu machen. Im Falle unseres *Sphenophyllum* aus der Tiefbohrung Rügen war das kein Problem. In anderen Fällen können wir die Kutikulen wenigstens auf größere taxonomische Einheiten einengen. Aber es bleiben fast immer Kutikulen in den Präparaten, von denen wir nicht wissen, ob sie von noch unbekanntem Pflanzenbeckenferner Standorte oder von kutikularanalytisch noch nicht untersuchten Makrofossilien stammen. Dies aber ist das Reizvolle an der Methode: Schon einen Blick voraus zu werfen, über die Grenzen des gegenwärtig Bekannten sich vorzutasten.

Natürlich kann man unsere Mikrofossilien auch in ein eigenes System eingliedern und die Frage nach den organismischen Zusammenhängen auf später vertagen oder einzelnen, auf in situ-Untersuchungen spezialisierten Kollegen überlassen. Die präquartäre Palynologie muß dieses bei den dispersen Sporomorphen ja auch so handhaben. Und dies ist in der Tat auch schon mehrfach bei Kutikulen-Forschungen vorgeschlagen und selbst praktiziert worden. So durch MEYEN (1965) bei Cordaiten und anderen Gymnospermen und durch ROSELT & SCHNEIDER (1969) bei Angiospermen und Coniferen im Tertiär der Lausitz. Es hat sich aber meines Wissens bisher nicht durchgesetzt, disperse Kutikulen binär in einem künstlichen System zu benennen .

Fazit: BORNEMANN hat uns 1856 den Weg zu einer sehr wichtigen Präparations- und Untersuchungsmethode gewiesen – der *bulk maceration*. Diese ist nicht nur für die Paläobotanik, sondern, was Chitin-Integumente anbelangt, auch für die Paläozoologie bedeutsam. Weitere Fortschritte in der paläontologischen Präparationstechnik sind vor allem durch die Kombination verschiedener Methoden und durch die Kooperation verschiedener Spezialdisziplinen unserer Wissenschaft zu erzielen.

## Literatur

- BARTHEL, M. (1966): Johann Georg Bornemann – Begründer der Kutikularanalyse. – Hallisches Jahrbuch für mitteldeutsche Erdgeschichte (Leipzig), 7: 7-10.  
- (1976a). Die Rotliegendflora Sachsens. – Abh. Staatl. Mus. Min. Geol. (Dresden). 24: 1-190.  
- (1976b). Farne und Cycadeen. – In: Eozäne Floren des Geiseltales. – Abh. zentr. geol. Inst. (Berlin). 26: 439-498.  
- (1997). Epidermal structures of sphenophylls. – Rev. Palaeobot. Palynol. (Amsterdam). 51: 115-127.  
BENDA, L. (1962). Beiträge zur Flora des nordwestdeutschen Wealden. II. Blattreste aus norddeutschen Tiefbohrungen. – Geologisches Jahrbuch (Hannover). 79: 737-782.  
BORNEMANN, J. G. (1856). Über organische Reste aus der Lettenkohlengruppe Thüringens (Ein Beitrag zur Fauna und Flora dieser Formation besonders über fossile Cycadeen, nebst vergleichenden Untersuchungen über die Blattstruktur der jetztweltlichen Cycadeengattungen). – Leipzig: Wilhelm Engelmann.

- CORDA, A. J. (1845). Beiträge zur Flora der Vorwelt. – Prag: Calvé'sche Buchhandlung.
- DABER, R. (1957). Kleine Lias – Flora aus der Bohrung Bernheide bei Wittenberge. – *Geologie (Berlin)*, 6: 306 – 315.  
– (1969). Paläobotanische Hinweise auf eine parasilisch beeinflusste Oberkarbon-Senke im tieferen Untergrund Nordostdeutschlands, II (Teil 1). – *Geologie (Berlin)*, 18: 253-297.
- GEINITZ, H. B. (1872). Fossile Myriapoden in dem Rothliegenden bei Chemnitz. – *Sitzungsber. naturwiss. Ges. Isis (Dresden)*: 128-136.
- HARRIS, T. M. (1926). Note on a new method for the investigation of fossil plants. – *The New Phytologist*, 25: 58-60.
- HOEG, O. A. & BOSE, M. N. (1960). The Glossopteris Flora of the belgian Congo. – *Annales du Musée Roal du Congo Belge*, 32: 1-107.
- JERAM, A. J. (1994). Scorpions from the Viséan of East Kirkton, West Lothian, Scotland, with a revision of the infraorder, Mesoscorpionina. – *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences*, 84: 238-300.
- JERAM, A. J. & SELDEN, P. A. (1994). Eurypterids from the Viséan of East Kirkton, West Lothian, Scotland. – *Transactions of the Ryoal Society of Edinburgh, Earth Sciences*, 84: 301-308
- KERP, J. H. F. (1990). The study of fossil gymnosperms by means of cuticular analysis. – *Palaios*, 5: 548-569.
- KRINGS, M. & KERP, H. (1997). Technical Note. An improved method for obtaining large pteridosperm cuticles. – *Review of Palaeobotany and Palynology (Amsterdam)*, 96: 453-456.
- MAPES, G. & SCHABILION, J. T. (1979). Millaya gen. n., an upper Paleozoic genus of Marattialean synangia. – *Amer. Jour. Bot.*, 66: 1164-1172.
- MAPES, R. H. & MAPES, G. (1989). Late Pennsylvanian terrestrial plants in dysaerobic marine environments in North-Central Texas. – *Texas Tech University Studies in Geology (Guidebook with Contributed Papers)*, 2: 221-235.
- MEYEN, S. V. (1965). On a classification of dispersed cuticles. – *Paleontologicheskij Zhurnal (Moskwa)*, 75-87.
- REICHEL, W. & BARTHEL, M. (1964). Das „Schweinsdorfer Flöz“ des Döhlener Beckens – Neue Flözaufschlüsse und Florenfunde. – *Jb. Staatl. Mus. Mineral. Geol. (Dresden)*: 203-247.
- ROSELT, G. & SCHNEIDER, W. (1969). Cuticulae dispersae, ihre Merkmale, Nomenklatur und Klassifikation. – *Paläontologische Abhandlungen B (Berlin)*, 3: 1-128.
- SCHENK, A. (1867). Die fossile Flora der Grenzschichten des Keupers und Lias in Franken. – *Wiesbaden: Kreidel.*
- SCHULZE, F. (1855). Über das Vorkommen wohlerhaltener Zellulose in Braunkohle und Steinkohle. – *Berliner Königliche Akademie der Wissenschaften*, 21: 676-678.
- SCHNEIDER, J. & BARTHEL, M. (1997). Eine Taphocoenose mit Arthropleura (Arthropoda) aus dem Rotliegend (? Unterperm) des Döhlen-Becken (Elbe-Zone, Sachsen). – *Freiberger Forschungshefte (Freiberg)*, C 466: 183-223.
- SHEAR, W. A. (1994). Myriapodous arthropods from the Viséan of East Kirkton, West Lothian, Scotland. - *Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, 84: 309-316.
- SHEAR, W. A.; SELDEN, P. A.; ROLFE, W. D. I.; BONAMO, P. M. & GRIERSON, J. D. (1987). New terrestrial arachnids from the Devonian of Gilboa, New York (Arachnida, Trigonotarbida). – *American Museum Novitates (New York)*, 2927: 1-74.
- UNGER, F. (1851). *Iconographia plantarum fossilium. Abbildungen und Beschreibungen fossiler Pflanzen.* – *Denkschriften der Akademie der Wissenschaften (Wien)*, 4.
- WESSEL, P. & WEBER, O. (1855). Neuer Beitrag zur Tertiärflora der niederrheinischen Braunkohlenformation. – *Palaeontographica (Cassel)*, 4: 111-168.

Alle Präparate in der Paläobotanischen Sammlung des Museums für Naturkunde Berlin (Humboldt-Universität).

#### **Anschrift des Autors:**

Prof. Dr. Manfred Barthel  
c/o Museum für Naturkunde Berlin  
Institut für Paläontologie  
Invalidenstr. 43  
D-10115 Berlin



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Veröffentlichungen des Naturkundemuseums Erfurt \(in Folge VERNATE\)](#)

Jahr/Year: 1998

Band/Volume: [17](#)

Autor(en)/Author(s): Barthel Manfred

Artikel/Article: [Johann Georg Bornemann und die miläopaläontologische Methode bulk maceration 197-204](#)