Mauritiana (Altenburg) **19** (2005) 2, S. 185–273 · ISSN 0233-173X

Ein Fenster in Landschaft und Vegetation vor 37 Millionen Jahren: Lithologische, sedimentgeochemische und paläobotanische Befunde aus einem Paläoflusssystem des Weißelsterbeckens

Mit 18 Abbildungen, 23 Bildern, 9 Tafeln und 4 Tabellen

FRANK W. JUNGE, MARTINA DOLEZYCH, HARALD WALTHER, TATJANA BÖTTGER, ANSELM KÜHL, LUTZ KUNZMANN, PETER MORGENSTERN, TIM STEINBERG & REINER STANGE

Zusammenfassung: Sedimentologisch-geochemische Untersuchungen am obereozänen Sandmittel zwischen dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) und dem Thüringer Hauptflöz (Flöz III) aus dem ehemaligen Tagebau Groitzscher Dreieck (Mitteldeutschland) dokumentieren eine fazielle Zweiteilung im Aufbau des Mittels. Es besteht aus einem liegenden, überwiegend fluviatil geprägten (Rinnenkörper mit Mittel- bis Grobsandfüllung; Schrägschichtung; Einheit I/IIu) und einem hangenden, überwiegend marin-ästuarin geprägten Teil (horizontalgeschichtete Feinsande mit Bioturbation; Einheit I/IIo). Die elementgeochemischen Befunde (Haupt- und Spurenelemente) widerspiegeln einen hohen Reifegrad der Sedimente im Zuge intensiver chemischer Verwitterungsprozesse. Innerhalb des fluviatilen Teils anzutreffende Massenansammlungen fossilen Holzes (Stämme mit und ohne Wurzelansätze), fehlendes organisches Feinmaterial (Zweige, kleinere Äste, Makroreste), sowie die an Stämmen durchgeführten Einregelungsmessungen mit deutlichen Nord-Süd-Maxima lassen auf hochwasserbedingte, starke Strömungsverhältnisse im obereozänen Flusssystem schließen.

An den fossilen Hölzern durchgeführte paläoxylotomische Untersuchungen zeigen, dass die Mehrzahl der Hölzer zur ausgestorbenen Gattung *Doliostroboxylon* gehören. Nach ihren xylotomischen Merkmalen, die eine Stellung zwischen den Araucariaceae und den Taxodiaceae belegen, ergibt sich die Notwendigkeit zur Aufstellung dieser neuen Formgattung *Doliostroboxylon* DOLEZYCH nov. gen. Damit besteht Übereinstimmung mit den karpologischen und blattmorphologischen sowie den blattanatomischen Befunden (Zapfen, Blätter) von *Doliostrobus taxiformis* (STERNBERG) Z. KVAČEK emend. KUNZMANN, die als eine der ausgestorbenen „Riesenkoniferen" den Hauptproduzenten der Biomasse für die Kohlebildung während des Alttertiärs im Weißelsterbecken ausmachte.

An der Holzzellulose der Stämme ermittelte und mit ca. −19,5‰ gegenüber rezenten und quartären Befunden (zwischen −24 bis −26‰) deutlich schwerere $\delta^{13}C$-Werte weisen auf höhere Temperaturen, auf eine möglicherweise abweichende Isotopenzusammensetzung des atmosphärischen CO_2 bei gleichzeitig höherer natürlicher CO_2-Verfügbarkeit für die Photosynthese der Bäume während ihres Wachstumszeitraumes im Obereozän im Vergleich zu heutigen Bedingungen hin.

A window to the landscape and vegetation that existed 37 million years ago: Lithological, sediment-related geochemical and palaeobotanical findings from a palaeoriver system of the Weißelster basin. – Sedimentological and geochemical investigations into the Upper Eozene sand burden located between the Borna main seam (seam II) and the Thuringia main seam (seam III), originating from the former Groitzscher Dreieck open-cast mine (Central Germany) show a facial bipartition of the burden structure. The burden consists of a lower part largely influenced by fluvial processes (channel body filled with sand of medium and coarse grain sizes; cross-bedding; unit I/IIu) and an overlying part, largely influenced by marine-estuarine processes (horizontally layered fine sands with bioturbation; unit I/IIo). The element-specific geochemical findings (main elements and trace elements) reflect a high maturity degree of the sediments developed in the course of intensive chemical weathering. Massive accumulations of fossil large woody debris in the fluvial part (logs with and without root stipula), the absence of organic fine material (twigs, minor branches, macro-sized remnants), as well as the alignment measurements carried out to the logs showing clear North-to-South maxima give rise to the conclusion that there were flood-induced, heavy currents in the Upper Eocene river system.

Palaeoxylotomic investigations into the fossil large woody debris show that the major part of the wood belongs to the extinct genus *Doliostroboxylon*. Their xylotomic features, which place them in a taxonomic

category between the Araucariaceae and the Taxodiaceae, require to set up a new form genus, i. e. *Doliostroboxylon* DOLEZYCH nov. gen. This brings about coincidence with the carpological findings, and findings related to leaf morphology and anatomy (cones, leaves) of *Doliostrobus taxiformis* (STERNBERG) Z. KVAČEK emend. KUNZMANN, which, as one of the extinct „giant coniferous trees", constitutes the main producer of biomass for coal formation during the Old Tertiary in the Weißelster basin.

$\delta^{13}C$ values which have been determined for wood cellulose of the logs are clearly heavier by approx. −19.5‰ compared with recent and Quaternary findings (between −24 to −26‰). Its indicate higher temperatures, a probably deviating isotope composition of the atmospheric CO_2 jointed with a higher natural availability of CO_2 for photosynthesis by the trees during their growing season in the Upper Eocene, compared with the conditions prevailing today.

Schlüsselwörter: Baumstämme, Einregelung, Eozän, fluvialer Transport, Geochemie, marine Sedimente, Mitteldeutschland, Sedimentologie, Spurenelemente, stabile Isotope, Totholz, Tertiär

Keywords: alignment, Central Germany, Eocene, fluvial transport, geochemistry, logs, marine sediments, sedimentology, trace elements, stable isotopes, Tertiary, woody debris

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen 187

1. Einleitung 188

2. Kurze Einführung zur Geologie des Tertiärs im Weißelsterbecken 189

3. Das Sedimentmittel zwischen Bornaer und Thüringer Hauptflöz im Tagebau Groitzscher Dreieck 190
3.1. Lithologischer Aufbau und regionale Konnektierung des Flözmittels 204
3.2. Geochemische Charakteristik des Flözmittels (GWL 4.2.) und seiner lithologischen Einheiten . 208
3.3. Teilzusammenfassung Sedimentmittel (Lithologie, Geochemie, Konnektierung) 209

4. Untersuchungen an fossilen Baumstämmen aus dem fluviatilen Abschnitt des obereozänen Sedimentmittels (GWL 4.2) im Tagebau Groitzscher Dreieck 210
4.1. Zum fluvialen Transport und zur Einregelung rezenter und fossiler Hölzer 210
4.2. Feldbefunde Hölzer 217
4.3. Ergebnisse der Einregelungsmessungen 224
4.3.1. Orientierung der Baumstämme in Abhängigkeit von Stammdurchmesser und Stammlänge . . . 224
4.3.2. Orientierung der Baumstämme in Abhängigkeit von ihrer Lage innerhalb des Fluviatils (Höhenklassen) 228
4.4. Isotopenuntersuchungen an der Holzzellulose 230
4.4.1. Stabile Isotope in der Holzzellulose – eine kurze Übersicht 230
4.4.2. Methodik, Ergebnisse und Interpretation 232
4.5 Systematik und Taxonomie 235
4.5.1. Blätter und Samenzapfen von *Doliostrobus taxiformis* (STERNBERG) Z. KVAČEK (Makrorestbefunde) 235
4.5.2. Hölzer von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL 1913) DOLEZYCH nov. comb. 237
4.5.3. Ergebnisse paläoxylotomischer Untersuchungen an den fossilen Hölzern aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck 238
4.5.3.1. Probenauswahl 238
4.5.3.2. Beschreibung des Holzes 239
4.5.3.3. Bestimmung des Holzes 254
4.5.3.4. Diskussion und Vergleiche 257
4.6. Teilzusammenfassung Hölzer (Einregelung, Isotope, Paläobotanik) 258

5. Zur Taphonomie und Rekonstruktion der Landschaft und azonalen Vegetation 258

6. Zusammenfassung und Ausblick 266

7. Danksagungen 266

8. Literatur 267

Einem ist sie die hohe, die himmlische Göttin, dem andern eine tüchtige Kuh, die ihn mit Butter versorgt.
(„Wissenschaft"; Schiller)

Wissenschaft nährt den Geist, aber selten des Gelehrten Magen.

Vorbemerkungen

Das mitteldeutsche Gebiet ist im Vergleich zu anderen Gebieten Deutschlands und Europas durch einen überaus hohen geologischen Erkundungsgrad gekennzeichnet. Zahlreiche weitflächige geologische Aufschlüsse und Bohrbefunde des mehr als ein Jahrhundert anhaltenden Braunkohleabbaus in Großtagebauen bedingen einen hohen Wissensstand und Erkenntnisfortschritt zur Verbreitung, zu den Lagerungsverhältnissen und zur Stratigraphie der känozoischen Schichtenfolge. Dieser wird u. a. reflektiert durch die einmalige Erarbeitung von Horizont- bzw. Lithofazieskarten im Maßstab 1 : 50.000 und durch zahlreiche regionale geologische Zusammenfassungen des quartären und tertiären Stockwerkes. Dem gegenüber nimmt sich die Stützung dieses Wissensstandes mit modernen Analysenmethoden eher bescheiden aus. Punktuelle Ansätze einer sedimentologisch-lithologischen, geochemischen und paläoklimatischen Bearbeitung sind vorhanden. Ein Konzept zur systematischen wissenschaftlichen Anwendung moderner Analyseverfahren und -methoden auf die Lockergebirgsfolgen fehlt bisher. Es ist deswegen konsequent, von dem erreichten hohen Erkundungsgrad auch zu einem hohen Grad wissenschaftlicher Erkenntnisse zu gelangen. Diese würden den Schlüssel für weitere und in anderen Gebieten derzeit nie erreichbare Erkenntnisfortschritte bilden.

Diese Aufgabe fällt vor allem den im Einzugsgebiet angesiedelten geowissenschaftlichen Einrichtungen zu. Das Potential an Universitäten und Großforschungseinrichtungen in Sachsen ist vorhanden. Leider wurde dieser Fundus in der Zeit nach 1989/90, d. h. seit der uneingeschränkten Zugänglichkeit moderner Analysenmethoden und -geräte und unter dem damaligen Vorzeichen staatlich eher verfügbarer Mittel in dieser Beziehung sehr wenig genutzt. Institutionell geförderte, regional angelegte Forschungsprogramme blieben aus. Die wissenschaftliche Bearbeitung des in den Großtagebauen weithin offen zugänglichen känozoischen Stockwerkes beschränkte sich auf das Wirken einzelner von der Region begeisterter Geowissenschaftler. Ihre Aktivitäten fanden nur wenige Anhänger. Diese wurden eher mit dem zu Unrecht negativen Anstrich von „Heimatforschung" versehen, als dass ihre Arbeit als einmalige Chance erkannt wurde und die notwendige Unterstützung erfuhr. Dieser Missstand und die gegenwärtige Entwicklung in der regional bezogenen naturwissenschaftlichen Forschung Mitteldeutschlands hat nicht nur hausgemachte Ursachen. Sie ist das Spiegelbild einer Gesellschaft, in der der Stellenwert der Geowissenschaften nur sehr gering ist und Untersuchungen in der eigenen Region nur wenig geschätzt werden. Internationalität ist gefragt, obgleich vom Standpunkt des wissenschaftlichen Fortschritts letzterer sich oft eher bescheiden ausnimmt und „das Fahrrad dabei wiederholt nochmals erfunden wird". Grundsätzlich änderte sich diese Situation auch nicht durch die zahlreichen und publikumswirksamen Aktionen im ausgerufenen Jahr der Geowissenschaften 2002. Die mediengerechte Darstellung und Präsentation von Naturabläufen führt nicht zwangsläufig zu notwendigen Einsichten in Politik und Gesellschaft. Im Gegenteil, der Abbau geowissenschaftlicher Forschung in Deutschland setzt sich gegenwärtig unvermindert fort. Die aus der Verbindung von mangelnder Einsicht und Wissen sowie aus finanziellen Zwängen von der Politik betriebenen und mitunter von den Hochschulen selbst anvisierten Schließungen geowissenschaftlicher Studiengänge in Sachsen (z. B. Leipzig) und in anderen Bundesländern (z. B. Marburg, Clausthal) belegen dies. In einer derartigen Situation sind interdisziplinär angelegte und regional bezogene wissenschaftliche Arbeiten sehr wohltuend und wirken diesem Trend entgegen. In diesem Sinne ist auch das Zustandekommen und die Niederschrift der vorliegenden Arbeit zu sehen.

1. Einleitung

Der seit dem 31. 10. 1991 gestundete und zur Zeit bis in eine Höhe von ca. +100 mNN geflutete Tagebau Groitzscher Dreieck (AUTORENKOLLEKTIV 2000) zeigte bei einer Begehung durch den Erstautor im Dezember 2000 – an seiner zwischen den Ortslagen Hohendorf und Lucka gelegenen nordöstlichen bis östlichen Tagebaukante – hervorragende Aufschlussverhältnisse im Bereich des obereozänen Flözmittels. Das hier ca. 20 m mächtige Sedimentmittel (S2M oder Hauptmittelsand der Älteren Flusssande (G4)) gehört nach DOLL (1982) und EISSMANN (1968, 1994) dem oberen Teil der Älteren Flusssande an. Dieses Zwischenmittel liegt zwischen dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II, Oberbank) im Liegenden und dem Thüringer Hauptflöz (Flöz III) im Hangenden und splittet den außerhalb der Flusssandzonen ungeteilten Hauptflözkomplex (II/III) in eine mächtige vielgliedrige Sandabfolge auf. In ihrem unteren Bereich zeigt sie extreme Anreicherungen an fossilen Hölzern und Baumstämmen in fluviatil-autochthoner Position.

Im Rahmen einer daraufhin im Juli/August 2001 angesetzten Spezialkartierung (STEINBERG & STANGE 2001) erfolgten eine feldgeologisch-sedimentologische Aufnahme mit einer für die sedimentologisch-geochemische Analyse notwendigen detaillierten Beprobung des Zwischenmittels und strukturgeologische Vermessungen der fossilen Hölzer. Im Verlauf des Jahres 2002 wurden die sedimentpetrographischen (Granulometrie) und geochemischen (Haupt- und Spurenelemente) Untersuchungen an den entnommenen Sedimentproben zum Abschluss gebracht. Im Juni 2002 erfolgte dann gemeinsam mit Frau Dr. T. BÖTTGER (Halle) eine gesonderte Beprobung der fossilen Hölzer für die isotopengeochemisch-paläoklimatische Analyse. Erste Ergebnisse dieser Untersuchungen konnten im Juli 2003 auf dem XVI. Kongress der Internationalen Quartärvereinigung (INQUA) in Reno (Nevada, USA) vorgestellt werden (JUNGE et al. 2003). Für die paläoxylotomischen Untersuchungen wurde im April 2003 eine nochmalige umfangreichere Beprobung der fossilen Hölzer durchgeführt. An ihnen erfolgte die taxonomische Bestimmung der Hölzer (M. DOLEZYCH, Hoyerswerda). Die Ergebnisse bildeten die Grundlage für ihre Einordnung in das bekannte eozäne Makroflorenbild (Prof. Dr. H. WALTHER, Dr. L. KUNZMANN, beide Dresden) und für die Rekonstruktion der Landschaft und Vegetation. Für Jahrringuntersuchungen an den fossilen Stämmen wurde im Mai 2004 eine erste Probenahme durchgeführt (K. HEMPEL, Halle). Aus zeitlich-redaktionellen Gründen konnten die Ergebnisse dieser Untersuchungen leider keinen Eingang mehr in diesen Beitrag finden. Sie liegen als gesonderter Artikel in diesem Heft vor (HEMPEL et al. 2005).

Mit der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse einer auf ein konkretes Untersuchungsobjekt gerichteten, interdisziplinären Zusammenarbeit in Form der gemeinsamen Anwendung sedimentologisch-geochemischer, isotopengeochemisch-paläoklimatischer und paläoxylotomischer Untersuchungsmethoden präsentiert. Dadurch war es möglich, zu einer verbesserten Gesamtvorstellung über das im Weißelsterbecken während des Obereozäns herrschende Landschaftsbild zu gelangen. Für das zwischen dem Bornaer (Flöz II) und Thüringer Hauptflöz (Flöz III) gelegene obereozäne Sedimentmittel (Grundwasserleiter 4.2) aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck betrifft dies

(a) den regionalen Vergleich insbesondere mit der zeitlich parallelisierbaren und im Detail gut untersuchten Sedimentsequenz aus den 15–20 km nördlicher gelegenen Tagebauen (z. B. Tagebau Espenhain, siehe JUNGE et al. 2001, 2002),

(b) richtungsbezogene Aussagen zum fluvialen Transport und zur Dynamik im obereozänen „Zwickau-Altenburger Flusssystem" des Weißelsterbeckens (RICHTER 1963, EISSMANN 1968),

(c) Aussagen zum Temperaturniveau und zum $\delta^{13}C$-Wert des atmosphärischen CO_2,

(d) verbesserte Rekonstruktionen des obereozänen Landschafts- und Vegetationsbildes vor allem durch die Verbindung von holzanatomischen Befunden und Ergebnissen der Makrorestanalyse (Zapfen, Blätter). Diese bilden die Grundlage für eine sichere Taxonomie der tertiären Baumvegetation.

2. Kurze Einführung zur Geologie des Tertiärs im Weißelsterbecken

Spätestens mit dem Wirken G. MEYERS in den 50iger Jahren des vergangenen Jahrhunderts (MEYER 1950) hat sich das mitteldeutsche Braunkohlerevier, neben dem Rheinischen Braunkohlerevier, zu einem wissenschaftlichen Studienobjekt ersten Ranges für die Entwicklung des terrestrischen Tertiärs in Mitteleuropa entwickelt. Das Zusammentreffen günstiger klimatischer (warm-feuchtes Klima), geologischer (langsames epirogenes Senkungsgebiet in Kombination mit Subrosion) und hydrologischer Bedingungen (Meeresnähe, geringe Meeresspiegelhöhe; stabiles Flusssystem, hoher Grundwasserstand) führte sowohl im älteren (Eozän bis Oligozän; Leipzig-Zeitzer Revier, Geiseltal), als auch im jüngeren Tertiär (Miozän; Bitterfelder Revier) zur Entstehung mächtiger Braunkohlenflöze (Ältere und Jüngere Braunkohleformation). Diese sind Bestandteil zyklischer Sedimentabfolgen, die das gesamte Spektrum an Faziesbereichen von fluviatilen, limnischen bis hin zu ästuarin-flachmarinen und vollmarinen Ablagerungen beinhalten. Neben zahlreichen Einzelarbeiten zur Tertiärabfolge entstanden seit dieser Zeit eine Vielzahl monographischer Zusammenfassungen, die den Erkenntnisstand zur Geologie und Stratigraphie dieses Raumes während des Tertiärs zusammenfassen und auf die an dieser Stelle verwiesen wird. Zu nennen wären, ohne Vollständigkeit zu erlangen: LOTSCH et al. (1969); KRUTZSCH et al. (1992); STANDKE (2002); EISSMANN (2005, 2004, 2002, 1994, 1968).

Das „Weißelsterbecken" wurde als Begriff von G. MEYER nach dem zweiten Weltkrieg in die Literatur eingeführt. Seit dieser Zeit hat er sich zu einer im geologischen Sprachgebrauch regional und auch international tief verwurzelten Bezeichnung für das Gebiet der mitteldeutschen Braunkohlevorkommen entwickelt. Der über wissenschaftliche Veröffentlichungen erzielte nationale und internationale Bekanntheitsgrad dieses Gebietes ist nicht zuletzt auch zu einem großen Teil auf die Stetigkeit in der Verwendung dieses historisch gewachsenen regionalen Begriffes zurückzuführen. Aus diesem Grunde und auch in Empfehlung für zukünftige Veröffentlichungen wird in der vorliegenden Arbeit, entgegen anderer, neuerer Vorschläge („Weißelster-Senke" nach STANDKE 2002), die Bezeichnung „Weißelsterbecken" beibehalten.

Das Weißelsterbecken charakterisiert das heute von der Weißen Elster durchflossene Verbreitungsgebiet der eozän-unteroligozänen Braunkohlenflöze (Sächsisch-Thüringisches Unterflöz, Bornaer und Thüringer Hauptflöz, Böhlener Oberflöz) der südlichen und mittleren Leipziger Bucht bis zur Halleschen Störung im Nordwesten und dem Flözrand nördlich von Leipzig. Es beschreibt einen schon im Prätertiär angelegten, nach Norden offenen, hufeisenförmigen Senkungsraum. Dieser entwickelte sich spätestens im frühen Eozän zur Haupt-Entwässerungspassage für die aus dem südlichen Hinterland (Böhmen, Thüringen, Nordbayern) kommenden und nach Norden durch die heutige Leipziger Bucht entwässernden Flüsse. Die Flüsse des Südostens und Südwestens erreichten den Senkungsraum bei Altenburg (Zwickau-Altenburger-Flusssystem) und östlich von Zeitz (Vogtländisch-Thüringisches Flusssystem). Spätestens im mittleren Eozän erfolgte eine großräumige Absenkung des gesamten Gebietes unter das Erosionsniveau, wobei damit die flächenhafte Sedimentation, weitgehend lückenlos bis in das untere Miozän begann (EISSMANN 2004). Mit der Meeresüberflutung (Rupeltransgression) im Unteroligozän erfuhr das Weißelsterbecken seinen vollständigen Anschluss an die Norddeutsche Tertiärsenke der Urnordsee (MÜLLER 1983). Damit verlor es endgültig seinen bis zu diesem Zeitpunkt überwiegenden Charakter als Binnensenke.

Dem endgültigen Anschluss an die Norddeutsche Tertiärsenke im Unteroligozän gingen mehrere Etappen zunehmender marin-ästuariner Beeinflussung des Senkungsraumes durch die Urnordsee seit dem Mitteleozän voraus. Während der ältere, ins Mitteleozän einzustufende Flözzyklus (Sächsisch-Thüringisches Unterflöz) noch durch den Wechsel fluviatiler und limnischer Sedimente charakterisiert ist, zeigen sich im zentralen Weißelsterbecken erste marin-ästuarine Einflüsse während der Hauptflözbildungszeit (oberes Mitteleozän bis Obereozän; Mittel zwischen Bornaer und Thüringer Hauptflöz; siehe vorliegende Arbeit) und dann deutlich vor Beginn der Ablagerung des unteroligozänen Böhlener Oberflözes (obereozän-unteroligozäner Übergangszeitraum; Domsener Folge; STANDKE 2001, JUNGE et al. 2001, 2002). Sie dokumentieren insgesamt das, schon bei geringen Meeresspiegelschwankungen wirksame und durch das geringe Gefälle und das geringe Meerespiegelniveau begünstigte, wiederholte Vordringen von Salz- und

Brackwässern, zuerst in die Buchten der stark gegliederten Küstenlandschaft, später bis weit in das Hinterland hinein. Allerdings sind diese wiederholten Vorstöße mariner Wässer nicht vergleichbar mit der dauerhaften Überflutung und der Ausbildung mariner Faziesbereiche im Weißelsterbecken im Zuge der Rupeltransgression. Sie kennzeichnen den Übergang in der Entwicklung des Weißelsterbeckens von einer isolierten Binnensenke zur Leipziger Bucht des Norddeutschen Tertiärbeckens.

Die wahrscheinlich im oberen Mitteleozän beginnenden und im Obereozän deutlicher werdenden „ersten Kontakte des Weißelsterbeckens mit der Urnordsee" führten in ihrer Folge zu einer engen Verzahnung fluviatil-limnischer Sedimente mit brackisch-marin-ästuarin geprägten Ablagerungen. Rezente Parallelen drängen sich hier mit den heutigen sturmflut- bzw. hochwasserbedingten Überschwemmungen im Mündungsgebiet bzw. der Deltaebene der Flüsse Brahmaputra, Ganges und Meghna von Bangladesh auf. Hier erreichen die durch Monsunfluten, Schichtfluten (Starkregenfälle) bzw. Gezeitenfluten verursachten Überschwemmungen in dem maximal 3 bis 5 m über dem Meeresspiegelniveau liegendem Gelände Ausdehnungen bis 50.000 km^2 und darüber (MATEJKA et al. 2002, HENKE 2002/03).

In der Abb. 1 ist die stratigraphische Abfolge der känozoischen Schichten in Abhängigkeit von ihrer regionalen Position im Weißelsterbecken zusammengefasst (EISSMANN 2004). Die tertiäre Sedimentation beginnt über einem Paläokarstgebirge aus zechsteinzeitlichen Schichten mit dem durch subrosive Prozesse (Kesselbildung) beeinflussten ersten Flözzyklus (Sächsisch-Thüringisches Unterflöz bzw. Flöz I). Getrennt durch fluviatile Ablagerungen folgt darüber der Hauptflözzyklus, der die beiden, z. T. durch ein Sandmittel getrennten Hauptflöze (Thüringer und Bornaer Hauptflöz) beinhaltet. Innerhalb dieses fluviatilen Sandmittels sind die ersten marin-ästuarinen Beeinflussungen im zentralen Weißelsterbecken nachweisbar. Über dem Hauptflözkomplex schließt sich eine faziell stark differenzierte Folge aus fluviatilen, limnischen (Haselbacher Ton) und flachmarinen (Domsener Folge) Sedimenten an. Mit dem darüber entwickelten unteroligozänen Böhlener Oberflöz (Flöz IV) findet die Sedimentation des Älteren Flözkomplexes (Bornaer Schichten nach EISSMANN 2004; Borna-Formation nach DSK 2002) ihren Abschluss. Faziell differenzierte, vollmarine Sedimente der Rupeltransgression bestimmen die Sedimentation im Weißelsterbecken während des Oligozäns (Böhlener Schichten nach EISSMANN 2004; Böhlen-Formation nach DSK 2002). Hebungsprozesse im Oberoligozän führen zu bedeutenden fluviatilen Einschnitten (Thierbacher Erosionsdiskordanz) mit der Folge lückenhafter Sedimentation. Darüber beginnt die zyklische Abfolge des im Untermiozän beginnenden Jüngeren Flözkomplexes mit den Flözen der Bitterfelder und Dübener Schichten (Cottbus-, Spremberg-, unterer Teil der Brieske-Formation nach DSK 2002). Eine weitflächige Erosionsdiskordanz, die eine Schichtlücke wahrscheinlich vom oberen Untermiozän bis in das ältere Pleistozän beinhaltet, beendet die tertiäre Sedimentation im Untersuchungsgebiet.

3. Das Sedimentmittel zwischen Bornaer und Thüringer Hauptflöz im Tagebau Groitzscher Dreieck (Abbn. 2, 3, 4, 5, 6, 7; Bilder 1, 2, 3)

Der Tagebau Groitzscher Dreieck[1] (Abb. 2, Bilder 1 und 2) gehört mit einer Förderleistung von 45,6 Mio t Kohle (1975–1991), einer Tiefe von ca. 80 m und einer in Anspruch genommenen Fläche von insgesamt 740,4 ha zu den eher kleineren Tagebauen der südlichen Leipziger Tieflandsbucht. Auf Grund seiner Lagerungs- und Aufschlussverhältnisse, die phantastische Einblicke in die Prozesse der Subrosion und in die ältesten Schichten des Tertiärs geben, zählt er zu den geologisch wohl mit interessantesten Großtagebauen des Leipziger Südraumes (AUTORENKOLLEKTIV 1977).

[1]) Einige Anmerkungen zur Geschichte des Tagebaus (nach Angaben der LMBV): erster Spatenstich am 21.04.1974, Beginn der Abraumförderung am 28.6.1975 (Abraum-Förderleistung 1975–1991: 243,5 Mio m^3), erster Kohlezug am 18.4.1978, Schließung des Tagebaus am 31.10.1991.

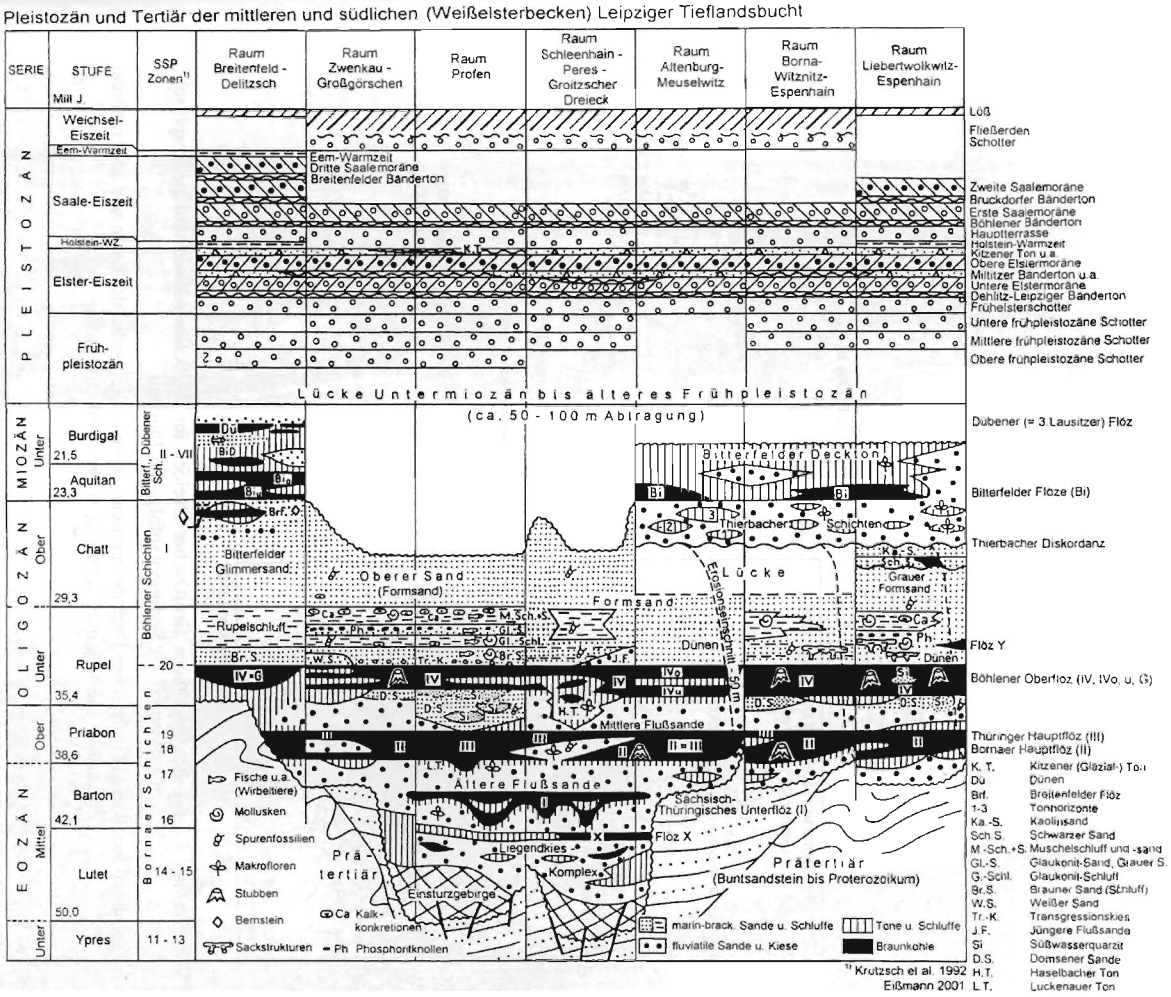


Abb. 1. Stratigraphie und Lithologie des Tertiärs und Pleistozäns im Weißelsterbecken (aus EISSMANN 2004).

Fig. 1. Stratigraphy and lithology of the Tertiary and Quaternary in the Weißelster basin (according to EISSMANN 2004).

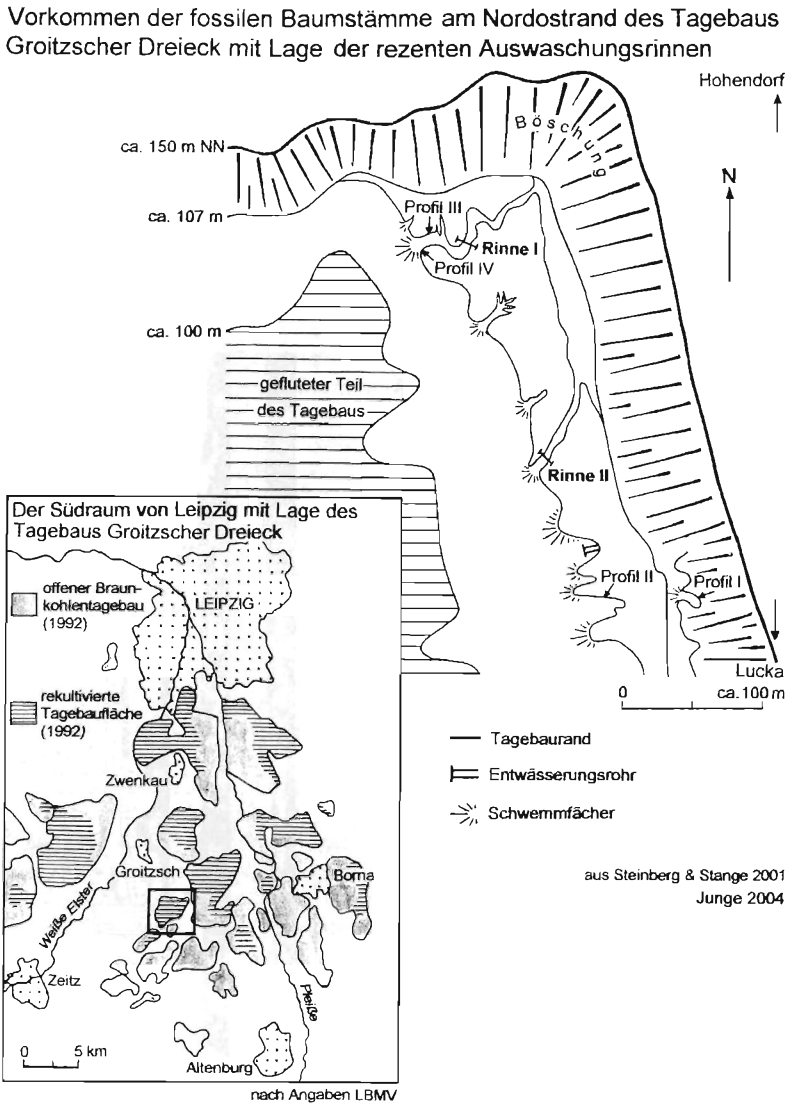


Abb. 2. Geographische Lage des Tagebaues Groitzscher Dreieck im Weißelsterbecken und geographische Position der Sedimentabfolge im Tagebau.

Fig. 2. Geographical location of Groitzscher Dreieck open-cast mine in the Weißelster basin and geographical position of the sediment sequence in the open-cast mine.

Die teilweise über 120 m mächtige tertiäre Schichtenfolge (Abb. 3) beginnt über subrosiv geprägtem prätertiären Untergrund (Zechsteindolomit, -anhydrit) mit einer Wechselfolge aus fluviatilen kiesig-sandigen Sedimenten, palustrischen tonig-schluffigen Sedimenten und darin eingeschalteten geringmächtigen Kohleflözen. Diese den Unteren Bornaer Schichten zugehörigen tertiären Liegendsedimente lassen mehrere Sedimentationszyklen erkennen, die mit basalen Sandschüttungen beginnen und mit Tonhorizonten (lokal auch Flözbildungen) abschließen. Sie beinhalten die Grundwasserleiter GWL 6.2/6.1 (S1 oder Unterer Basissand (G6) nach DOLL 1982) und finden im Hangenden mit dem Liegendton des Sächsisch-Thüringischen Unterflözes (Flöz I) ihren

Bild 1. Panoramablick nach West bis Nordwest in den noch aktiven Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto JUNGE, Juli 1992.

Pict. 1. Panoramic view towards the west or northwest of Groitzscher Dreieck open-cast mine, which is still in operation. Photo: JUNGE, July 1992.

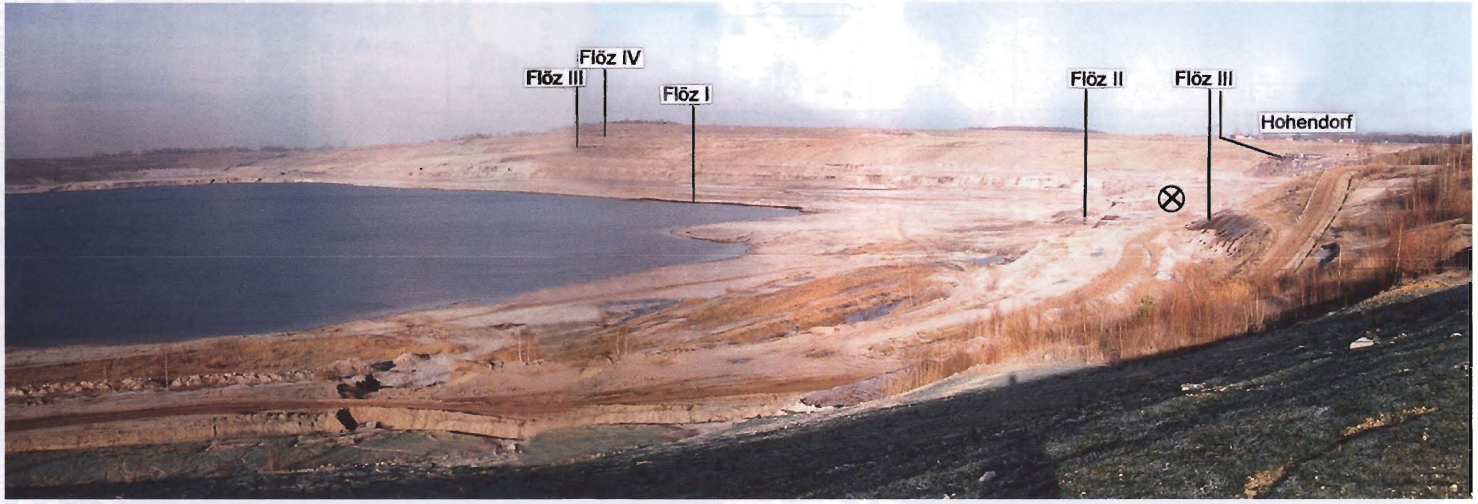


Bild 2. Panoramablick nach West bis Nordwest in den in Stundung befindlichen Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto JUNGE, Dezember 2000.

Pict. 2. Panoramic view towards the west or northwest of Groitzscher Dreieck open-cast mine currently in abandon. Photo: JUNGE, December 2000.

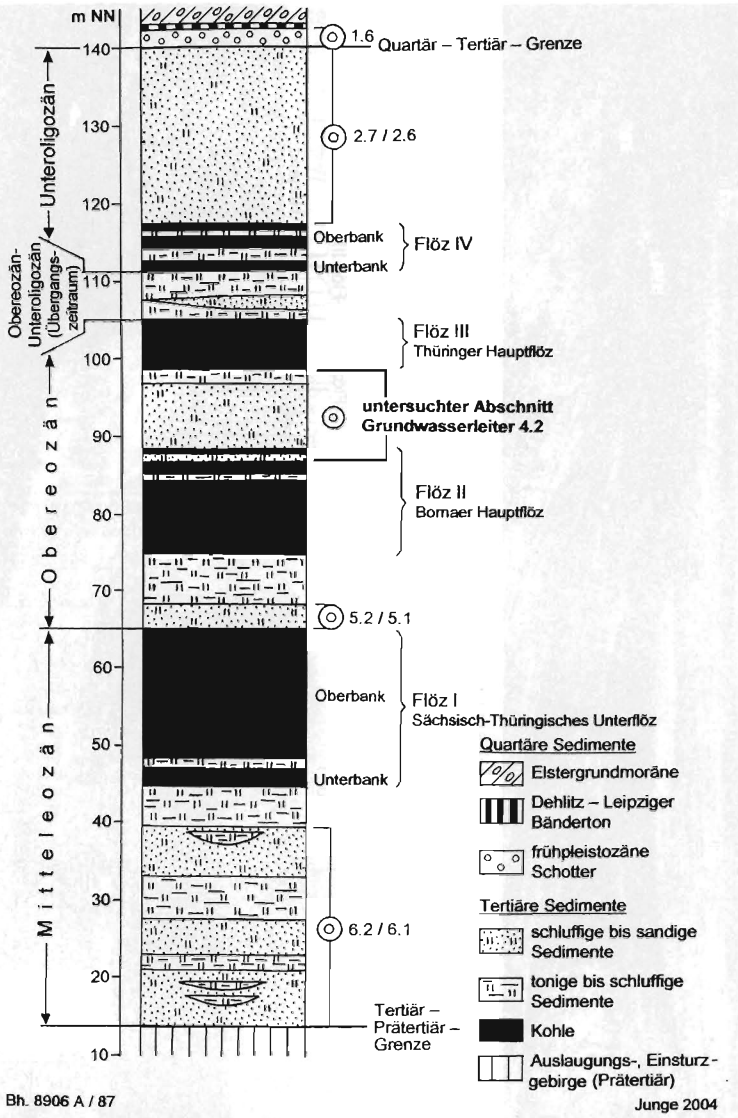


Abb. 3. Die geologische Abfolge im Tagebau Groitzscher Dreieck dargestellt an einem vereinfachten Bohrprofil mit Kennzeichnung der Position des untersuchten Flözmittels (AUTORENKOLLEKTIV 1986–88).

Fig. 3. The geological sequence prevailing in Groitzscher Dreieck open-cast mine shown by example of a simplified bore hole profile, including identification of the position held by the seam burden investigated (AUTORENKOLLEKTIV 1986–88).

Abschluss. Das älteste, ins Mitteleozän zu stellende bauwürdige Flöz, das Sächsisch-Thüringische Unterflöz (Flöz I), ist in der Regel in zwei durch einen Tonhorizont getrennte Bänke aufgespalten (Unterbank, Oberbank; WERRMANN 1989).

Über dem Sächsisch-Thüringischen Unterflöz (Flöz I) beginnt der nächstjüngere Sedimentationszyklus, der Hauptflözzyklus. Dieser beginnt vom Liegenden zum Hangenden mit den fluviatilen Sanden des GWL 5.2/5.1 (entspricht S2 oder Mittlerer Basissand der Älteren Flusssande (G5)

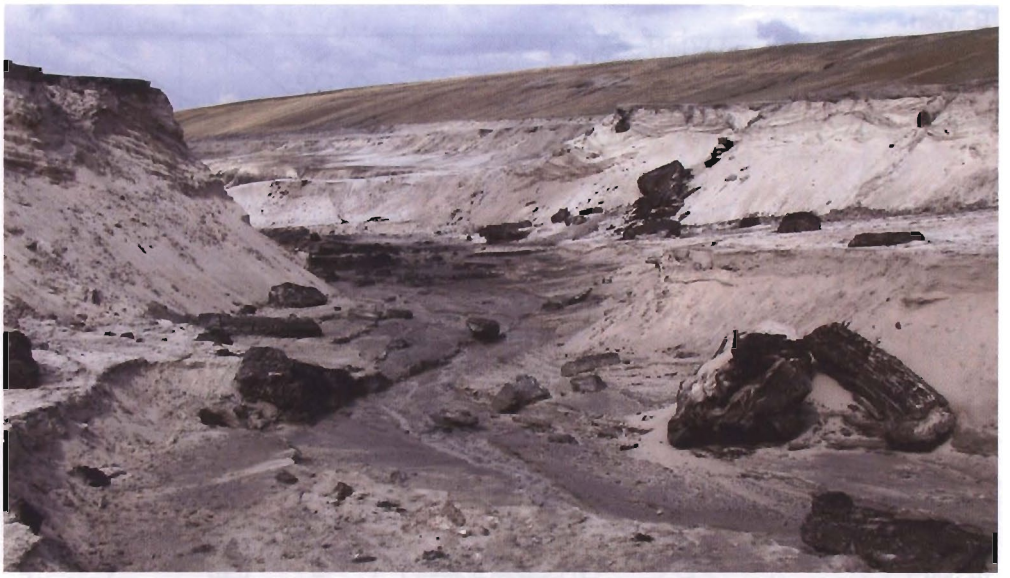


Bild 3. Blick in die SW–NE-verlaufende rezente Auswaschungsrinne I (siehe Abb. 2) am Oststoß des Tagebaus Groitzscher Dreieck mit aus den fluviatilen Sedimenten herausragenden und ausgewaschenen fossilen Baumstämmen. Foto DOLEZYCH, April 2003.

Pict. 3. View to the recent erosion channel I (see figure 2) passing SW-NE at the East side wall of Groitzscher Dreieck open-cast mine, showing the washed-out fossil tree logs protruding from the fluvial sediments. Photo: DOLEZYCH, April 2003.

Bild 4. Blick in die S-N-verlaufende rezente Auswaschungsrinne II (siehe Abb. 2) am Oststoß des Tagebaus Groitzscher Dreieck mit aus den fluviatilen Sedimenten herausragenden und ausgewaschenen fossilen Baumstämmen. Foto JUNGE, Dezember 2000.

Pict. 4. View to the recent erosion channel II (see figure 2) passing S-N at the East side wall of the Groitzscher Dreieck open-cast mine showing the washed-out fossil tree logs protruding from the fluvial sediments. Photo: JUNGE, December 2000.

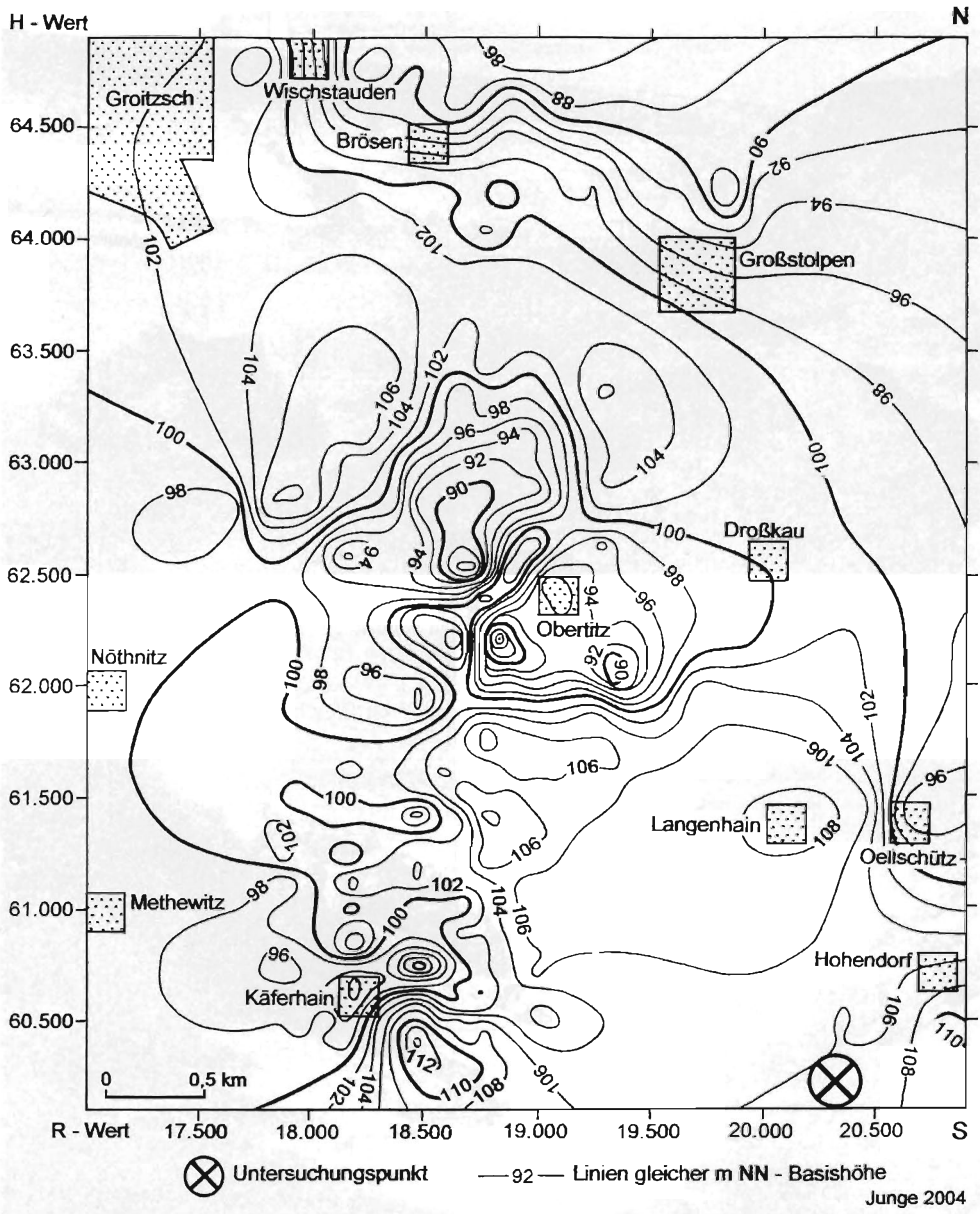


Abb. 4. Isohypsendarstellung der mNN-Basis des obereozänen Sedimentmittels (GWL 4.2) nördlich des Tagebaus Groitzscher Dreieck zwischen den Ortslagen Groitzsch–Großstolpen–Hohendorf–Methewitz. (zusammengestellt nach Bohrbefunden des BUS Welzow).

Fig. 4. Isohypsometric representation of the mNN basis of the Upper Eocene sediment burden (GWL 4.2) situated north of Groitzscher Dreieck open-cast mine between Groitzsch–Großstolpen–Hohendorf–Methewitz. (composed according to bore hole findings supplied by BUS Welzow).

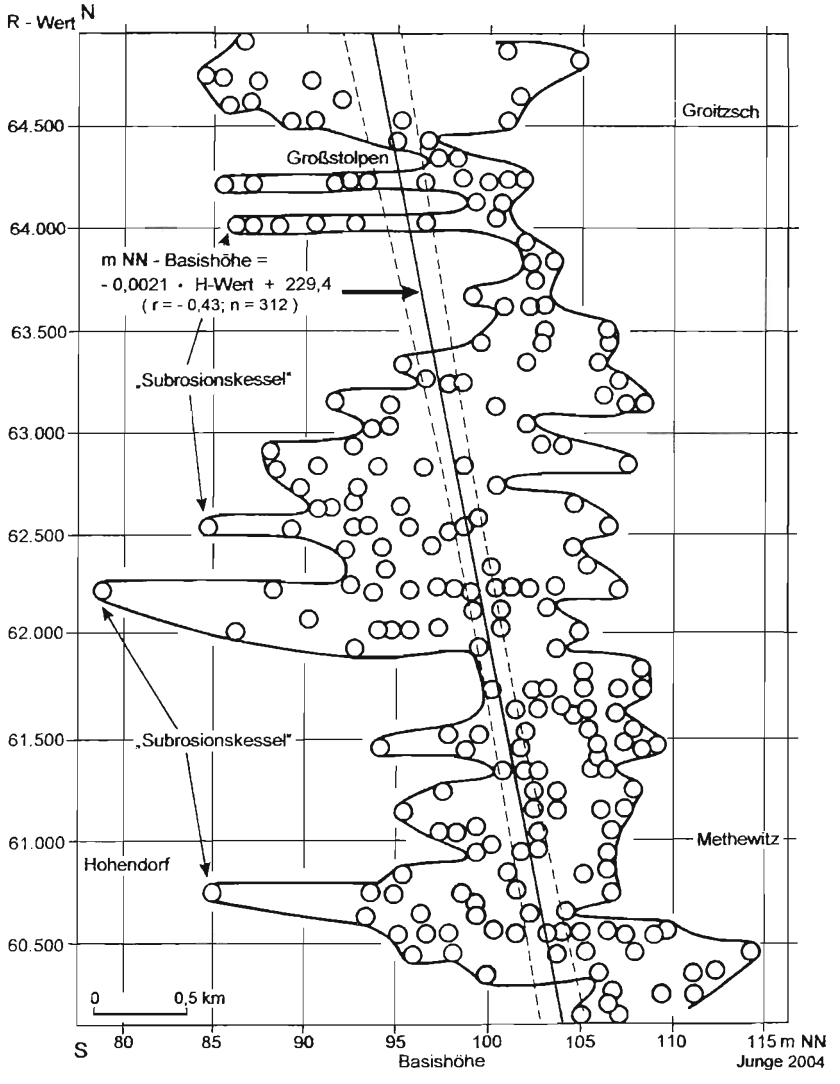


Abb. 5. Lage der auf eine gemeinsame Süd–Nord-Linie projezierten mNN-Basis des obereozänen Sedimentmittels zwischen den Ortslagen Methewitz–Hohendorf und Groitzsch–Großstolpen nördlich des Tagebaus Groitzscher Dreieck.

Beachte das nach Süden ansteigende Niveau und die durch subrosive Prozesse (Kessel- und Muldenbildung) hervorgerufenen starken Schwankungen der Auflagebasis des Zwischenmittels. Die Kreise kennzeichnen die jeweilige mNN-Basis des Zwischenmittels in den auf der ausgewerteten Fläche zwischen den Ortslagen Methewitz, Hohendorf, Groitzsch und Großstolpen liegenden Bohrungen.

Fig. 5. Location of the mNN basis of the Upper Eocene sediment burden projected to a common south-to-north line between Methewitz–Hohendorf and Groitzsch–Großstolpen north of Groitzscher Dreieck open-cast mine. Note the rise in level in southern direction and the noticeable variations of the interburden basis caused by subrosive processes (formation of cauldrons and synclines). The circles mark the related mNN basis of the interburden in the bore holes located on the surface analysed, which is situated between Methewitz, Hohendorf, Groitzsch and Großstolpen.

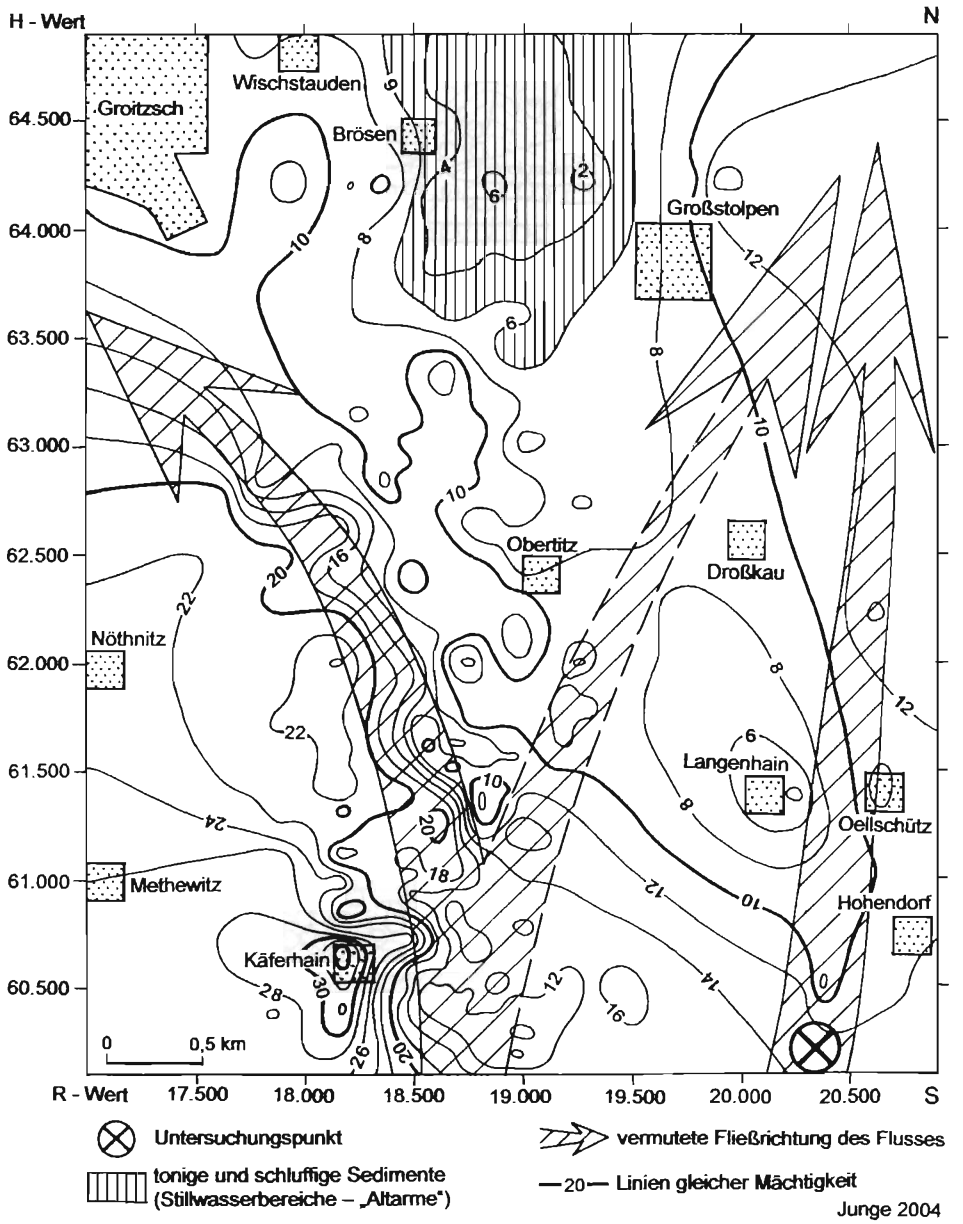


Abb. 6. Isohypsendarstellung der Mächtigkeit (in Meter) und fazielle Ausbildung des obereozänen Sedimentmittels (GWL 4.2) nördlich des Tagebaus Groitzscher Dreieck zwischen den Ortslagen Groitzsch–Großstolpen–Hohendorf–Methewitz (zusammengestellt nach Bohrbefunden des BUS Welzow).

Fig. 6. Isohypsometric representation of the thickness (in metres) and facial structure of the Upper Eocene sediment burden (GWL 4.2) north of Groitzscher Dreieck open-cast mine situated between Groitzsch–Großstolpen–Hohendorf–Methewitz (composed according to bore hole findings supplied by BUS Welzow).

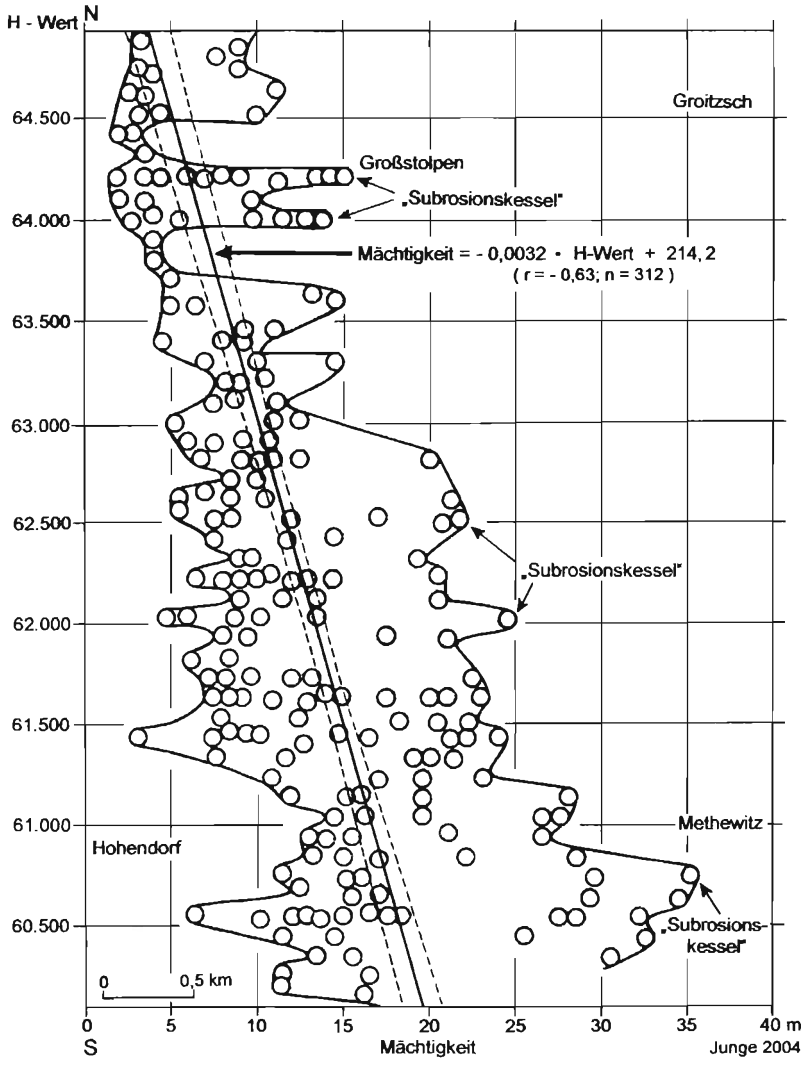


Abb. 7. Lage der auf eine gemeinsame Süd–Nord-Linie projezierten Mächtigkeit (in Meter) des obereozänen Sedimentmittels zwischen den Ortslagen Methewitz–Hohendorf und Groitzsch–Großstolpen nördlich des Tagebaus Groitzscher Dreieck.

(Beachte die nach Norden abnehmende Gesamtmächtigkeit und die durch subrosive Prozesse hervorgerufene hohe Mächtigkeitsvariabilität des Zwischenmittels. Die Kreise kennzeichnen die jeweilige Gesamtmächtigkeit des Zwischenmittels in den auf der ausgewerteten Fläche zwischen den Ortslagen Methewitz, Hohendorf, Groitzsch und Großstolpen liegenden Bohrungen.)

Fig. 7. Location of thickness (in metres) of the Upper Eocene sediment burden projected to a common south-to-north line between Methewitz–Hohendorf and Groitzsch–Großstolpen north of Groitzscher Dreieck open-cast mine.

(Note the decrease of the overall thickness in northern direction and the high variability of the interburden thickness caused by subrosive processes. The circles mark the overall thickness of the interburden in the bore holes located on the surface analysed, which is situated between Methewitz, Hohendorf, Groitzsch and Großstolpen.)

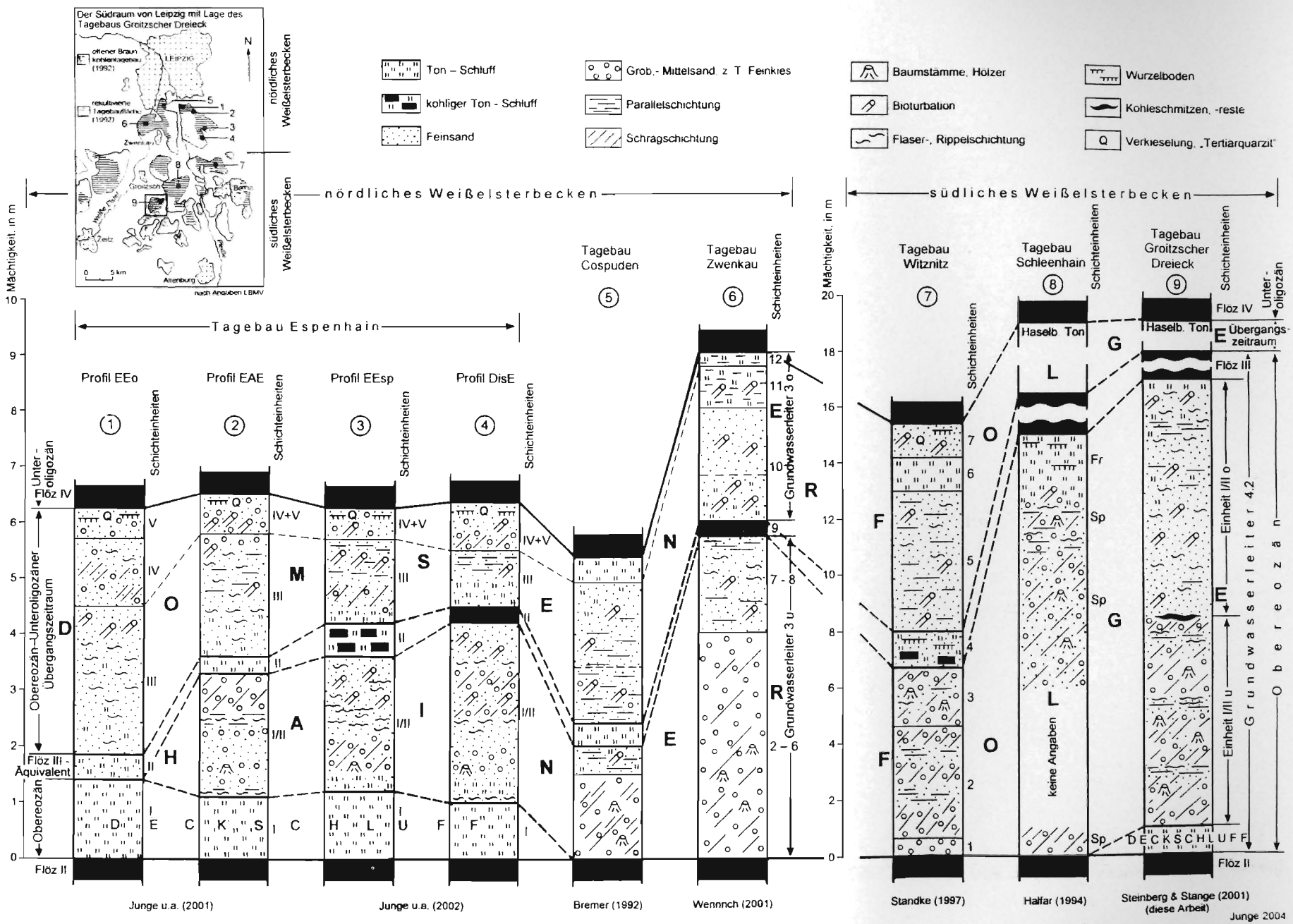


Abb. 9. Auf lithologisch-sedimentologischen Befunden beruhende, mögliche Konnektierung des Sedimentmittels zwischen Bornaer (Flöz II) und Böhlener Oberflöz (Flöz IV) im Südraum von Leipzig.

(Verwendete Profile nach JUNGE u. a. 2001, 2002; BREMER 1992; WENNRICH 2001; STANDKE 1997; HALFAR 1994; STEINBERG & STANGE 2001; und vorliegender Arbeit.)

Fig. 9. A possible connection of the sediment burden situated between Bornaer (seam II) and Böhlener upper seam (seam IV) in the southern region of Leipzig based on lithological and sedimentological findings.

(Used profiles after JUNGE et al. 2001, 2002; BREMER 1992; WENNRICH 2001; STANDKE 1997; HALFAR 1994; STEINBERG & STANGE 2001; and this work.)

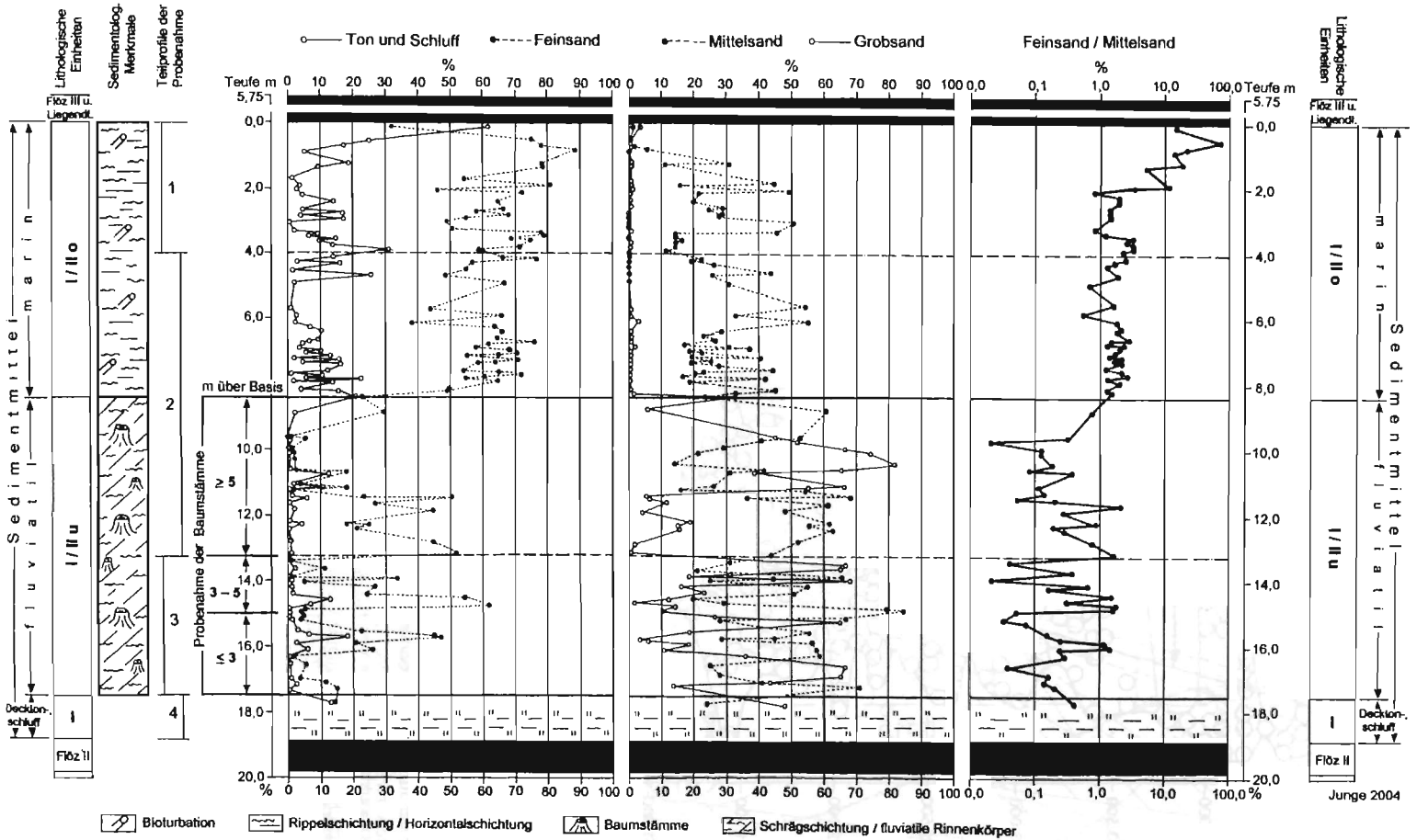


Abb. 8. Korngrößenverteilung und lithologischer Aufbau (Sedimenteinheiten) des obereozänen Sedimentmittels (GWL 4.2) zwischen dem Bornaer Hauptflöz im Liegenden und dem Thüringer Hauptflöz im Hangenden (Tagebau Groitzscher Dreieck).

Fig. 8. Grain size distribution and lithological structure (sediment units) of the Upper Eocene sediment burden (GWL 4.2) situated between the subjacent Bornaer main seam and the overlying Thuringia main seam (Groitzscher Dreieck open-cast mine).

nach DOLL 1982). Es folgt der z. T. bis 5 m mächtige Liegendton des Bornaer Hauptflözes (Flöz II) und das Bornaer Hauptflöz (Flöz II). Letzteres weist Mächtigkeiten bis 15 m auf, kann aber auch auf Grund jüngerer fluviatiler Abtragungsprozesse vollständig gekappt sein. Darüber hinaus ist es häufig in mehrere (3 bis 4), durch Tone getrennte und in Bohrungen z. T. schwer zu konnektierende Bänke aufgespalten.

Im Hangenden des Bornaer Hauptflözes beginnt die ebenfalls zum Hauptflözzyklus zuzurechnende und im Mittelpunkt dieser Arbeit stehende **Sedimentfolge des Grundwasserleiters GWL 4.2** (S2M oder Hauptmittelsand der Älteren Flusssande (G4) nach DOLL 1982). In ihr widerspiegeln sich die Ablagerungsverhältnisse des Zwickau-Altenburger Flusses zur Hauptflözbildungszeit (oberer Teil der Älteren Flusssande nach EISSMANN 1968, 1994). Seine Sedimente (Sande als Ablagerungen des aktiven Flusssystems, Tone und Schluffe als Dokumente ehemaliger Altwasserarme bzw. fluviatiler Stillwasser- und Überschwemmungsbereiche) trennen das außerhalb seines Einzugsgebietes im Weißelsterbecken weitgehend ungeteilte Hauptflöz (II/III; z. B. Tagebau Profen). Sie teilen es innerhalb einer ca. 12 km breiten Zone in einen höheren (Flöz III bzw. K2o) und einen tieferen Teil (Flöz II bzw. K2u; DOLL 1984). Dieser faziell stark untergliederte Einflussbereich des Zwickau-Altenburger Flusssystems während der Hauptflözbildungszeit verlief ungefähr zwischen den Linien der Ortslagen Altenburg–Meuselwitz–Pegau (südwestliche Begrenzung) einerseits und Thräna–Regis–Borna (östliche Begrenzung) andererseits. Die Schichtenfolge ist insbesondere durch die Tagebaue Groitzscher Dreieck, Schleenhain und Peres freigelegt worden. Im Tagebau Groitzscher Dreieck wird die den Hauptflözkomplex trennende Sedimentfolge nach den Ergebnissen dieser Arbeit in einen mehr fluviatil geprägten unteren Teil und in einen stärker marin geprägten oberen Abschnitt untergliedert (siehe Kapitel 3.1.). Einblick in den Aufbau der Sedimentfolge des GWL 4.2. gaben in den Jahren 2000/2001 zwei am Oststoß des Tagebaus Groitzscher Dreieck vorhandene rezente Auswaschungsrinnen (Rinne I und II; siehe Abb. 2 und Markierung in Bild 2). In ihnen war die gesamte, zwischen den Flözen II und III liegende Sandabfolge zugänglich. Auffälligstes Merkmal war dabei die hohe Anzahl an fossilen Hölzern, die einerseits in fluviatil-autochthoner Position im Sediment lagerten, als auch ausgewaschen am Fuße der Erosionsrinnen angetroffen wurden (Bilder 3 und 4). Die Aufschlussverhältnisse boten die einmalige Möglichkeit für eine allumfassende und detaillierte Bearbeitung dieser Sedimentabfolgen.

Der Hauptflözzyklus wird mit dem Thüringer Hauptflöz (Flöz III) abgeschlossen, das im Tagebaubereich als kompaktes weitgehend ungeteiltes Flöz von 5 bis 7 m Mächtigkeit entwickelt ist. In seinem Hangenden folgt eine bisher wenig untersuchte sandige, überwiegend aber schluffig-tonige Sedimentabfolge (S3 oder Oberer Basissand der Jüngeren Flusssande (G3) nach DOLL 1982). Sie bildet die Basis des unteroligozänen, in mehrere Bänke aufgespaltenen nichtbauwürdigen Böhlener Oberflözes (Flöz IV). Die über dem Böhlener Oberflöz liegende, häufig geringmächtige und in feinsandig-schluffiger Fazies auftretende Rupelfolge bildet im Tagebaubereich das Hangende der genannten tertiären Sedimentserien. Darüber folgt das Quartär-Stockwerk mit kiesig-sandigen Sedimenten der frühpleistozänen Schotterterrasse, Dehlitz-Leipziger Bänderton und der ersten Elstergrundmoräne.

Das Untersuchungsgebiet befindet sich innerhalb der sogenannten „Kern- bzw. Zentralzone" der Subrosion, die im Weißelsterbecken im Bereich einer sehr flachen Spezialaufwölbung des Altenburger Sattels nordwestlich Lucka spätestens im mittleren Eozän ihren Anfang nahm (EISSMANN 1985). Auf Grund der Erosion des schützenden Buntsandsteindaches (Kreide bis frühes Tertiär) innerhalb dieser sehr flachen prätertiären Aufwölbung (sogen. Groitzscher Gewölbe als nordwestliche Fortsetzung des Altenburger Sattels) wurden die subrosionsanfälligen, mitunter freiliegenden bzw. geringbedeckten zechsteinzeitlichen Schichten (Anhydrit, Karbonat) schon frühzeitig von eindringenden Grund- und Oberflächenwässern erreicht. Es begannen Auslaugungsprozesse mit Bildung eines 5 bis 30 m mächtigen Karst- bzw. Einsturzgebirges im Untergrund und die Herausbildung von tiefgreifenden Kesselstrukturen mit synsedimentären Sedimentfüllungen. Die Hauptsubrosionsphase fand innerhalb der „Kern- bzw. Zentralzone" der Subrosion im Mitteleozän vor bzw. während der Sedimentation des Sächsisch-Thüringischen Unterflözes (Flöz I) statt. Dieses erreicht im Untersuchungsgebiet in den subrosiv bedingten Kesselstrukturen Mächtigkeiten bis über 25 m (z. B. Maltitzer Kessel), bei normaler Ablagerung 5 bis 10 m. Ebenfalls noch von

synsedimentären subrosiv bedingten Senkungsbewegungen beeinflusst, aber mit weit geringerer Intensität, sind das Bornaer Hauptflöz und seine Liegend- und Hangendsedimente (GWL 5.2/5.1 und 4.2). Sie belegen, dass die diskontinuierlich abgelaufenen, unterirdischen Auslaugungsprozesse im Bereich des Groitzscher Gewölbes noch mindestens bis ins Obereozän andauerten.

Die horizontalen Verbreitungsmuster von Mächtigkeit und NN-Basishöhe des untersuchten obereozänen Sedimentmittels (GWL 4.2) weisen innerhalb des Untersuchungsgebietes beträchtliche Schwankungen auf. Sie sind das Ergebnis verschiedener sich überlagernder geologischer Prozesse:

(a) Sedimentationsprozesse, die das subrosiv noch aktive Relief nachzeichnen bzw. zum Teil ausgleichen,
(b) postsedimentäre Auslaugungsprozesse (Lochbildung),
(c) fluviatile Prozesse der Erosion und Akkumulation und
(d) Diageneseprozesse mit unterschiedlichen sedimentspezifischen Kompaktionsraten (siehe z. B. WAGENBRETH & BELLMANN 1983).

Die Auflagefläche des obereozänen Sedimentmittels (GWL 4.2) auf dem Bornaer Hauptflöz liegt im Gebiet, das durch die Ortslagen Groitzsch, Methewitz, Hohendorf und Großstolpen begrenzt wird und eine Fläche von ca. 16 km^2 umfasst, zwischen 78,8 m über NN und 114,8 m über NN (Mittelwert bei 101,0 m über NN bei Auswertung von 309 Bohrungen; AUTORENKOLLEKTIV 1986–88; Abb. 4). Ihre extreme Schwankungsbreite im Basisrelief auf engem Raum wird im wesentlichen durch den Untergrund bestimmt: Absinken der Auflagebasis über älteren, Flöz I betreffenden Kesselstrukturen und Anstieg der Auflagebasis im Bereich der Kesselränder ohne bedeutsame Mächtigkeitsveränderungen. Besonders ausgeprägt ist dieses Relief unmittelbar westlich und südlich der Ortslage Obertitz. Hier ist das Bild durch das Auftreten mehrerer Kesselstrukturen des Sächsisch-Thüringischen Unterflözes mit dazwischenliegenden Hochlagen gekennzeichnet (Abb. 4).

Die unruhige Auflagefläche des obereozänen Zwischenmittels kommt auch in einem über das Untersuchungsgebiet gelegten und auf eine Süd–Nord-Linie projizierten Schnitt zum Ausdruck (Abb. 5). Die Basisfläche steigt hier im Mittel mit ca. 2 m auf einer Strecke von einem Kilometer Länge nach Süden hin an; dies entspricht einem mittleren, beobachteten Gefälle von 1 : 500 bzw. einem Anstiegswinkel von ca. 0,12°. Auf Grund der nachgewiesenen postsedimentären Hebungsprozesse des Hinterlandes, besonders ab dem Oberoligozän (Thierbacher Diskordanz; EISSMANN 1994) wird hier nicht das ursprüngliche mittlere Gefälle des Zwickau-Altenburger Flusssystems abgebildet, welches die Sedimente während des Eozäns anlieferte. Die zu dieser Zeit existierende Verebnungs- und Landoberfläche (prä- bis mitteleozäne „Initiale Rumpffläche"), auf der das Gebiet des heutigen Nordböhmens über das Weißelsterbecken entwässert wurde, wies mit hoher Wahrscheinlichkeit ein weitaus geringeres Gefälle auf (1 : 2000 und darunter; z. B. zum Vergleich theoretischer Gefällewert quartärer saalezeitlicher Flussablagerungen der Lausitz ca. 0,9 m/km, d. h. ca. 1 : 900, LIPPSTREU & STACKEBRANDT 2003; frühelsterzeitliche Saaleschotter zwischen Weißenfels und Elster-Luppe-Aue: 1 : 900, PIETZSCH 1962: S. 538). Wie für die quartären Aufschüttungsphasen (EISSMANN 1975: S. 201) kann angenommen werden, dass innerhalb dieses tertiären Flachreliefs für die lokale Richtung der Gewässer auf ihrem Weg nach Norden möglicherweise oft nur das seinerzeitige örtliche Primärrelief eine entscheidende Rolle spielte. Dieses wurde gegenüber der generellen Abdachung stark durch Zufallsprozesse (Subrosion, lokales Relief) bestimmt. Ab dem Mittleren Eozän ist dann mit differenzierten Hebungen dieses präexistenten Flachreliefs zu rechnen (PETEREK 2003).

Die mittlere Mächtigkeit des zwischen dem Bornaer Hauptflöz und dem Thüringer Hauptflöz ausgebildeten Sedimentmittels (GWL 4.2) beträgt im Untersuchungsgebiet 12,7 m (AUTORENKOLLEKTIV 1986–88). Dabei treten Schwankungen zwischen 1,5 m im Minimum und 35,3 m im Maximum auf (Abb. 6). Das Auftreten niedriger Mächtigkeiten ist häufig mit einer tonig-schluffigen Ausbildung des Zwischenmittels verbunden. So wird zwischen den Ortslagen Brösen und Großstolpen das Sedimentmittel durch eine „Toninsel" vertreten, die einen größeren Stillwasserbereich im obereozänen Flußsystem dieses Gebietes markiert. Das Hauptströmungsregime des obereozänen Flusssystems wird durch die sandige Fazies des Zwischenmittels fixiert. Diese liegt

Bild 5. Gesamtansicht des Übergangs zwischen der liegenden fluviatilen Serie mit Rinnenkörpern und darin eingelagerten fossilen Baumstämmen sowie der hangenden horizontalgeschichteten marin-ästuarinen Sedimentabfolge des Zwischenmittels. Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto JUNGE, Dezember 2000.

Pict. 5. Overall view of the transition between the subjacent fluvial series with channel bodies and fossil tree logs deposited in the channels, as well as the superjacent, horizontally bedded marine-estuarine sediment sequence of the interburden. Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: JUNGE, December 2000.

Bild 6. Detailausschnitt des Übergangs zwischen der liegenden fluviatilen Serie mit Rinnenkörpern und der hangenden horizontalgeschichteten marin-ästuarinen Sedimentabfolge des Zwischenmittels im Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto JUNGE, Juli 2001.

Pict. 6. Close-up section of the transition between the subjacent fluvial series with channel bodies and the superjacent, horizontally bedded marine-estuarine sediment sequence of the interburden in Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: JUNGE, July 2001.

beidseitig einer Nordnordwest verlaufenden Zone (Linie der Ortslagen Brösen–Obertitz–Langenhain), die durch reduzierte Sandmächtigkeiten bzw. durch das Auftreten von „Toninseln" gekennzeichnet ist und innerhalb des Untersuchungsgebietes nach Südosten und nach Nordwesten deutlich an Mächtigkeit zunimmt. Die im Meter-, wie auch im Kilometermaßstab beobachteten horizontalen Variabilitäten in der Mächtigkeit und Lithologie des Zwischenmittels sind Ausdruck einer hohen Dynamik im Flusssystem. Der beobachtete starke fazielle Wechsel (Ton, Schluff, Sand) zeugt von einem engen Nebeneinander von Stillwasserbereichen, aktiven Rinnen, Sandbarren im Ergebnis häufiger starker Wechsel des aktiven Stromstriches. Die Gesamtmächtigkeit des Sedimentmittels nimmt nach Norden deutlich ab (Abb. 7).

3.1. Lithologischer Aufbau und regionale Konnektierung des Flözmittels (Abbn. 8, 9; Bilder 5, 6, 7, 8; Tabelle 1)

Das untersuchte ca. 20 m mächtige Sedimentmittel (GWL 4.2) zwischen dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) im Liegenden und dem Thüringer Hauptflöz (Flöz III) im Hangenden lässt sich vom Liegenden zum Hangenden in vier lithologisch-geochemische Einheiten untergliedern:

- Ein bis maximal 2 m mächtiger Deckschluff des Bornaer Hauptflözes (Einheit I)
- Eine bis 10 m mächtige Abfolge von Schrägschichtungskörpern, die überwiegend aus feinsandigen Mittelsanden zusammengesetzt sind (Einheit I/IIu)
- Eine bis 8 m mächtige, überwiegend aus horizontalgeschichteten mittelsandigen Feinsanden aufgebaute Sandfolge (Einheit I/IIo) und
- Ein wenige cm mächtiger, z. T. fehlender Liegendton des Thüringer Hauptflözes.

Die u. a. von STEINBERG & STANGE (2001) durch die Anwendung der Sequenzanalyse mit Korngrößendifferenzierungen der Feldansprache herausgearbeitete Untergliederung des Sedimentmittels wird sowohl von den sedimentologischen Befunden als auch von den Ergebnissen der quantitativen Korngrößenanalyse bestätigt (Abb. 8). Letztere wurde an insgesamt 101 Proben (verteilt über vier Teilprofile, siehe Abb. 8) der Gesamtsequenz des Zwischenmittels durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen eine deutliche Zweiteilung der Sandabfolge in einen unteren, mehr fluviatil geprägten (Einheit I/IIu) und einen oberen, mehr marin-ästuarin geprägten Abschnitt (Einheit I/IIo; Bilder 5 und 6).

Die unmittelbar über dem Deckschluff des Bornaer Hauptflözes (Einheit I) lagernde fluviatil geprägte Sandabfolge **(Einheit I/IIu)** ist im Gegensatz zum oberen Teil des Zwischenmittels durch ein generell gröberes und wesentlich breiteres Kornspektrum ausgewiesen. Sie wird vom Auftreten sich gegenseitig abschneidender Schrägschichtungskörper (Rinnen mit Prall- und Gleithängen) geprägt, die zum Teil bis zehn Meter Durchmesser im Anschnitt erreichen können. Die Füllungen zeigen progressiven und degressiven Trend zu- bzw. abnehmender Korngröße, die von Feinsand über Mittel- bis Grobsand reichen. Mittel- und Grobsand bilden die Hauptkorngrößenfraktion der Einheit I/IIu (im Mittel $\sum$ ca. 76%), während Feinsand untergeordnet auftritt (im Mittel $\sum$ ca. 20%; Tabelle 1). Diese Daten stimmen mit den von DOLL (1982, 1984) angegebenen Werten zur Korngrößenverteilung des Zwischenmittelsandes S2M (G4) im Tagebau Groitzscher Dreieck überein (Feinsand: 7%, Mittelsand: 77%, Grobsand: 15%, Feinkies: 1%). Für den Zwischenmittelsand (S2M bzw. G4 bzw. GWL 4.2) charakteristisch ist das deutliche Überwiegen der Mittelsandfraktion (Tagebaue Schleenhain, Groitzscher Dreieck). Nach STEINBERG & STANGE (2001) besteht die fluviatil geprägte Sandabfolge (Einheit I/IIu) aus insgesamt 7 Schichtkomplexen, aufgebaut aus Korngrößengradierungs-Zyklen unterschiedlichen Energieniveaus. Das Feinsand/ Mittelsand-Verhältnis der Einheit I/IIu mit Werten < 1 zeigt das deutlich höhere Energieniveau dieser unteren, fluviatil geprägten Einheit an und lässt eine scharfe granulometrische Abtrennung zur hangenden Einheit I/IIo zu (siehe Abb. 8). Das Auftreten der fossilen Baumstämme ist ausschließlich an die fluviatil geprägte Sandabfolge (Einheit I/IIu) gebunden. Diese sind häufig an der Basis der fluviatilen Rinnenkörper zu finden und treten dort mitunter in massenhafter Anreicherung auf (Bild 7).

Der Übergang zur hangenden marin bis ästuarin geprägten Sandabfolge **(Einheit I/IIo)** ist durch einen markanten Wechsel in den sedimentologischen und granulometrischen Eigenschaften aus-

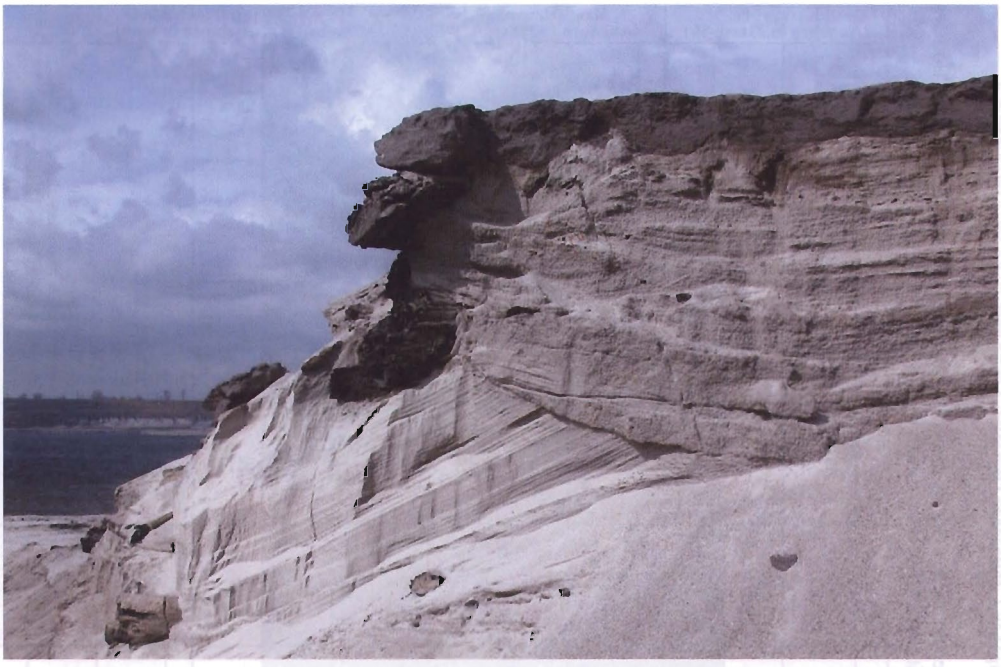


Bild 7. Aus der fluviatilen Folge am Stoß der Auswaschungsrinne I herausragende fossile Baumstämme in fossil-autochthoner Rinnenposition. Foto DOLEZYCH, April 2003.

Pict. 7. At the side wall of the erosion channel I fossil tree logs protruding from the fluvial sequence in fossil-autochthonous channel position. Photo: DOLEZYCH, April 2003.

gewiesen. Horizontal- und Rippelschichtung sowie Bioturbation kennzeichnen diesen bis 8 m mächtigen, oberen Teil des sandigen Zwischenmittels (Bild 8). Die Hauptkorngrößenfraktion dieser Einheit bildet der Feinsand (im Mittel ∑ ca. 65%), gefolgt vom Mittelsand (im Mittel ∑ ca. 26%). Grobsandanteile fehlen weitgehend. Mittel- und Feinsand sind im Gegensatz zur fluviatilen Einheit I/IIu konkurrierende Korngrößenfraktionen. Das Feinsand/Mittelsand-Verhältnis liegt deutlich über 1 und steigt zum Hangenden auf Werte größer 10 an (Abb. 8). Die Einheit I/IIo besteht nach STEINBERG & STANGE (2001) aus 7 granulometrisch unterscheidbaren Abschnitten, die durch Gradierungszyklen im Niedrigenergieniveau (Schluff über Feinsand bis maximal zum Mittelsand) ausgewiesen sind.

Interessant erscheint der sedimentologische Vergleich des in der vorliegenden Arbeit untersuchten Sedimentmittel aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck mit den im ca. 20 km nördlicher gelegenen Tagebau Espenhain gut untersuchten eozänen Sedimenten (JUNGE et al. 2001, 2002). Der untere Teil der aus dem Tagebau Espenhain beschriebenen und zwischen Bornaer Hauptflöz und Böhlener Oberflöz liegenden und im Tagebaubereich gut konnektierbaren Sedimentabfolge beginnt mit dem basalen Deckschluff (Einheit I). Darüber ist eine vielgliedrige, im ästuarinen Milieu abgesetzte fluviatile Sequenz (Einheit I/II) entwickelt. Sie wird dokumentiert durch die wechselnde Verzahnung von fluviatilen Deltasanden in Form schräggeschichteter, grobsandiger Mittelsande, von Schluffen z. T. mit Pflanzenhäcksel und von horizontalgeschichteten Feinsanden mit Bioturbationsmerkmalen („Hainer Folge"). Überdeckt wird die Einheit I/II von einem kohligen Schluff bzw. einem geringmächtigen Flöz (Einheit II). Dieses wird als Äquivalent des im Süden abbauwürdigen Thüringer Hauptflözes (Flöz III) angesehen. Über diesem sind im flachmarinen Milieu abgesetzte schluffig-feinsandige Sedimente entwickelt (Einheiten III, IV, V; „Domsener Folge"). Sie bilden die Basis des Böhlener Oberflözes (Flöz IV). Vergleichbare Ergebnisse im Aufbau des zwischen Bornaer Hauptflöz und Böhlener Oberflöz im nördlichen Teil des Weißelster-

Tabelle 1

Statistische Maßzahlen der granulometrischen und geochemischen Kenngrößen der sedimentologisch-geochemischen Einheiten des Sedimentmittels zwischen Bornaer (Flöz II) und Thüringer Hauptflöz (Flöz III) im Tagebau Groitzscher Dreieck.

Table 1

Statistics of the granulometric and geochemical parameters for the sedimentological and geochemical units of the sediment burden located between the Bornaer (seam II) and Thuringia main seams (seam III) in Groitzscher Dreieck open-cast mine.

	n	Ton+Schluff	Feinsand	Mittelsand	Grobsand	Feinkies	Mittelkies	Grobkies				Korngröße (Angaben in Masse-%)
Einheit I/IIo (marin)	53	**7,26** *9,62* 0,32…30,89	**64,71** *64,06* 38,80…88,75	**23,23** *26,10* 1,02…54,64	**0,05** *0,22* 0,00…3,61	**0,00** *0,00*	**0,00** *0,00*	**0,00** *0,00*				
Einheit I/IIu (fluviatil)	45	**1,60** *3,72* 0.16…21,35	**18,36** *19,85* 1,69…84,19	**44,52** *44,39* 13.85…84,19	**22,90** *32,04* 0,79…81,70	**0,00** *0,00*	**0,00** *0,00*	**0,00** *0,00*				
Einheit I (Deckschluff)	3	**>90**										
	n	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	MgO (%)	K_2O (%)	Na_2O (%)	CaO (%)	Fe_2O_3 (%)	TiO_2 (%)	P_2O_5 (ppm)	LOI (%)	S (%)
Einheit I/IIo (marin)	53	**92,73** *92,10* 71,36…99,42	**3,58** *4,18* 0,79…14,83	**0,05** *0,06* 0.01…0,18	**0,36** *0,40* 0,10…1,15	**0,05** *0,05* 0,02…0,15	**0,04** *0,05* 0,02…0,22	**0,38** *0,45* 0,18…1,10	**0,78** *0,83* 0,08…1,64	**180** *185* 50…420	**1,65** *2,32* 0,00…9,55	**0,13** *0,19* 0,02…1,58
Einheit I/IIu (fluviatil)	45	**97,02** *92,72* 46,67…99,64	**1,86** *3,48* 0,68…29,25	**0,03** *0,04* 0,00…0,38	**0,18** *0,30* 0,05…2,05	**0,03** *0,04* 0,01…0,19	**0,04** *0,07* 0,02…0,33	**0,28** *0,44* 0,12…2,05	**0,33** *0,56* 0,05…1,98	**110** *161* 20…680	**0,00** *2,83* 0,00…34,2	**0,07** *0,22* 0,02…1,58
Einheit I (Deckschluff)	3	**51,99** *63,65* 42,79…96,16	**26,52** *19,18* 1,72…29,30	**0,41** *0,28* 0.03…0.42	**1,94** *1,49* 0,17…2,37	**0,23** *0,16* 0.02…0,23	**0,23** *0,33* 0,03…0,75	**1,20** *0,98* 0,30…1,43	**1,72** *1,27* 0,16…1,91	**720** *523* 100…750	**12,63** *13,02* 2,44…23,98	**0,16** *0,26* 0,15…0,46
	n	**As** (ppm)	**Ba** (ppm)	**Cr** (ppm)	**Cu** (ppm)	**Ga** (ppm)	**Mn** (ppm)	**Nb** (ppm)	**Ni** (ppm)	**Pb** (ppm)	**Rb** (ppm)	**Sr** (ppm)
Einheit I/IIo (marin)	53	**3,0** *3,8* <2…11	**132** *140* 53…301	**40** *42* 14…87	**3,0** *3,5* <3…39	**5,0** *5,5* <3…15	**45** *44* <10…80	**15** *17* 2,0…36	**6,0** *6,4* <5…15	**8,0** *8,9* <2…22	**16** *19* 4,0…58	**15** *17* 5,0…44
Einheit I/IIu (fluviatil)	45	**2,0** *3,2* <2…10	**87** *122* 38…585	**25** *37* <10…200	**<3** *3,0* <3…16	**3,0** *4,9* <3…43	**30** *36* <10…138	**6,0** *12* <2…42	**5,0** *6,5* <5…35	**6,0** *8,6* 2,0…41	**9,0** *16* 2,0…146	**10** *17* 4,0…108
Einheit I (Deckschluff)	3	**8,0** *7,3* 6.0…8,0	**583** *473* 94…742	**86** *66* 20…91	**15** *15* <3…27	**43** *34* 4,0…54	**53** *43* 15…60	**40** *31* 5,0…48	**30** *23* <5…35	**46** *35* 6,0…53	**121** *97* 14…156	**121** *93* 10…148
	n	**Sn** (ppm)	**Th** (ppm)	**U** (ppm)	**V** (ppm)	**W** (ppm)	**Y** (ppm)	**Zn** (ppm)	**Zr** (ppm)			
Einheit I/IIo (marin)	53	**16** *17* <2…38	**6,0** *7,1* <2…21	**2,0** *2.0* <2…6,0	**15** *16* <5…43	**3,0** *3,0* <2…7,0	**19** *22* <2…55	**9,0** *9,5* 4,0…34	**583** *637* 53…1548			
Einheit I/IIu (fluviatil)	45	**11** *24* <2…190	**3,0** *6,1* <2…25	**<2** *<2* <2…7,0	**13** *19* <5…117	**<2** *2,6* <2…8.0	**10** *18* <2…83	**7,0** *8,7* 3,0…33	**234** *525* 45…2349			
Einheit I (Deckschluff)	3	**12** *12* 9…15	**9,0** *9,0* 4,0…14	**<2** *<2* <2…2.0	**128** *99* 10…160	**9,0** *7,3* <2…12	**20** *16* 3.0…22	**28** *23* 6,0…36	**193** *182* 151…203			

Spurenelemente (Angaben in ppm)

Erläuterungen:

- **Median**
- *Mittelwert*
- Minimum … Maximum

Unterstrichen ist die jeweilige Einheit mit dem höchsten mittleren Elementgehalt.

LOI … Glühverlust bei 1100 °C.

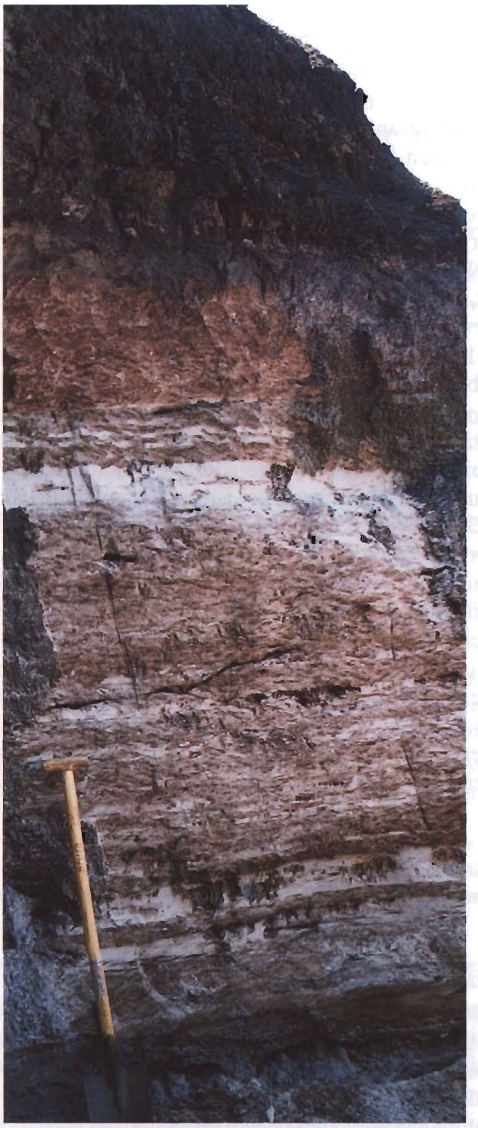


Bild 8. Der obere Abschnitt des Zwischenmittels: Die durch Horizontal- und Rippelschichtung sowie Bioturbationsmerkmale gekennzeichnete marin-ästuarine Sedimentabfolge an der Basis des Thüringer Hauptflözes im Tagebau Groitzscher Dreieck (Teilprofil 1 in Abb. 8). Foto JUNGE, Juli 2001.

Pict. 8. The upper section of the interburden: marine-estuarine sediment sequence at the basis of the Thuringia main seam in Groitzscher Dreieck open-cast mine, characterised by horizontal and ripple bedding as well as by bioturbation features (Partial profile 1 in fig. 8). Photo: JUNGE, July 2001.

beckens gelegenen Sedimentmittels werden ebenfalls durch die Arbeiten von STANDKE (1997, 2001; Tagebaue Witznitz, Bockwitz), WENNRICH (2001; Tagebau Zwenkau) und BREMER (1992; Tagebau Cospuden) dokumentiert.

Versucht man eine Konnektierung der in dieser Arbeit untersuchten Sedimentabfolge zwischen dem Bornaer und Thüringer Hauptflöz (GWL 4.2) aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck mit den sedimentologisch-lithologisch gut untersuchten und nach verschiedenen Methoden konnektierten

Profilen aus dem nördlichen Teil des Weißelsterbeckens (JUNGE et al. 2002, NESTMANN 2004), so ist eine Parallelisierung mit der fluviatil-ästuarinen Einheit I/II („Hainer Folge") aus dem Tagebau Espenhain und ihren in JUNGE et al. (2001) beschriebenen Äquivalenten aus den benachbarten Tagebauen hochwahrscheinlich. Eine mögliche Konnektierung ist in Abb. 9 aufgezeigt. Für sie sprechen die geologisch-stratigraphische Position (Liegendes des Thüringer Hauptflözes), der vergleichbare sedimentologisch-lithologische Aufbau und die Gemeinsamkeiten in den geochemischen Eigenschaften.

Die untersuchte Sedimentabfolge (GWL 4.2) aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck zeigt mit ihrer lithologischen Untergliederung in einen unteren stark differenzierten überwiegend fluviatil geprägten Teil (Einheit I/IIu) und einen oberen mehr flachmarine bis ästuarine Verhältnisse widerspiegelnden Abschnitt, dass ein erstes Vordringen der Urnordsee in den zentralen Bereich des Weißelsterbeckens schon vor der Ablagerung des Thüringer Hauptflözes gegeben war (entspricht HST1 in JUNGE et al. 2001: Tabelle 4). Ein wichtiges Indiz für den Einfluss der Urnordsee im zentralen Teil des Weißelsterbeckens ist das geringe Gefälle zu dieser Zeit bei geringen Schwankungen des Meeresspiegelniveaus. Salz- und Brackwässer drangen dabei zungenartig in die Buchten der stark gegliederten eozänen Küstenlandschaft bis weit in das Hinterland vor und erreichten somit schon zur Hauptflözbildungszeit lokal schon Teile des südlichen Weißelsterbeckens. Die auf Grund geringer Schwankungen im Meerespiegel verursachten, mehrfach erfolgten Überflutungen des Hinterlandes mit Brackwasser beschränkten sich auf Buchten bzw. Flussmündungen und -täler und sind deshalb schwierig zu parallelisieren. Sie sind häufig auf den unmittelbaren Liegendbereich des Thüringer Hauptflözes beschränkt. Im Ergebnis entstanden Sedimente mit einer engen Verzahnung fluviatiler und marin-ästuariner Fazies. Neben den Ergebnissen aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck zeigen dies besonders eindrucksvoll die Profile aus dem Südteil des Tagebaus Espenhain (Profile EEsp und DisE; JUNGE et al. 2002). Die erste größere Ingression der Urnordsee überflutete weite Teile des Weißelsterbeckens nach der Hauptflözbildung („Domsener Folge"; HST2 und 3 in JUNGE et al. 2001: Tabelle 4). Die Haupttransgression der Urnordsee mit Fossiliennachweis und fazieller, mariner Differenzierung fand hingegen erst im Unteroligozän nach Ablagerung des Böhlener Oberflözes statt (Rupeltransgression; EISSMANN 2004, 2002, 1994; STANDKE 2001).

3.2 Geochemische Charakteristik des Flözmittels (GWL 4.2) und seiner lithologischen Einheiten (Abb. 10, Tabelle 1)

Die statistischen Maßzahlen der mittels Röntgenfluoreszenzmethode untersuchten Haupt- und Spurenkomponenten (nähere Angaben zur Methode siehe JUNGE et al. 2001) sowie der granulometrischen Kenngrößen in den lithologisch-sedimentologischen Einheiten des Sedimentmittels zwischen Bornaer und Thüringer Hauptflöz (GWL 4.2) aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Das untersuchte Flözmittel aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck weist einen hohen geochemischen Reifegrad im Ergebnis intensiver chemischer Verwitterungsprozesse auf. Dieser wird in einer weitgehenden Verarmung der Sedimente an den meisten Spuren- und Hauptelementen gegenüber dem Clarke deutlich (WEDEPOHL 1995; Abb. 10). Die bei chemischen Verwitterungsprozessen besonders mobilen Elemente (Alkalien und Erdalkalien) sind gegenüber dem Clarke bis auf das 100-fache abgereichert. Hingegen zeigen die an die Schwermineralfraktion gebundenen Elemente (z. B. Zr, U, As, W, Sn, SiO_2) eine Anreicherung infolge der sedimentären Umlagerungsprozesse sowie auf Grund ihrer Bindungsverhältnisse und Resistenz gegenüber chemischen Verwitterungsprozessen. Die untersuchten eozänen Sedimentmittel unterschiedlicher Lokalitäten (Tagebaue Espenhain, Groitzscher Dreieck) zeigen dabei ähnliche Verläufe und dokumentieren damit einen vergleichbaren Verwitterungsgrad. Demgegenüber weist die zum Vergleich herangezogene, glazifluviatile Sedimentfolge des Elsterglazials („Wachauer Folge", HOFFMANN & EISSMANN 2004) eine deutlich geringere Elementfraktionierung gegenüber dem Clarke auf. Dies wird als größere Beeinflussung durch physikalische Verwitterungsprozesse interpretiert (KROONENBERG et al. 1990).

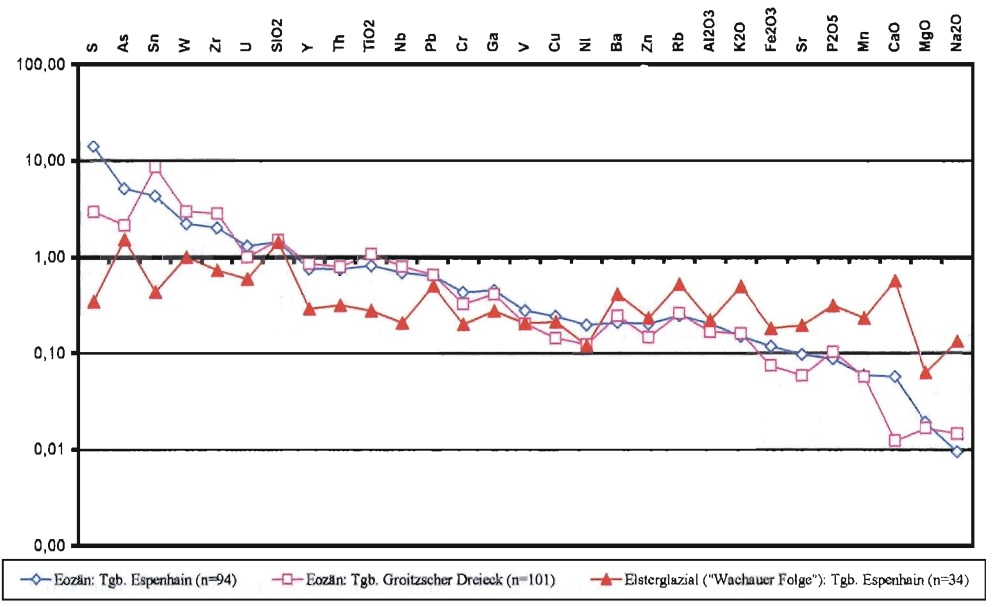


Abb. 10. Mittlere An- und Abreicherungsfaktoren der Haupt- und Spurenelemente des obereozänen Sedimentmittels (GWL 4.2) aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck gegenüber dem CLARKE-Wert der kontinentalen Kruste nach WEDEPOHL (1995).
(Zum Vergleich sind die entsprechenden Faktoren des (a) obereozän-unteroligozänen Zwischenmittels (Flöz II/Flöz IV) aus dem Tagebau Espenhain (JUNGE et al. 2001, 2002) und der (b) elstereiszeitlichen glazifluvialen Sedimente der „Wachauer Folge" aus dem Tagebau Espenhain dargestellt.)

Fig. 10. Average upgrading and depletion factors of the main and trace elements of the Upper Eocene sediment sequence (GWL 4.2) originating from Groitzscher Dreieck open-cast in relation to the CLARKE value of the continental crust according to WEDEPOHL (1995).
(For comparison, the related factors of (a) the Upper Eocene / Lower Oligocene interburden (seam II / seam IV) gathered from Espenhain open-cast mine (JUNGE et al. 2001, 2002) and the (b) Elsterian glacifluvial sediments of "Wachauer Sequence" gathered from Espenhain open-cast are given here.)

3.3. Teilzusammenfassung Sedimentmittel (Lithologie, Konnektierung, Geochemie)

- Das in der Mächtigkeit und Auflagehöhe auf Grund subrosiver Prozesse stark schwankende obereozäne Sandmittel (GWL 4.2) zwischen dem Bornaer und Thüringer Hauptflöz gliedert sich nach den lithologisch-sedimentologischen Befunden im Tagebau Groitzscher Dreieck in zwei Abschnitte: in eine untere, mehr fluviatil geprägte Sandabfolge (Rinnenkörper mit schräggeschichteten Mittel- bis Grobsandfüllungen und darin zahlreich eingelagerten fossilen Baumstämmen) und in eine obere, marin bis ästuarin geprägte Abfolge parallel- und rippelgeschichteter Feinsande mit teilweiser Bioturbation.
- Im Aufbau des Sandmittels werden erste marine Einflüsse der Urnordsee auf die Sedimentation im zentralen Weißelsterbecken zur Hauptflözbildungszeit deutlich. Sie dokumentieren ein wiederholtes, zungenartiges Eindringen von Brackwässern der Urnordsee in die Buchten und Flussmündungen der vielgliedrigen eozänen, flachen Ästuar- und Küstenlandschaft des Weißelsterbeckens. Im Ergebnis entstanden Sedimente, die eine enge Verzahnung fluviatiler und marin-ästuariner Fazies belegen.
- Auf Grund seiner geologisch-stratigraphischen Position und seiner lithologisch-sedimentologischen Merkmale ist eine Konnektierung des untersuchten Sedimentmittels (GWL 4.2) aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck mit der fluviatil-ästuarinen Einheit I/II (JUNGE et al. 2001, 2002) des obereozänen Sedimentmittels aus dem Tagebau Espenhain möglich.
- Die Sedimente des Zwischenmittels zeichnen sich durch einen hohen geochemischen Reifegrad im Ergebnis intensiver chemischer Verwitterungsprozesse aus.

4. Untersuchungen an fossilen Baumstämmen aus dem fluviatilen Abschnitt des obereozänen Sedimentmittels (GWL 4.2) im Tagebau Groitzscher Dreieck

4.1. Zum fluvialen Transport und zur Einregelung rezenter und fossiler Hölzer (Tafel I; Bilder 9, 10)

Unter Totholz („woody debris") versteht man abgestorbene Holzbestandteile (z. B. umgestürzte Bäume, abgebrochene Äste, Wurzelstöcke) im rezenten bis subrezenten Bereich. Hier ist es wichtiger Lebensraum und Strukturelement natürlicher Fließgewässer und seit einigen Jahren auch Objekt gewässerökologischer Untersuchungen (HERING et al. 2000, HERING & REICH 1997, LANCASTER et al. 2002; siehe auch Ergebnisse der ersten internationalen Tagung „Wood in World Rivers" in Oregon 2000). Der Totholzanteil ist in rezenten und subrezenten Flusssedimenten allgegenwärtig, allerdings auf Grund der anthropogenen Landschaftsnutzung im Vergleich zum Bewaldungsgrad reduziert. In geologischen Zeiträumen spricht man von fossilen bzw. subfossilen, je nach Erhaltungsgrad auch von verkieselten Hölzern. Im fluviatilen Milieu geologischer Zeiträume, insbesondere der warmklimatischen Abschnitte des Känozoikums sind fossile Holzbestandteile gesuchte Forschungsobjekte der Paläoklimatologie und Basis für die radiometrische und dendrochronologische Altersdatierung. Ihr Auftreten ist dabei vor allem auf Grund von organischen Abbauprozessen (Oxydation, bakterielle Zersetzung) minimiert.

Die Erhaltung von Totholz bzw. fossilen Hölzern unterschiedlicher Größe (man unterscheidet im rezenten Bereich: grobes Totholz bzw. „large woody debris", z. B. Stamm, dicker Ast, Wurzelstock mit Durchmesser ≥ 10 cm; und feines Totholz bzw. „fine wood", z. B. dünner Ast, dünner Stamm mit Durchmesser 1 cm bis 10 cm entsprechend der Klassifikation nach KAIL & GERHARD 2003) ist in Mitteleuropa aus fast allen geologischen Zeitabschnitten des Känozoikums bekannt (Zusammenstellung von Literatur zu fossilen Gymnospermenhölzern siehe SCHULTZE-MOTEL 1964, 1962 a, b). Als Beispiele aus Zentraleuropa (Tafel I) hierfür seien genannt: fluviatile und limnisch-lakustrine Sedimente des Spätglazials und Holozäns (KÜHNER et al. 1999, BÖTTGER et al. 2002 a, HILLER et al. 1991, BECKER 1983, 1982, BECKER et al. 1989, VOLLBRECHT & WIRTZ 2002, LEUSCHNER et al. 1985), des Weichselglazials (HILLER et al. 2004, 1991, LANGE et al. 1984), der quartären Interstadial- und Interglazialabschnitte, sowie des gesamten Tertiärs (z. B. Pliozän: FRIELINGSDORF 1992, VAN DER BURGH 1978; Miozän: DOLEZYCH 2005, DOLEZYCH et al. 2001, STREIT 1984, STRIEGLER & STRIEGLER 1984, GREGUSS & HEERDT 1962, ROSELT & FEUSTEL 1960, LUDWIG & HEERDT 1959, HINTZE 1934, 1935; Oligozän: PÖPPELREITER 1992, SUESS et al. 1990; Eozän: SPELTER 1955; TEUMER 1922; Tafel I). Insbesondere in den Sedimenten des Paläogens und Neogens (Braunkohle, Flusssande) können Holzfloren sowie Ansammlungen fossiler Hölzer in großen Mengen aber dabei weniger häufig in guter Erhaltung gefunden werden. Meist handelt es sich um zusammengeschwemmte Stämme, die durch ein plötzliches Ereignis ihren ursprünglichen Standort verloren haben. MAI (1995) führt als mögliche Ursachen Hochwässer an, die die Ufer unterspülen können und so die Bäume wegreißen (z. B. SUESS et al. 1990). Aber auch an Stürme oder Windhosen muss gedacht werden, die lokal zu einem katastrophalen Windbruch führen können. Fossil sind die Schäden durch diese Ereignisse direkt nur selten nachweisbar (z. B. HINTZE 1935).

Beschreibungen von Massenansammlungen fossilen Holzes sind hingegen eher selten. International bekannt und benannt sind Häufungen im Auftreten fossiler Hölzer durch die sogenannten „forest beds" unterschiedlicher Altersstellungen, so z. B. der triassischen „Petrified forests" Nordamerikas (RÖSSLER 1996; Bild 9), der altquartären „Cromerian forest beds" an der Ostküste Englands (WEST & WILSON 1966) oder der eemzeitlichen „Eva Interglaciation forest bed" Alaskas (PÉWÉ et al. 1997). Im känozoischen Lockergebirge Ostdeutschlands werden z. B. von SPELTER (1955, S.48) aus dem Tagebau Phönix bei Meuselwitz in Sanden über dem Thüringer Hauptflöz Anreicherungen von Xylitstämmen erwähnt, die „fast ausschließlich in einem Horizont vorkommen" und auf Hochwässer zurückgeführt werden können. Bedeutsame Massenansammlungen fossiler Hölzer wurden ebenfalls bei den archäologischen Grabungen im Tagebau Reichwalde freigelegt. Dabei handelte es sich um im Mittel 80 Jahre alte, spätglaziale Kiefern, die in Form noch wurzelnder Kiefernstubben und dazugehörigen bis zu 10 m langen Stämmen erhalten waren und

auf einer Fläche von ca. 5000 m² freigelegt werden konnten (VOLLBRECHT & WIRTZ 2002). Insgesamt stellen diese Vorkommen allerdings eher eine Ausnahme dar.

Quantitative Abschätzungen zum Auftreten von fossilen Hölzern in Paläoflusssystemen liegen bisher nur wenige vor. Häufigkeitsmaxima im zeitlichen Auftreten fossiler Holzbestandteile (Baumstämme) sind vor allem aus holozänen Flusssedimenten bekannt und bilden die Grundlage

---

Tafel I. (S. 212–213) Beispiele von Funden fossiler Hölzer im känozoischen Lockergebirge Mittel- und Ostdeutschlands.

I-1: Ein im Juli 2005 in parautochthoner Position ca. 3 m unter Flur im holozänen Auelehm gefundener, ca. 7 m langer und bis 1,2 m starker Eichenholzstamm aus der Bronzezeit (Zeitraum ca. 500 bis 1800 vor Chr.). Temporäre Baugrube in Leipzig-Mitte („Kleine Funkenburg"; Ecke Thomasiusstraße/Jahnallee). Foto: BAUDENBACHER, Juli 2005.

I-2: Ein weitringiger, 92 Jahrringe umfassender Eichenholzstamm als Zeuge aus der Zeit der 21. Dynastie der ägyptischen Pharaonen (Herrschaftszeit von Osorkon I. bis Scheschong III.). Dendrochronologische Analyse des Stammes: Wachstumsbeginn 920 v. Chr., Sterbedatum 828 v. Chr. (Angaben nach HEUSSNER, Berlin; Probenummer 37653). Gefunden wurde er im holozänen Auelehm des Tagebaus Cospuden. Foto: RUDOLPH, Januar 1998.

I-3: Kiefernstämme, Spätglazial (Alleröd; Zeitraum ca. 11000 bis 11800 v. h.). Tagebau Reichwalde (Niederlausitz). Foto: VOLLBRECHT, 1998.

I-4: Wurzelstock, Spätglazial (Alleröd; Zeitraum ca. 11000 bis 11800 v. h.). Tagebau Reichwalde (Niederlausitz). Foto: EISSMANN, 2000.

I-5: Kiefernstämme, Spätglazial (Jüngere Dryas; Radiokarbonalter des vorderen Stammes: 10130 ± 80 Jahre BP). Tagebau Cottbus-Nord (Niederlausitz). Foto: HILLER, 1995.

I-6: Stamm, Thierbacher Schichten (Oberoligozän; Zeitraum ca. 24 bis 28 Millionen Jahre). Tagebau Witznitz. Foto: JUNGE, Juni 1999.

I-7: Treibholz, Phosphoritknollenhorizont (Unteroligozän; Zeitraum ca. 29 bis 32 Millionen Jahre). Tagebau Espenhain. Foto: BAUDENBACHER, 1995.

I-8: Kieselhölzer am Naturkundemuseum Leipzig, Unteroligozän (Zeitraum ca. 29 bis 32 Millionen Jahre). Tagebau Espenhain. Foto: BAUDENBACHER, 1993.

I-9: Verkieselter Baumstubben, Böhlener Oberflöz (Unteroligozän; Zeitraum ca. 29 bis 32 Millionen Jahre). Tagebau Espenhain. Foto: JUNGE, April 1999.

I-10: Wurzelstock im Sandmittel zwischen Bornaer und Thüringer Hauptflöz, Obereozän (Zeitraum ca. 35 bis 37 Millionen Jahre). Tagebau Peres. Foto: EISSMANN, 1993.

Plate I. (p. 212–213) Examples of finds of fossil wood in Cenozoic unconsolidated deposits of Central and East Germany.

I-1: Parautochthoneous trunk of Bronze age (period 500 to 1800 BC) with a length of appr. 7 m and a diameter up to 1,2 m situated appr. 3 m below surface in Holocene fload plain in a temporary open cut of Leipzig city („Kleine Funkenburg", cross between Thomasius street and Jahnallee). Photo: BAUDENBACHER, July 2005.

I-2: A 92 year old trunk with high tree ring width as contemporary witness of the 21th Egyptian dynasty (rulerships of Osorkon I. to Scheschong III.). Dendrochronological analysis of the trunk: begin of growing: 920 BC, deathly date: 828 BC (results after HEUSSNER, Berlin; sample nb. 37653). Trunk was excavated from Holocene fload plain of open cast lignite mine Cospuden. Photo: RUDOLPH, January 1998.

I-3: Pine logs, Lateglacial (Alleröd; period 11000 to 11800 years BP). Reichwalde open-cast mine (Niederlausitz). Photo: VOLLBRECHT, 1998.

I-4: Rootstock, Lateglacial (Alleröd; period 11000 to 11800 years BP). Reichwalde open-cast mine (Niederlausitz). Photo: EISSMANN, 2000.

I-5: Pine logs, Lateglacial (Younger Dryas; radiocarbon age of the trunk in the front: 10130 ± 80 years BP). Cottbus-Nord open-cast mine (Niederlausitz). Photo: HILLER, 1995.

I-6: Trunk, Thierbach layers (Upper Oligocene; period 24 to 28 million years). Witznitz open-cast mine. Photo: JUNGE, June 1999.

I-7: Drift wood, phosphorite nodule horizon (Lower Oligocene; period 29 to 32 million years). Espenhain open-cast mine. Photo: BAUDENBACHER, 1995.

I-8: Siliceous tree stumps at Leipzig Museum of Nature Science, Lower Oligocene (period 29 to 32 million years). Espenhain open-cast mine. Photo: BAUDENBACHER, 1993.

I-9: Siliceous tree stump, Böhlen upper seam (Lower Oligocene; period 29 to 32 million years). Espenhain open-cast mine. Photo: JUNGE, April 1999.

I-10: Rootstock in the sand burden between Borna and Thuringia main seam, Upper Eocene (period 35 to 37 million years). Peres open-cast mine. Photo: EISSMANN, 1993.

Tafel I

Tafel I

Bild 9. In „Holztrommeln" zerfallene Stämme aus der triassischen Chinle-Formation in einer mit den Hinterlassenschaften der Braunkohletagebaue vergleichbaren Landschaft. Petrified Forest, Arizona (USA). Foto: EISSMANN, September 1998.

Pict. 9. Trees divided in "woody drums" from the triassic Chinle formation in an open-cast mine like landscape. Petrified Forest, Arizona (USA). Photo: EISSMANN, September 1998.

für die Dendrochronologie. Sie korrespondieren mit verstärkten Rodungsphasen des vor- und frühgeschichtlichen Menschen bzw. werden mit dem vermehrten Auftreten von Hochwasser- und/oder Sturmereignissen innerhalb dieser Zeitabschnitte in Zusammenhang gebracht (z. B. BECKER et al. 1989, BECKER 1983, LEUSCHNER et al. 1985).

In diesem Zusammenhang verdient die selektive Erhaltung fossiler Hölzer Beachtung. Die in der Vergangenheit besonders vertretene Meinung, dass Nadelhölzer vorwiegend an der Kohlenbildung beteiligt sind, ist auf die erhöhte Häufigkeit dieser in den Kohleflözen zurückzuführen. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass sie auf Grund ihrer Harzführung durch Fäulnisbakterien und andere zersetzend wirkende Organismen stärker geschützt sind als die Laubgehölze (FRENZEL 1985, 1987). Von diesen lassen sich aber relativ häufig Eichen *(Quercus)* und Lauraceen nachweisen, deren Holz ebenfalls durch bestimmte Inhaltsstoffe vor Befall geschützt wird (z. B. MÜLLER-STOLL 1947, MAI 1995). Zu den Belegen von Holzfloren gehören auch die sog. Stubbenhorizonte, die häufig im Hangenden von Kohlenflözen auftreten (z. B. in Tagebauen des Weißelsterbeckens innerhalb des Flöz IV; SCHÖNFELD 1955; EISSMANN 2004). Dabei können sie mehr oder weniger stark petrifiziert (verkieselt) sein (BELLMANN et al. 1981) oder aber als inkohltes Holz vorliegen. Sie stellen den fossilen Waldboden dar und sind hervorragende Belege für eine autochthone Taphozönose. Meist werden die Stubben als *Taxodioxylon gypsaceum* (GOEPPERT) KRAEUSEL bestimmt. Ein Vergleich mit rezenten Vertretern von Cupressaceae s. l. nach LI (1953) erscheint schwierig. So können diese Stubben zu verschiedenen fossilen Formarten von Koniferen gehören, wie z. B. zu *Quasisequoia couttsiae* (HEER) KUNZMANN. Nach VAN DER BURGH und MEIJER (1996) muss *Taxodioxylon gypsaceum* als eine stark variierende polyphyletische Art angesehen werden.

Im Raum von Nordwestsachsen sind Hölzer aus der Braunkohle und ihren Begleitgesteinen schon früh von verschiedenen Lokalitäten bekannt gewesen. So schreibt GLÄSEL (1955), dass be-

reits 1743 im heutigen Stadtgebiet von Leipzig (Nähe des Johannistales) in der ehemaligen Ratskiesgrube auf Baumstämme von „gagatartiger" (bituminöse Braunkohle) Beschaffenheit hingewiesen wird. Über den Erhaltungszustand berichtet man, dass er teilweise so gut gewesen sei, dass sich das Holz „einigermaßen hobeln ließ und dann eine schöne Maserung zeigte". Diese Funde waren mit der Anlass für einen bescheidenen Abbau von Kohle aus dem Oberoligozän in der Zeit von 1786 bis etwa 1818 in der oben genannten Grube. Später weist ENGELHARDT (1870) in seiner „Flora der Braunkohlenformation im Königreich Sachsen" auf verschiedene Holzfunde hin, ohne dass es dabei zu detaillierten Bestimmungen kommt. Eingehende taxonomische Untersuchungen an verkieselten Hölzern aus der Kohle des unteroligozänen Böhlener Oberflözes (Flöz IV) verdanken wir z. B. SCHÖNFELD (1955). 1 bis 2 m unterhalb der Oberkante des Flözes treten hier im Abstand von 5 bis 50 m senkrecht stehende Stubben mit Durchmessern von 0,5 bis 2 m (maximal bis 3,5 m) auf, die Höhen zwischen 0,5 bis 2 m aufweisen. Im Süden des Tagebaues Böhlen fanden sich teilweise sehr dicht stehende verkieselte Stubben und 30 bis 40 m, maximal bis 70 m (!) lange Stämme unmittelbar auf dem Böhlener Oberflöz (EISSMANN 2004). Aus dem Bitterfelder Raum wird eine interessante taphonomische Studie über das Vorkommen und die möglichen Ursachen eines „umgebrochenen miozänen Braunkohlenwaldes ..." von HINTZE (1934) vorgelegt. Sie schließt sich an die bemerkenswerten Untersuchungen an Stubbenhorizonten und Stämmen aus Braunkohlengruben des Senftenberger Reviers an (TEUMER 1922). Die Bestimmung dieser Hölzer erfolgte durch RICHARD KRÄUSEL aus Frankfurt a. M. KIRCHHEIMER (1937) gibt eine Zusammenfassung über das Vorkommen von „Hölzern, Rinden und Borken" im Deutschland von 1937. Hinweise über „Lignit"-Vorkommen und Stubbenfunde aus dem Oligozän besonders des Leipziger Raumes finden sich bei PIETZSCH (1951, 1956, 1962).

Die Frage, warum in den 40iger bis 90iger Jahren des vergangenen Jahrhunderts relativ wenige xylotomische Arbeiten vorliegen, hat ihre wesentliche Ursache in der sehr schnellen Abbautechnik der Tagebaue. Langzeitige Untersuchung oder auch Bergungen von größeren Belegen (z. B. Stubben) waren bis auf seltene Ausnahmen nicht möglich. Dazu kommt noch, dass gerade Hölzer nicht im Mittelpunkt der tertiärbotanischen Forschung standen und mehrfach Untersuchungen außerhalb Deutschlands mehr Interesse versprachen. Nicht viel anders waren die Verhältnisse im westlichen Deutschland. Aus dem Neogen des Niederrheinischen Braunkohlengebietes waren es vor allem GOTHAN (1911) und JURASKY (1928, 1930), die sich systematisch mit Hölzern beschäftigten. Erst längere Zeit nach dem zweiten Weltkrieg finden sich eine Reihe bemerkenswerter Publikationen, von denen neben WEYLAND & SCHÖNFELD (1958) besonders die systematischen Arbeiten von VAN DER BURGH (1964, 1973, 1978) Beachtung verdienen. Mehr taphonomisch und vegetationsanalytisch ausgerichtet sind die Untersuchungen der Tübinger Schule z. B. MOSBRUGGER et al. (1991, 1994) und FIGUEIRAL et al. (2002). Aus der untermiozänen Braunkohle der Oberpfalz (z. B. Tagebau Murnweihler b. Schwandorf) liegt von JUNG (1972) eine taphonomische Studie über die Verteilung und die Maße von Stubben und Stämmen vor. Wie so oft, hat auch bei den in vorliegender Studie vorgestellten Massenfunden von Tothölzern aus dem Obereozän des ehemaligen Tagebaues Groitzscher Dreieck der Zufall eine wichtige Rolle gespielt.

Gegenüber den Befunden subrezenter und geologischer Zeiträume liegen für rezente Bildungsräume fundiertere Erkenntnisse über die Verbreitung von Totholz vor. So sind aus rezenten Flusssystemen Mitteleuropas erste quantifizierbare Daten zur Verbreitung von Totholz bekannt (HERING et al. 2000). Sie zeigen, dass grobes Totholz in den rezenten Flüssen zwischen Norddeutschem Tiefland und den Alpen mit einer Häufigkeit, die als Quotient von Totholz-Volumen pro 100 m^2 Flussbodenfläche bzw. pro 100 m Flusslänge angegeben wird, von 0,202 m^3/100 m^2 Flussbodenfläche bzw. 1,44 m^3/100 m Flusslänge auftritt. Dies entspricht im Mittel einem Nachweis von 12,5 Baumstämmen mit einem Durchmesser von ≥ 10 cm pro 100 m Flusslänge. Für das Auftreten von stehenden Wurzelstöcken im Fluss ergeben sich die folgenden Datenerhebungen: 0,45 m^3/100 m Flusslänge (Flachland), 0,38 m^3/100 m Flusslänge (Mittelgebirge), 0,02 m^3/100 m Flusslänge (alpine Überschwemmungsflächen).

Grobes Totholz wird unter natürlichen Bedingungen bevorzugt bei Hochwasserereignissen mobilisiert und beeinflusst dann im Zuge seines Transportes und seiner Deposition die Strömungsverhältnisse im Fließgewässer (YANOSKY 1982, JUNK 1989). Damit sind indirekte Auswirkungen auf die Rinnenmorphologie als auch auf die lithologisch-sedimentologischen Merkmale der zur

Bild 10. Beim Durchbruch der Mulde während des August-2002-Hochwassers entstandenes und in den Tagebau Goitsche geschüttetes, ca. 200 m breites Delta mit darauf befindlichen, vom Hochwasser transportierten Baumstämmen und Wurzelstöcken. Im Hintergrund die Ortslage Pouch. Foto: JUNGE, Mai 2003.

Pict. 10. River delta, approx. 200 m wide, formed near the place, where the river Mulde broke through during the floods of August 2002, and dumped into Goitsche open-cast mine, showing the tree logs and rootstocks transported to this location by the floods. Background: Pouch village. Photo: JUNGE, May 2003.

Ablagerung gelangten Sedimente gegeben (MUTZ 2000). So führt z. B. bei nachlassender Strömungsenergie der durch grobes Totholz verursachte oberwasserseitige Rückstau zu einer Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit und zu einer mechanischen Auskämmung und zum vermehrten Absatz von organischem Material im Sediment.

Andererseits stellt Totholz (insbesondere Baumstämme) mit seiner von der Strömungsrichtung und -geschwindigkeit abhängigen Einbettung im Sediment einen wichtigen Indikator zur Rekonstruktion von Strömungsverhältnissen im aquatischen (Wasser), im solifluidalen und vulkanoklastischen (z. B. Schlamm-, Schutt- und Blockströme) und auch im subaerischen (Wind) Milieu dar. So gibt es über die Einregelung langgestreckter Objekte (u. a. Baumstämme, langgestreckte und konische Fossilien, Pflanzen- und Holzkohlefragmente) in strömenden Medien eine Vielzahl von Naturbeobachtungen und von Erkenntnissen aus Modellversuchen (z. B. WELLS & RAPP 2000, BRAUDRICK 1997, BRAUDRICK et al. 1997). Sie zeigen, dass in vulkanoklastischen Massenströmungen gewöhnlich eine zufällige Orientierung langgestreckter Objekte zu beobachten ist (MACDONALD & JEFFERSON 1985). Ebenfalls werden zufällige Orientierungen durch Schneelawinen verursacht.

Geröllströme (debris flows) und Schlammströme (lahars) zeigen häufig eine bevorzugte Orientierung, wobei eine horizontale, z. T. auch subhorizontale bis leicht dachziegelartige Einregelung möglich ist (BURSIK et al. 1998, MAY & GRESSWELL 2002). Rollende Bewegungen führen zu einer transversen bzw. zu einer senkrecht zur Fließrichtung orientierten Einregelung. Dies ist zum einen unter dem Einfluss von Tiefenwasser- bzw. Strandwellen zu beobachten und wird u. a. auch von geröllmorphometrischen Messungen bestätigt (JUNGE 1991). Zum zweiten sind rollende Bewegungen langgestreckter Objekte bei flachen, eindimensional gerichteten Wasserströmungen geringer Transportenergie typisch.

Eine strömungsparallele Einregelung langgestreckter Objekte zeigt im fließenden Wasser eine hohe Transportenergie an und ist Ausdruck gleitender bzw. schwimmender Bewegungen. Sie tritt

vor allem entlang von Flussbänken bzw. in Flussrinnen auf (WELLS & RAPP 2000). Allerdings ist eine Orientierung im fluviatilen Strömungsregime nicht immer zwingend gegeben. So zeigten Vermessungen von insgesamt 19 Baumstämmen mit Querschnitten bis maximal 75 cm innerhalb der fluviatilen Sedimente der Thierbacher Schichten (Oberoligozän) aus dem Tagebau Bockwitz keine bevorzugte Einregelung (PÖPPELREITER 1992). Hingegen war ein von SUESS et al. (1990) ebenfalls innerhalb von kiesigen Sedimenten der Thierbacher Schichten vorkommender, 14 m langer und einen Durchmesser von ca. 14 cm aufweisender fossiler Baumstamm *(Piceoxylon thierbachense* SUESS*)* fast senkrecht zur Paläoströmungsrichtung orientiert.

Während rezenter Hochwässer der Saale (Januar 2003) und Mulde (Januar 2004) konnte vom Erstautor der strömungsparallele fluviatile Transport von Baumstämmen beobachtet werden. Interessant waren die dabei gemachten Beobachtungen zur Passage der Baumstämme von Flussschlingen bei hoher Strömungsgeschwindigkeit: Die Baumstämme passierten die Flussschlingen immer in strömungsparalleler Einregelung, wobei sie jeweils beim Erreichen des Uferbereiches mit ihrem vorderen Ende durch die Strömung um 90° gedreht wurden und danach „gewendet", aber weiterhin strömungsparallel die nächste Flussschlinge ansteuerten. Beim Deichbruch der Mulde zwischen Löbnitz und Pouch während des August-2002-Hochwassers (JUNGE et al. 2004) kam es an der Durchbruchstelle in den Tagebau Goitsche zur Entstehung eines mächtigen Deltas. Die von der Flut mitgerissenen Bäume fanden sich im Deltabereich ebenfalls strömungsparallel eingeregelt (Bild 10).

Im subaerischen Milieu sind bei Sturmereignissen durch Windbruch ebenfalls streng orientierte, weitgehend strömungsparallele Einregelungen von Baumstämmen zu beobachten (WNUK & PFEFFERKORN 1987, STREIT 1984, HINTZE 1934, KIRCHHEIMER 1933, TEUMER 1922, PANNEKOEK VAN RHEDEN 1926). Sie können zur Bestimmung von Paläowindrichtungen genutzt werden. So ergaben Einregelungsmessungen an Xyliten (Baumsegmente größer 1 m Länge) aus dem Kohlehangenden des miozänen Bitterfelder Flözkomplexes (Tagebaue Vergißmeinnicht und Goitsche) eine Dominanz der Nordwest-Südost-Richtung (HINTZE 1934, STREIT 1984), die mit der für das Gebiet vorherrschenden Windrichtung übereinstimmt. Hingegen erbrachten Einregelungsmessungen von Baumstämmen aus dem rheinischen miozänen Braunkohlenrevier keine bevorzugte Orientierung (SCHWARZBACH 1968).

4.2. Feldbefunde Hölzer (Bilder 11–21)

Die über den gesamten untersuchten Bereich des Fluviatils (Einheit I/IIu) im Nordostteil des Tagebaus Groitzscher Dreieck massenhaft auftretenden Baumstämme wurden bevorzugt an der Basis der zahlreichen Rinnenkörper angetroffen. Dies betraf einerseits horizontal gelagerte langgestreckte Baumstämme ohne Wurzelstockansatz von wenige Dezimeter (Bild 11) bis zu ein Meter Durchmesser (Bild 12). Andererseits konnten auch zahlreiche Stämme mit beginnendem Basalbereich (Bild 13) und insitu gelagerte, aufrecht stehende Wurzelstöcke (Bild 14) beobachtet werden. Die angetroffenen Hölzer wiesen einen in Bezug auf das Alter vergleichsweise geringen Inkohlungsgrad und hervorragenden Erhaltungszustand auf, der sich chemisch u. a. auch in dem Nachweis von Alphazellulose (siehe Kapitel 4.4.) ausdrückt. Trotz des vorhandenen unterschiedlichen Austrocknungs- und Verwitterungszustandes der Hölzer konnten die folgenden interessanten, für die Mehrzahl der Hölzer typischen und verallgemeinerungsfähigen makroskopisch sichtbaren Merkmale beobachtet werden:

- Bei vielen freiliegenden Stämmen war im Zuge der Verwitterung eine stammparallele Abschalung des weniger widerstandsfähigen Rindenholzes von dem festeren, inneren Kernholz zu beobachten (Bild 15).
- Die Mehrzahl der freigelegten Stämme ist durch relativ glatte Abbrüche senkrecht zur Stammachse gekennzeichnet, wobei diese offenbar holzanatomisch vorgezeichneten Abbruchflächen entlang der Stämme mehrfach und in relativ gleichmäßigen Abständen auftreten (Bild 16). Dadurch sind die meisten der langen Stämme in sogenannte „Holztrommeln" mehr oder weniger gleichmäßiger Größe zerfallen, wie sie u. a. auch aus den triassischen Wäldern Nordamerikas (Petrified Forests, RÖSSLER 1996; siehe Bild 9) beschrieben sind.

Bild 11. Horizontal lagernder, größer 4,5 m langer fossiler Baumstamm innerhalb der Auswaschungsrinne II (Probe-Nr. 020403/x14. Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: DOLEZYCH, April 2003.

Pict. 11. Horizontally resting fossil tree log longer than 4.5 m deposited inside the erosion channel II (sample no. 020403/x14. Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: DOLEZYCH, April 2003.

Bild 12. Pause während der Geländebegehung auf einer „aus einem mächtigen Stamm von der Natur gefertigten, 37 Millionen Jahre alten, hölzernen Parkbank" (Probe-Nr. 020403/x2; det.: *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; Auswaschungsrinne II). Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: DOLEZYCH, April 2003.

Pict. 12. Having a break during a cross-country walk on "a fossil wood park seat with an age of 37 million years made by nature out of a thick log" (sample no. 020403/x2; det.: *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; erosion channel II). Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: DOLEZYCH, April 2003.

Bild 13. Am Stammfuß auseinandergebrochener, meterdicker fossiler Baumstamm (Probe-Nr. 020403/x10; *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.) innerhalb der fluviatilen Abfolge des Zwischenmittels. Tagebau Groitzscher Dreieck (Auswaschungsrinne II). Foto: DOLEZYCH, April 2003.
(Man beachte das feste innere Stammholz und das abgeschälte, äußere Rinden- u./o. Wurzelholz. Links Seniorautor H. Walther, rechts Erstautor bei der gemeinsamen Geländebegehung).

Pict. 13. Fossil tree log broken apart at the feet of the trunk with a diameter of more than one meter (sample no. 020403/x10; *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.) within the fluvial sequence of the interburden. Groitzscher Dreieck open-cast mine (erosion channel II). Photo: DOLEZYCH, April 2003.
(Note the solid, inner trunk wood and the scaled-off, outer bark and/or root wood. On the left: Senior author H. Walther, on the right: First author during the joint cross-country walk).

Bild 14. Aufrecht stehender, abgebrochener Stammfuß im Übergang zum Wurzelbereich in gewachsener, autochthoner Position. Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: JUNGE, Juni 2002.

Pict. 14. Upright standing trunk foot broken off in the transition range to the root area in a grown, autochthonous position. Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: JUNGE, June 2002.

Bild 15. Im Zuge der Austrocknung der fossilen Baumstämme stattfindende stammparallele Abschalung des äußeren Rindenholzes vom inneren Kernholz. Man beachte auch die senkrecht zur Stammoberfläche stehenden Trocknungsrisse innerhalb des Kernholzes (Probe-Nr. 020403/27, indet.; rezente Auswaschungsrinne). Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: DOLEZYCH, April 2003.

Pict. 15. Scale-off of the outer bark wood from the inner core wood parallel to the trunk and taking place in the course of the drying-out process of fossil tree logs. Also note the drying cracks in the core wood located perpendicular to the trunk surface (sample no. 020403/27, indet.; recent erosion channel I). Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: DOLEZYCH, April 2003.

Bild 16. Fossiler Baumstamm mit regelmäßig angeordneten, glatten Abbruchflächen senkrecht zur Stammoberfläche (rezente Auswaschungsrinne I). Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: JUNGE, April 2003.

Pict. 16. Fossil tree log with regularly arranged, smooth break-away surfaces perpendicular to the trunk surface (recent erosion channel I). Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: JUNGE, April 2003.

Bild 17. Stammquerschnitt mit glatter Abbruchfläche und deutlich erkennbaren Markbereich (Probe-Nr. 020403/26, det.: *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; rezente Auswaschungsrinne I). Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: DOLEZYCH, April 2003.

Pict. 17. Trunk cross-section with a smooth break-away surface and clearly identifiable marrow range (sample no. 020403/26, det.: *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; recent erosion channel I). Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: DOLEZYCH, April 2003.

Bild 18. Erhaltener Markbereich und Stammanwachszonen („Jahresringe"). Detailauschnitt von Bild 17 (Probe-Nr. 020403/26, det.: *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; rezente Auswaschungsrinne I) Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: DOLEZYCH, April 2003.

Pict. 18. Well-preserved marrow range and growing zones ("annual rings"). Close-up section of picture 17 (sample no. 020403/26, det.: *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; recent erosion channel I). Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: DOLEZYCH, April 2003.

Bild 19

Bild 20

Bild 21. Detailausschnitt des Übergangs vom Stammfuß in den Wurzelbereich mit erkennbaren kegelförmigen Ausstülpungen („bowing-ups", „burls") an der Stammoberfläche (Probe Groi 12, det. *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; rezente Auswaschungsrinne I). Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: JUNGE, Juni 2002.

Pict. 21. Close-up section of the transition range from the trunk foot to the root area, showing identifiable, "bowing-ups" structures ("burls") on the trunk surface (sample Groi 12, det. *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; recent erosion channel I). Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: JUNGE, June 2002.

Bild 19. Stamm mit deutlich sichtbaren, kegelförmigen Ausstülpungen („bowing-ups", „burls") an der Stammoberfläche (Probe-Nr. Groi 12, *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; rezente Auswaschungsrinne I). Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: JUNGE, Juni 2002.

Pict. 19. Trunk with clearly identifiable, conical "bowing-ups" structures ("burls") on the trunk surface (sample no. Groi 12, *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; recent erosion channel I). Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: JUNGE, June 2002.

Bild 20. Stammquerschnitt mit kegelförmiger Ausstülpung („bowing-ups", „burls") im makroskopischen Bild (rezente Auswaschungsrinne I). Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: JUNGE, Juni 2002.

Pict. 20. Trunk cross section with conical "bowing-ups" structures ("burls") in the macroscopical picture (recent erosion channel). Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: JUNGE, June 2002.

- Interessant ist das Fehlen kleinerer Reste von Holzmaterial (Zweige, kleinere Äste, Makrorestanreicherungen) innerhalb der stammführenden Schichten. Selbst bei den mit Wurzeln erhaltenen Stämmen wurden in den für Feinmaterialanreicherungen prädestinierten Wurzelbereichen keine Makroreste beobachtet. Darüberhinaus wird nach den Beobachtungen des Erstautors eine deutliche laterale Unregelmäßigkeit im Vorkommen der fossilen Hölzer innerhalb der fluviatilen Sedimentabfolge deutlich: Massenansammlungen von Stämmen im Nordostteil steht das sporadische Auftreten fossiler Hözer im Westteil des Tagebaufeldes gegenüber. Diese gesamten Beobachtungen stützen die These des Vorhandenseins einer hohen Strömungsenergie z. B. in Folge von Hochwasserereignissen als Ursache für die Massenansammlung der fossilen Hölzer. Sie führte einerseits zum Transport der mächtigen Stämme und andererseits zur Ausschwemmung von Fein- und Treibholzmaterial.
- Im Querschnitt einer großen Zahl von Stämmen mit größeren Durchmessern waren im mm-Bereich gescharte Anwachszonen („Jahresringe") deutlich erkennbar. Die maximale Anzahl der „Jahrringe" konnte nach makroskopischer Zählung bei den größten Stämmen auf mehr als 400 geschätzt werden. Bei den xylotomischen Untersuchungen der Stämme zeigte es sich, dass die im Mittel aus 7–14 Zellreihen bestehenden „Jahrringe" zwischen 1 bis 3 mm Dicke aufweisen. Die daraus abgeleiteten Hochrechnungen ergaben im Mittel zwischen 400 bis 500 Jahrringe pro 1 m Stammdurchmesser. Die häufig zu beobachtenden fließenden Übergänge zwischen Früh- und Spätholz (siehe Kapitel 4.5.3.) lassen auf geringe saisonale Unterschiede während der Wachstumsphasen der Bäume schließen (siehe auch HEMPEL et al. 2005).
- Bei einigen großen Baumstämmen war sogar das innerste Kernholz (Mark) noch erhalten (Bilder 17 und 18).
- Einige äußere Stammoberflächen wiesen im Stammfußbereich häufig anzutreffende, aber auch bis in die höheren Stammbereiche reichende, äußere kegelförmige Ausstülpungen („bowing-ups", „burls") auf (Bild 19). Diese sind um den Stamm ringartig angeordnet und sind im Stammquerschnitt in Form von Aufwölbungen der Anwachszonen („Stammauswüchse") deutlich erkennbar (Bild 20; siehe Kapitel 4.5).
- Bei einigen Hölzern war eine „elefantenfußartige" Verdickung im Übergang vom Stamm in den Wurzelbereich erkennbar (Bild 21), der auf einen mehr flachwurzelnden Baumtyp hindeutet.

4.3. Ergebnisse der Einregelungsmessungen

An 121 Baumstämmen, die in der fluviatilen Serie des Zwischenmittels am Nordoststoß des Tagebaus Groitzscher Dreieck massenhaft auftraten und durch rezente Erosionsprozesse innerhalb von zwei rezenten Erosionsrinnen angeschnitten und freigelegt waren, wurden insitu-Messungen zur Richtungsorientierung der Baumstämme (Streichen, Fallen) in Abhängigkeit von ihrer Stammlänge, ihrem Stammdurchmesser und ihrer Höhenlage über dem Bornaer Hauptflöz durchgeführt (STEINBERG & STANGE 2001). Die Messungen erfolgten ausschließlich an im Sedimentverband befindlichen fluviatil-autochthonen Stämmen, wobei nur der sichtbare Teil des Baumstammes vermessen werden konnte. Völlig freigelegte und möglicherweise rezent umgelagerte Stämme wurden nicht mit eingemessen.

4.3.1 Orientierung der Baumstämme in Abhängigkeit von Stammdurchmesser und Stammlänge (Abb. 11; Bilder 22, 23; Tabelle 2)

Die vermessenen 121 fossilen Baumstämme wurden zuerst hinsichtlich ihrer Stammdurchmesser ausgewertet. Dabei ergaben sich für das gesamte vermessene Probenkollektiv die in Tabelle 2 angegebenen statistischen Maßzahlen. Beobachtet wurden Stämme mit einem maximalen Durchmesser von ca. 1,80 m; der mittlere Durchmesser lag bei ca. 0,30 m.

Aussagen zur Länge der Baumstämme konnten nur bedingt getroffen werden, da nur der sichtbare Teil des Baumstammes vermessen werden konnte. Dadurch war eine Messung der wahren

Bild 22. Mehr als 8 m langer fossiler Baumstamm in fluviatil-autochthoner Lage innerhalb der fluviatilen Abfolge des Zwischenmittels (Probe Groi 12, det. *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; rezente Auswaschungsrinne I). U. HELMSTEDT. Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: JUNGE, Juni 2002.

Pict. 22. Fossil tree log more than 8 m long in fluvial-autochthonous location within the fluvial sequence of the interburden (sample Groi 12, det. *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. spec.; recent erosion channel I). U. HELMSTEDT. Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: JUNGE, June 2002.

Bild 23. Mehr als 9 m langer Baumstamm in fluviatil-autochthoner Lage innerhalb der fluviatilen Abfolge des Zwischenmittels (Probe Groi 7, det. *Cupressinoxylon* sp.; rezente Auswaschungsrinne II). Co-Autorin T. BOETTGER. Tagebau Groitzscher Dreieck. Foto: JUNGE, Juni 2002.

Pict. 23. Fossil tree log more than 9 m long in fluvial-autochthonous location within the fluvial sequence of the interburden (sample Groi 7, det. *Cupressinoxylon* sp.; recent erosion channel II). Co-author T. BOETTGER. Groitzscher Dreieck open-cast mine. Photo: JUNGE, June 2002.

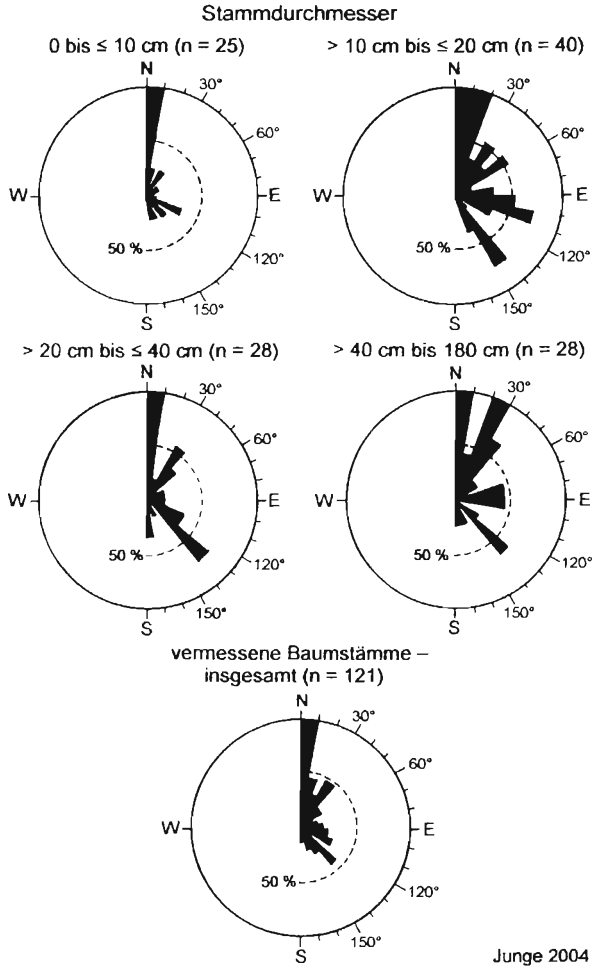


Abb. 11. Orientierung der fossilen Baumstämme (Richtungsrosen) in Abhängigkeit vom Stammdurchmesser (Aufteilung in vier Durchmesserklassen; STEINBERG & STANGE 2001).

Fig. 11. Orientation of the fossil tree logs (rose diagrams) depending on the log diameter (subdivision into four diameter classes; STEINBERG & STANGE 2001).

Tabelle 2

Univariate statistische Maßzahlen für die Stammdurchmesser der im fluviatilen Teil des Zwischenmittels (Einheit I/IIu) vermessenen Baumstämme (STEINBERG & STANGE 2001).

Table 2

Univariate statistical parameters of the trunk diameters of the tree logs measured in the fluvial part of the interburden (unit I/IIu) (STEINBERG & STANGE 2001).

Anzahl der Stämme n	121
Stammdurchmesser (Angaben in Meter):	
Median	0,20
Mittelwert	0,32
Standardabweichung	0,32
Minimum	0,03
Maximum	1,80
Spannweite	1,77

Länge der Baumstämme auf Grund ihrer nicht sichtbaren Fortsetzung im Sediment und auf Grund der Möglichkeit, dass weitere Stammteile schon abgebrochen sein können, nicht möglich. Deshalb stellen die beobachteten Stammlängen nur Minimalwerte dar. Einzelne insitu liegende Stämme erreichten Längen bis 9 Meter (Bilder 22, 23). Auf der Basis der aus den Ergebnissen der Größenmessungen ermittelten Beziehung zwischen Stammdurchmesser und Stammlänge (Korrelationsquotient r = +0,64) ergibt sich eine mittlere Länge der im Sedimentmittel vorhandenen Stammteile von ca. 1 m. Allerdings lag ein Großteil der Stämme mit Werten zwischen 1 und 3 m deutlich darüber.

Zur Auswertung der Stammorientierung in Abhängigkeit vom Durchmesser wurde das Probenkollektiv in vier Größenklassen eingeteilt. Die Richtungsrosen für die Stämme dieser vier Größenklassen und des Gesamtprobenkollektivs sind in der Abb. 11 dargestellt. Vergleicht man die solcherart klassifizierten Stammdurchmesser mit dem Gesamtprobenkollektiv, so besteht die größte Übereinstimmung mit der Richtungsrose der Baumstämme, die einen Durchmesser ≤ 10 cm aufweisen. Beide zeigen eine dominante Süd-Nord-Richtung, sowie einen Nebenpeak in Nordwest-Südost-Richtung. Erstere findet ihre Übereinstimmung auch mit der aus der Mächtigkeit des Sandmittels vermuteten allgemeinen Strömungsrichtung im Gebiet des Fundpunktes der Stämme (siehe Abb. 6). Die enge Übereinstimmung der kleinsten Stammdurchmesser-Klasse mit der Richtung der Einregelung aller vermessenen Stämme ist mit der Tatsache zu erklären, dass Baumstämme mit kleinen Durchmessern entsprechend ihrer geringen Masse, eine Einregelung und ihre anschließende Einbettung im Sediment schon bei geringen Strömungen erfahren.

Bei den Richtungsrosen der höheren Baumstammdurchmesser-Klassen gibt es neben der dominanten Süd-Nord-Richtung weitere Richtungsmaxima unterschiedlicher Wichtung: Für sämtliche Durchmesserklassen >10 cm vor allem in Nordwest-Südost-Richtung, sowie zusätzlich bei den Durchmessern zwischen 10 und 20 cm eine gleich starke Westnordwest-Ostsüdost-Richtung und bei der Durchmesserklasse >40 cm eine schwächere Ost-West-Einregelung.

Die Ergebnisse zeigen, dass im Flussregime generell eine dominante Süd-Nord-Strömung vorherrschte. Diese war unabhängig vom Durchmesser bestimmend für die Einregelung der Baumstämme. Dies gilt insbesondere für die Baumstämme mit geringeren Durchmessern (≤ 10 cm). Auch für die Baumstämme mittlerer Größe (Durchmesser >10 bis ≤20 cm) gab es diese Dominanz. Allerdings pendelte die Strömungsrichtung von Süd über West bis Nordwest (bzw. von Nord über Ost bis Südost). Dieser extreme Streuwinkel der Strömungsrichtungen ist darauf zurückzuführen, dass ein stärkeres Strömungspotential zwar zu einer Einregelung der Stämme führte, allerdings in sogenannten turbulenten Grenzzyklen. Diese turbulenten, nicht linearen Strömungspotentiale führten zu einer fast chaotischen Anordnung der Baumstämme. Bei den Baumstämmen erhöhter und maximal festgestellter Größe (>40 cm bis 1,80 m) sind wiederum ein erhöhter Ordnungsgrad und eine geringere Streuung gegenüber den Baumstämmen mit Durchmessern zwischen 10 und 40 cm erkennbar. Dabei herrscht eine wiederum stärker dominante Nord bis Nordost (Süd bis Südwest) gerichtete Strömung vor. Dies zeigt, dass hinsichtlich der Strömungsenergie ein Grenzzyklus überschritten wurde, der aus der chaotischen Anordnung wieder zu einem höheren Einregelungsgrad führte. Dieses zyklenüberschreitende Strömungspotential könnte in einzelnen extremen Hochwasserereignissen zu finden sein. Diese waren offensichtlich auch Ursache für die Verfrachtung der Baumstämme von ihren jeweiligen Standorten in das Flussregime.

Messungen der Fallwinkel der Baumachsen ergaben eine weitgehend horizontale Lagerung der Stämme im Sediment. 80% aller Stämme zeigten einen Einfallwinkel kleiner 10°. Nur einzelne Stämme wiesen extreme Einfallwinkel bis maximal 35° auf.

4.3.2. Orientierung der Baumstämme in Abhängigkeit von ihrer Lage innerhalb des Fluviatils (Höhenklassen) (Abb. 12; Tabelle 3)

Um Aussagen zu Veränderungen im fluviatilen Strömungsregime in Abhängigkeit von der Zeit zu erhalten, wurden die ermittelten Richtungsdaten der Baumstämme in Hinblick auf ihre Höhenlage innerhalb der fluviatilen Einheit I/IIu ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Form von Richtungsrosen in der Abb. 12 dargestellt. Die vermessenen Baumstämme wurden 3 Höhenklassen zu-

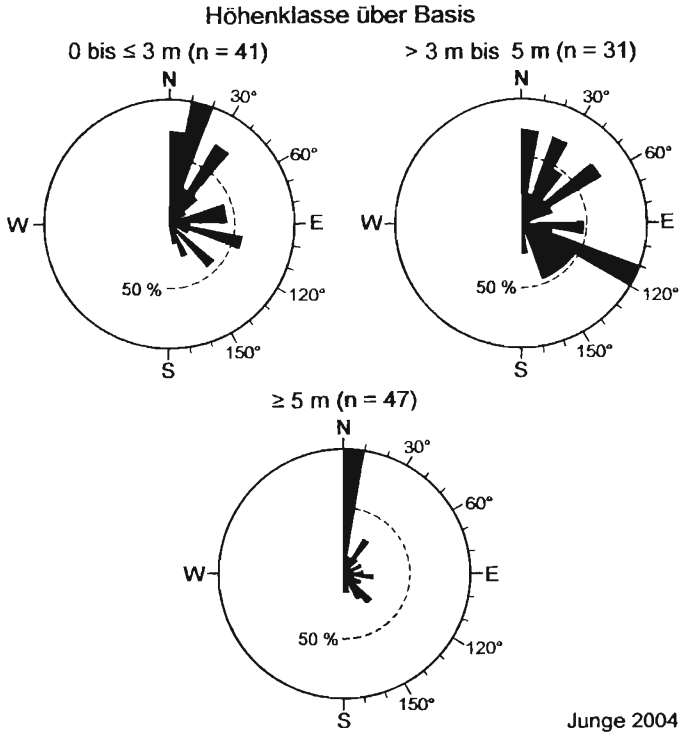


Abb. 12. Orientierung der fossilen Baumstämme (Richtungsrosen) in Abhängigkeit von ihrer Position innerhalb der fluviatilen Einheit des Zwischenmittels (Aufteilung in drei Höhenklassen über Bornaer Hauptflöz [Flöz II]; STEINBERG & STANGE 2001).

Fig. 12. Orientation of the fossil tree logs (rose diagrams) depending on their position within the fluvial unit of the interburden (subdivision into three height classes relating to the Bornaer main seam level [seam II]; STEINBERG & STANGE 2001).

geteilt (Intervall 0 bis ≤ 3 m; Intervall > 3 bis < 5 m; Intervall ≥ 5 m), wobei als Bezugsbasis die Oberkante des Bornaer Hauptflözes (Flöz II) diente.

Die unmittelbar über dem Bornaer Hauptflöz eingebetteten Stämme (Höhenintervall 0 bis ≤ 3 m; Anzahl der Stämme: 41) zeigen eine dominante Südsüdwest-Nordnordost-Richtung, wobei zahlreiche fast gleichgewichtige deutliche Nebenpeaks auftreten. Sie ergeben bei einem Streuwinkel von ca. 130° ein ungeordnetes bis chaotisches Verteilungsbild. Das mittlere Höhenintervall (> 3 bis < 5 m; Anzahl der Stämme: 31) dokumentiert eine chaotische Verteilung der Stämme. Hier gibt es eine dominante Ostsüdost-Westnordwest-Orientierung, wobei weitere hohe Nebenpeaks in Süd-Nord-, Südsüdwest-Nordnordost-, Nordost-Südwest- und schwächer in Ost-West-Richtung auftreten. Der Streuwinkel von 165° dokumentiert die breite Fächerung. Eine vergleichbare breite Streuung mit Südost-Nordwest und Südsüdwest-Nordnordost betonten Richtungen zeigten Einregelungsmessungen von obereozänen Baumstämmen aus dem benachbarten Tagebau Schleenhain (KUNZMANN 1994: S. 23).

Das den oberen Bereich der fluviatilen Einheit I/IIu kennzeichnende und bis an die Basis ästuarin geprägten Einheit I/IIo (siehe Abb. 8) reichende Höhenintervall (≥ 5 m; Anzahl der Stämme 47) zeigt eine ausgesprochen markante Einregelung der Stämme. Mit überragender Dominanz tritt die Süd-Nord-Richtung auf. Sämtliche Nebenrichtungen spielen keine Rolle. Der minimale Streuwinkel von ca. 10° dokumentiert den herausragenden Einregelungsgrad innerhalb des höchsten Niveaus im Fluviatil. Damit ist dieses Rosettendiagramm mit der Präferenzrichtung der Baumstammdurchmesser ≤ 10 cm, als auch mit dem Rosettendiagramm aller vermessenen Baumstämme vergleichbar (siehe Abb. 11).

Tabelle 3
Korngrößenzusammensetzung der Sedimente und Einregelungsgrad der vermessenen Baumstämme im fluviatilen Teil des Zwischenmittels (Einheit I/IIu) in Abhängigkeit von ihrer Lage über dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II).

Table 3
Grain size composition of the sediments and alignment levels of the tree logs measured, originating from the fluvial part of the interburden (unit I/IIu) depending on its location above Bornaer main seam (seam II).

Bereich über Bornaer Hauptflöz	Korngrößenzusammensetzung des Sedimentes				Einregelungsgrad der fossilen Stämme		
	n	∑ (T+Su+FS) [in %]	∑ (MS+GS) [in %]	Energieniveau	n	Einregelung	Dominate Richtungen
≥ 5 m	18	20,1	79,9	**hoch** (MS/FS = 2,5; MS/GS = 0,8)	47	**hoch**	**S-N**
> 3 bis < 5 m	11	32,4	67,6	**mittel bis niedrig** (MS/FS = 1,2; MS/GS = 1,1)	31	**chaotisch**	**ESE-WNW** (SSW-NNE; S-N; SW-NE)
0 bis ≤ 3 m	15	19,9	79,1	**mittel bis hoch** (MS/FS = 3,1; MS/GS = 1,7)	41	**gering bis chaotisch**	**SSW-NNE** (daneben SW-NE; E-W; ESE-WNW; SE-NW)

Erläuterungen:
n ... Stichprobenumfang; Anteile an T ... Ton; Su ... Schluff; FS ... Feinsand; MS ... Mittelsand; GS ... Grobsand; MS/FS ... Mittelsand-Feinsand-Quotient; MS/GS ... Mittelsand-Grobsand-Quotient

Zieht man zur Auswertung der Orientierungsdaten die Korngrößendaten des Sedimentes für die drei Höhenklassen hinzu, so ergeben sich weitgehend kongruente Schlussfolgerungen (Tabelle 3). Nach den Korngrößendaten sind die Sedimente des mittleren Höhenintervalls (> 3 bis < 5 m) durch den vergleichsweise höchsten Anteil an Feinsediment (Fraktion < 200 µm: ca. 32%) ausgewiesen. Somit kennzeichnet dieser Bereich einen Abschnitt im Fluviatil mit mittlerer bis geringer Strömungsenergie und damit weist er das geringste Potential für die Einregelung der Stämme in der Strömung auf. Auch die Möglichkeit des „Hängenbleibens" von Baumstämmen an Hindernissen mit dem Ergebnis einer weitgehend chaotischen Orientierung ist bei verringertem Strömungspotential größer. Das höchste Energieniveau mit deutlich geringeren Anteilen an Feinsediment (Fraktion < 200 µm: ca. 20%) und erhöhten Grobsandanteilen wird für die Sedimente der oberen Höhenklasse (≥ 5 m) festgestellt. Sie kennzeichnet den Abschnitt im Fluviatil mit der höchsten Strömungsenergie und dem höchsten Einregelungsgrad der fossilen Baumstämme.

4.4. Isotopenuntersuchungen an der Holzzellulose (Abb. 13; Tabelle 4)

4.4.1. Stabile Isotope in der Holzzellulose – eine kurze Übersicht

Wie alle natürlich entstandenen organischen Stoffe besitzen Pflanzen die Fähigkeit, sich wechselnden Umweltverhältnissen anzupassen. Bei der Synthese einzelner Holzkomponenten während des Baumwachstums spiegeln sich die Umweltparameter, die zur Entstehungszeit der Baumjahrringe geherrscht haben, in den Isotopengehalten der grundlegenden Elemente Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff wider. Die Isotopensignale archivieren sich gut vor allem in der Zellulose als der chemisch sehr stabilen Fraktion des Holzes. Die Zellulose des Holzes bleibt sehr lange erhalten und solange sie noch erhalten bleibt, trägt sie diese primären spezifischen Isotopensignale in

sich (BOWEN 1990). Die Isotopensignaturen der fossilen Holzzellulose werden sowohl vom damals herrschenden Klima als auch von Änderungen der CO_2-Konzentration in der Atmosphäre kontrolliert. Deshalb sind die vorliegenden Ergebnisse sowohl für die Paläoklimatologie als auch für Untersuchungen zum Kohlenstoffzyklus interessant.

Nach FARQUHAR et al. (1982) wird der Isotopenwert des Kohlenstoffs der Bäume, die als typische C3-Pflanzen gelten und deren photosynthetische Aktivität nach dem Calvin-Zyklus abläuft, vor allem durch das Verhältnis zwischen der CO_2-Konzentration in der Zellflüssigkeit und in der Atmosphäre bestimmt:

$$\delta^{13}C_{Pflanze} \approx \delta^{13}C_{Atmosphäre} - a - (b-a)C_i/C_a, \text{ wobei}$$

a den bei der CO_2-Diffusion durch die Spaltöffnungen verbundenen Fraktionierungseffekt (ca. −4.4‰) beschreibt; b hier für die für C3-Pflanzen charakteristische Karboxylierungsfraktionierung (ca. −27‰) steht; und C_i and C_a die CO_2-Konzentrationen im Pflanzensaft und in der umgebenden Atmosphäre darstellen.

Die Spaltöffnungen von Blättern oder Nadeln öffnen sich so weit, dass zwar ausreichend CO_2 in den Pflanzensaft kommen kann, gleichzeitig regulieren sie aber die Wasserverluste, die bei höheren Temperaturen bzw. Dürre minimal bleiben sollen. Steigen die Temperatur und die Trockenheit, dann schließen sich die Spaltöffnungen der Stomata. Dadurch wird das CO_2-Angebot in der Pflanzenflüssigkeit limitiert, was eine Reduzierung der photosynthetischen Diskriminierung des schweren ^{13}C-Isotops hervorruft und die $\delta^{13}C$-Werte der entstehenden Holzzellulose werden positiver. Die $\delta^{13}C$-Werte in den Jahrringserien von in der Nähe der temperaturbestimmten nördlichen Waldgrenzen Europas wachsenden Kiefern korrelieren signifikant mit der Sommertemperatur, mit der Sonneneinstrahlung und mit den lokalen klimatischen Faktoren, wie Lichtverhältnisse und Luft- bzw. Bodenfeuchtigkeit (SONNINEN & JUNGNER 1995, MCCARROL & PAWELLEK 2001; BOETTGER et al. 2002b).

Untersuchungen von fossilem Holzmaterial mit Hilfe stabiler Isotope liefern ebenfalls wertvolle Hinweise zur Charakterisierung des atmosphärischen CO_2 in klimatisch unterschiedlichen Abschnitten der geologischen Vergangenheit. Der $\delta^{13}C$-Wert im Holzmaterial wird durch die Konzentration und den $\delta^{13}C$-Wert des atmosphärischen CO_2 bestimmt, wobei sich beide im Laufe der Evolution möglicherweise stark änderten. Untersuchungen des Dichteindex der Spaltöffnungen (stomatal density index) an fossilen Blättern von drei unterschiedlichen Taxa *(Eotrigonobalanus furcinervis, Laurofillum pseudoprinceps, Laurofillum acutimontanum)* und Steigerungen in der marinen Produktivität weisen im späten Eozän auf einen höheren CO_2-Partialdruck im Vergleich zum frühen Oligozän und auf eine weitere Erhöhung im späten Oligozän hin (ROTH-NEBELSICK et al. 2004). Höhere CO_2-Konzentrationen in der Atmosphäre führen zu höheren Konzentrationen in der Zellflüssigkeit und können die Prozesse, wie die CO_2-Diffusion in der Zellflüssigkeit und die Karboxylierung, beeinflussen. Andere Untersuchungen zeigen (COWLING 1999), dass das Niveau der atmosphärischen CO_2-Konzentration im Obereozän mit der heutigen CO_2-Konzentration von ca. 385 ppm vergleichbar war.

Der $\delta^{13}C$-Wert des vorindustriellen atmosphärischen CO_2 wird mit −7‰ angenommen; dieser Wert sinkt ständig, weil durch die intensive Verbrennung der fossilen Energieträger (ca. −25‰) der Anteil des leichten ^{12}C-Isotops in der Atmosphäre sich ständig erhöht (KEELING et al. 1979; FRIEDLI et al. 1986). Dieser Trend ist auch in den jährlichen Isotopenkurven für Bäume unterschiedlicher Standorte deutlich sichtbar (BOWEN 1990).

Die $\delta^{18}O$- und $\delta^{2}H$-Werte der Holzzellulose werden vor allem durch die Isotopensignatur des Wassers, das während des Wachstums dem Baum zur Verfügung stand (Niederschlag, Grundwasser, Bodenwasser), die Luftfeuchtigkeit und durch biologische Fraktionierungsprozesse während der Photosynthese bestimmt (RODEN et al. 2000, TANG & FENG 2001). Steht einem Baum überwiegend meteorisches Wasser zur Verfügung, wird der $\delta^{18}O$-Wert der Baumjahrringe vom regionalen Niederschlag geleitet. In den mittleren und höheren Breiten stehen die Isotopieeffekte im Niederschlag für küstennahe Gebiete vor allem mit der Lufttemperatur, der Niederschlagsmenge und der relativen Luftfeuchtigkeit in Verbindung (DANSGAARD 1964, YURTSEVER & GAT 1981). Diese Effekte beobachtet man auch in Baumjahrringen. Sie können für paläoklimatische Rekonstruktionen der Niederschläge, archiviert in der Jahrringzellulose, benutzt werden. Höhere Tem-

peraturen und niedrige Luftfeuchtigkeit führen noch vor der Synthese der Zellulose zu einer relativen Anreicherung des schweren Isotops ^{18}O im Wasser durch die Steigerung der evaporativen Fraktionierung und in der Zellflüssigkeit durch die Evapotranspiration (BUHAY & EDWARDS 1995).

4.4.2. Methodik, Ergebnisse und Interpretation

Untersucht wurden 6 fossile Baumstämme (Proben Groi1 bis Groi6; Tabelle 4) aus dem fluviatilen Teil (Einheit I/IIu) des zwischen dem Bornaer und Thüringer Hauptflöz im Tagebau Groitzscher Dreieck gelegenen obereozänen Sedimentmittels (GWL 4.2). Zum Vergleich wurde ein Treibholz aus den über dem unteroligozänen Böhlener Hauptflöz gelagerten „Braunen Sanden" des Tagebaus Espenhain (Probe EspS; Südrandschlauch des Baufeldes Störmthal; Tabelle 4) mit in die Untersuchungen einbezogen. Die Zellulose aller untersuchten tertiären Holzproben erwies sich als sehr stark abgebaut. Deshalb wurde versucht, aus einer repräsentativen Serie dieser fossilen Hölzer nicht nur die α-Zellulose, sondern von einigen Proben auch die β-Zellulosefraktion zu isolieren (GRAY & SONG 1984). Als α-Zellulose bezeichnen wir den in 17,5%iger NaOH unlöslichen Zelluloseanteil mit einem Polymerisationsgrad von mehr als 200 in diesem Biopolymer. Der aus der NaOH-Lösung ausfällbare Anteil wird als β-Zellulose bezeichnet (FALBE & REGITZ 1989). Die Bestimmungen der $\delta^{13}C$-Werte wurden mit einem Massenspektrometer Thermo Delta XP der Fa. Finnigan MAT gekoppelt mit Elementanalysator durchgeführt (dreifache Analysen, Einwaagen ca. 50 µg). Für die Bestimmungen der $\delta^{18}O$-Werte wurden die Proben online bei 1450 °C pyrolisiert und mit Hilfe eines Massenspektrometers XLplus (Fa. Finnigan MAT) gemessen (doppelte Analysen, Einwaagen ca. 200 µg). Die Ergebnisse sind in Promille-Einheiten als δ-Werte[2] gegen den VPDB-Standard (*Belemnitella americana*, Peedee Formation, Cretaceous, South Carolina) bzw. VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) angegeben.

Die Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen sind in der Tabelle 4 und in der Abb. 13 zusammengefasst und dargestellt. Der Gehalt der in den untersuchten fossilen Hölzern (Tgb. Groitzscher Dreieck) noch verbliebenen α-Zellulose schwankte zwischen 0,03 und 0,97 Gew.%. Etwas größere Gehalte von 0,62 bis 4,21 Gew.% wurden für die Fraktion der β-Zellulose gefunden. Die $\delta^{13}C$-Werte der untersuchten Proben der α-Zellulose schwankten von −18,35 bis −20,23‰ mit einem Mittelwert von −19,49 ± 0,60‰. Für die β-Zellulose ergab sich ein Mittelwert von −19,48 ± 0,29‰, wobei die einzelnen Proben hinsichtlich ihrer $\delta^{13}C$-Werte von −19,07 bis −19,75‰ schwankten. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kohlenstoffisotopenmerkmalen beider Zellulosefraktionen festgestellt werden. Die mittleren $\delta^{18}O$-Werte der α-Holzzellulose (27,16 ± 0,90‰) und der β-Holzzellulose (27,24 ± 0,79‰) in den obereozänen Baumstämmen sind ebenfalls untereinander sehr ähnlich.

Von den 7 untersuchten Vergleichsproben aus dem Tagebau Espenhain (sechs davon aus Einheit I/II des obereozänen Zwischenmittels; JUNGE u. a. 2001) wurde nur in einer Probe (Esp-S; „Braune Sande", Unteroligozän; Tabelle 4) α-Zellulose gefunden. Ihre Analyse ergab einen mit den Proben aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck vergleichbaren $\delta^{13}C$-Wert von −18,42 ± 0,11‰.

Alle anderen in dieser Arbeit für Vergleichzwecke benutzten Kohlenstoffisotopenwerte (Abb. 13) beziehen sich auf Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen von miozänen und pliozänen Baumstubben (Schirmtannen, Sumpfzypressen, Tannen, Ulmen u. a.) aus der Braunkohle in der Niederrheinischen Bucht (SCHLESER et al. 1995; FRIELINGSDORF 1992), von fossilen Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) aus dem Spätglazial und dem Frühholozän in Süddeutschland[3] (BECKER et al. 1991), auf eigene Untersuchungsergebnisse in Mitteldeutschland und der Lausitz (WAGNER & BÖTTGER, unpubliziert) aus dem Mittelholozän und aus dem 9.–13. Jahrhundert, der Zeit des mittelalterlichen Klimaoptimums, und aus dem Spätholozän sowie auf Isotopenuntersuchungen rezenter Kiefern gleicher Gattung (BOETTGER et al. 2003, BOETTGER et al. 2002b).

In den Kohlenstoffisotopenwerten unterscheiden sich die in dieser Arbeit untersuchten Stämme des Obereozäns bis Unteroligozäns stark von allen untersuchten Hölzern verschiedener europäi-

---

[2]) $\delta = R_{Probe} - R_{Standard} / R_{Standard} \times 1000$ [‰] ($R = {}^{13}C/{}^{12}C$ bzw. ${}^{18}O/{}^{16}O$).

[3]) In dieser Arbeit wurden Kohlenstoffisotopenwerte nicht an Zellulose, sondern an Zellulosenitrat gemessen, was eine positive Verschiebung der Werte verursacht.

Tabelle 4
Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen an den fossilen Hölzern aus den Tagebauen Groitzscher Dreieck und Espenhain.

Table 4
Results of the isotope studies into fossil large woody debris originating from Groitzscher Dreieck and Espenhain open-cast mines.

Probe	**Bestimmung**	**Merkmale**		**α-Zellulose Gew. %**	**β-Zellulose Gew. %**	**Mittelwert $\delta^{13}C$ (‰, PDB)**	**±σ**	**Mittelwert $\delta^{18}O$ (‰, PDB)**	**±σ**
Tagebau Groitzscher Dreieck (Sedimentmittel zwischen Bornaer und Thüringer Hauptflöz; GWL 4.2; Einheit I/IIu; Obereozän):									
Groi1	*Cupressinoxylon* sp.	Stamm (Ø > 0,5 m)	II	0,40	n.b.	−18,35	0,06	27,55	0,01
Groi2a	*Cupressinoxylon* sp.	Stamm (Ø > 1,2 m); inneres Stammholz	II	0,24	n.b.	−19,60	0,13	26,30	0,13
Groi2i	*Cupressinoxylon* sp.	Stamm (Ø > 1,2 m); äußeres Stammholz	II	0,30	n.b.	−20,23	0,05	25,85	0,34
Groi3a	*Cupressinoxylon* sp.	Stamm (Ø > 0,4 m); äußeres Stammholz	II	0,08	n.b.	−20,15	0,09	27,51	0,12
Groi4	*Doliostroboxylon* nov. gen.	Stamm (Ø > 0,6 m); äußeres Stammholz	II	0,68	3,21	−19,27 ***−19,75***	0,03 ***0,02***	28,70 ***27,70***	0,03 ***0,05***
Groi5c	*Doliostroboxylon* nov. gen.	Stamm (Ø > 1,2 m); äußerstes Stammholz	II	0,97	4,21	19,67 ***−19,62***	0,01 ***0,04***	27,66 ***27,68***	0,28 ***0,01***
Groi6	*Doliostroboxylon* nov. gen.	Stamm (Ø > 0,4 m); äußerstes Stammholz	II	0,03	0,62	−19,13 ***−19,07***	0,03 ***0,06***	26,56 ***26,89***	0,18 ***0,35***
Tagebau Espenhain („Braune Sande"; Unteroligozän):									
EspS	n.b.	ca. 20 cm lang		0,14	n.b.	−18,42	0,11	n.b.	n.b.

Erläuterungen: Alle Proben aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck stammen aus der rezenten Auswaschungsrinne II (siehe Abb. 2). Die an der β-Zellulose erzielten Isotopenergebnisse sind in der Tabelle kursiv und fett markiert. n.b. ... nicht bestimmt.

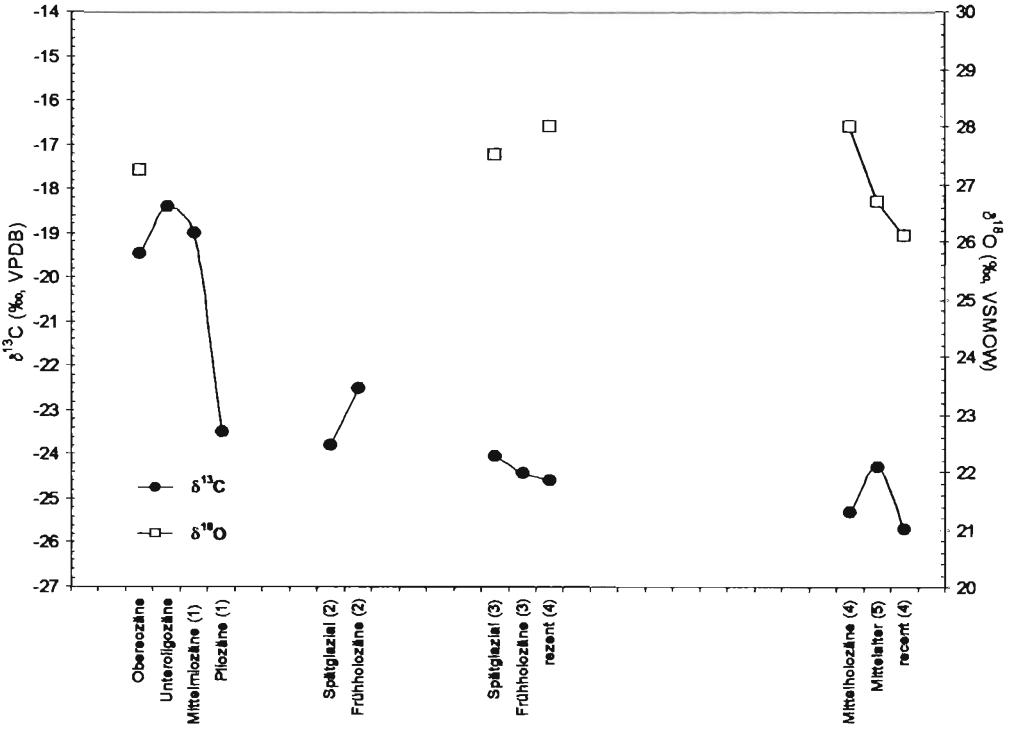


Abb. 13. Verteilung der $\delta^{13}C$- und $\delta^{18}O$-Isotopenwerte in der Holzzellulose der untersuchten obereozänen fossilen Baumstämme im Vergleich zu Baumstämmen miozänen, quartären und rezenten Alters (JUNGE et al. 2003).

Legende: Ergebnisse der $\delta^{13}C$- und $\delta^{18}O$-Bestimmungen an der Holzzellulose aus fossilen Holzstubben aus obereozänen und unteroligozänen Sedimenten Mitteldeutschlands (diese Arbeit) im Vergleich zu den Isotopenwerten von Baumstämmen von miozänen und pliozänen Hölzern aus der Braunkohle der Niederreinischen Bucht (1: FRIELINGSDORF 1992; SCHLESER et al. 1995), von süddeutschen spätglazialen und frühholozänen Kiefern (2: BECKER et al. 1991), von mittel- und ostdeutschen (Lausitz) spätglazialen und frühholozänen Kiefern und Birkenhölzern (3: WAGNER & BÖTTGER, unpubliziert; BÖTTGER, unpubliziert), von nord-westeuropäischen (Halbinsel Kola) Kiefernhölzern aus dem Mittelholozän (4: BOETTGER et al. 2003), aus der Zeit des mittelalterlichen Klimaoptimums (5: BOETTGER et al. 2002b), sowie von lebenden Kiefern aus dieserRegion.

Fig. 13. Distribution of the $\delta^{13}C$- and $\delta^{18}O$ isotope values in wood cellulose of the examined Upper Eocene fossil tree logs in comparison with tree logs of Miocene, Quaternary and recent age (JUNGE et al. 2003).

Legend: $\delta^{13}C$- and $\delta^{18}O$ data in wood cellulose of fossil tree logs from upper Eocene and Lower Oligocene sediments of central Germany (this paper) in comparison to isotope values of Miocene and Pliocene fossil tree logs from seam layers of Niederrhein (1: FRIELINGSDORF 1992; SCHLESER et al. 1995), of Late glacial and early holocene pinus tree logs from south Germany (2: BECKER et al. 1991), of Late glacial and early holocene pinus and birch tree logs from central and eastern Germany (Lusatia) (3: WAGNER & BÖTTGER, unpubliziert; BÖTTGER, unpubliziert), of Middle and Late Holocene pinus tree logs from northwest Europe (Kola Peninsula) (4: BOETTGER et al. 2003; 5: BOETTGER et al. 2002b) and of recent pinus tree logs from this region.

scher Regionen aus dem Spätglazial, aus verschiedenen Phasen des Holozäns und von den heute in Nordwest- und Mitteleuropa wachsenden Kiefern (Abb. 13; JUNGE et al. 2003). Die Holzzellulose in koniferen Bäumen vom Obereozän bis zum Mittelmiozän erscheint generell im Vergleich zu quartären und holozänen Proben um ca. 5‰ an dem schweren Isotop ^{13}C angereichert. Im europäischen Vergleich ist, gegenüber mitteleuropäischen Kiefern gleicher Gattung, die Zellulose in rezenten nordeuropäischen Kiefern um ca. 2‰ an schwerem ^{13}C-Isotop abgereichert. In den Ergebnissen der Sauerstoffisotopenverhältnisse ist dieser markante Unterschied nicht ausgeprägt: die $\delta^{18}O$-Werte aller Proben schwanken in einem relativ engen Bereich zwischen ca. 26 und 28‰

und ändern sich nur wenig in Raum und Zeit. Wahrscheinlich werden die Temperatureffekte zum großen Teil durch die im Quartär immer steigende Trockenheit kompensiert.

Der Photosyntheseprozess in Bäumen des Obereozäns erfolgte bei viel höheren Temperaturen als heute und war möglicherweise von einer höheren Verfügbarkeit an natürlichem CO_2 in der damaligen Atmosphäre begleitet. Wenn wir aber annehmen, dass das Niveau der CO_2-Konzentration (COWLING 1999) im Obereozän vergleichbar mit heutigen ebenfalls sehr hohen Werten von ca. 385 ppm war, so können die beobachteten Effekte zum größten Teil mit Änderungen in der Temperatur und in den $\delta^{13}C$-Werten des CO_2-Reservoirs erklärt werden.

Temperatursteigerung und Trockenheitsstress führen zur Erhöhung der $\delta^{13}C$-Werte in der Holzzellulose. Geochemische Untersuchungen zeigen bei den eozänen Sedimenten die Abreicherung von mobilen Elementen wie Alkalien und Erdalkalien auf Grund der chemischen Zersetzung der Feldspate und mafischer, dunkler Minerale (siehe Kapitel 3.2). Dies weist auf den hohen Grad chemischer Verwitterung im subtropisch humid-feuchten Klima hin. Die Trockenheit erscheint damit als Ursache der Steigerung in den $\delta^{13}C$-Werten der eozänen Hölzer eher als nicht wahrscheinlich. Nach den Ergebnissen der geochemischen und auch paläobotanischen Untersuchungen können wir insgesamt humide bis subtropische klimatische Bedingungen im Obereozän annehmen (VELICHKO & NECHAEV 1999).

Wollen wir eine Abschätzung des $\delta^{13}C$-Wertes der damaligen Atmosphäre vornehmen, so können wir versuchen, aus unabhängigen Informationen auch den Temperatureffekt heraus zu korrigieren. Auf Grund der vegetationsgeschichtlichen Untersuchungen können wir eine Differenz in der mittleren Jahrestemperatur von ca. 11 °C zwischen dem Obereozän und der heutigen Zeit für das Untersuchungsgebiet annehmen (EISSMANN 1994: S. 44). Ausgehend von einem Temperaturkoeffizienten von ca. 0,35‰/°C (HEMMANN 1993; zitiert in SCHLESER et al. 1999), der für lebende europäische Kiefern ermittelt ist, können wir daraus mit aller Vorsicht berechnen, dass für das damalige atmosphärische CO_2 ein $\delta^{13}C$-Wert von ca. –5,4‰ angenommen werden kann.

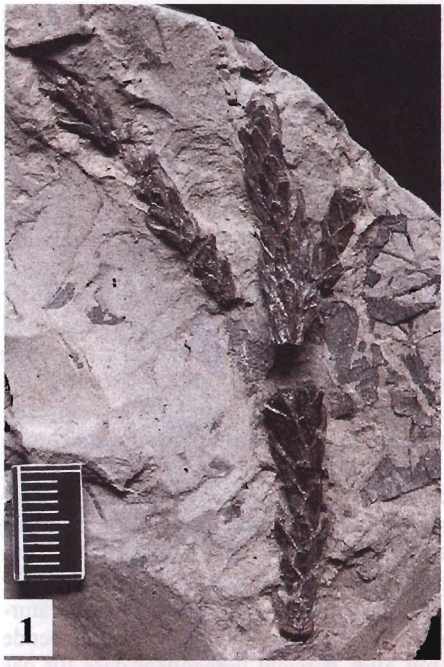
4.5. Systematik und Taxonomie

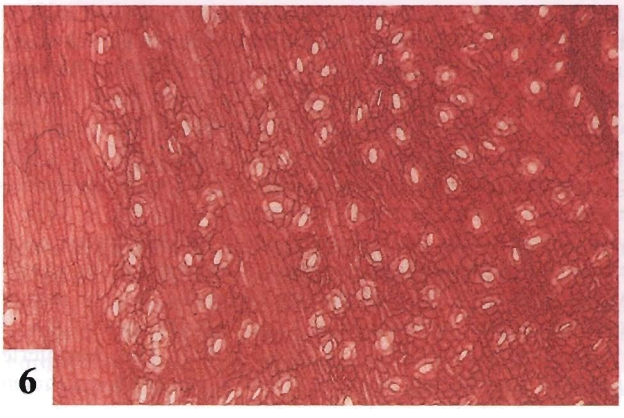
4.5.1. Blätter und Samenzapfen von *Doliostrobus taxiformis* (STERNBERG) Z. KVAČEK (Makrorestbefunde) (Tafel II)

Systematik:
Doliostrobaceae Z. KVAČEK 2002
Doliostrobus MARION 1884
Doliostrobus taxiformis (STERNBERG 1833) KVAČEK 1971
Liste der Synonyme s. KUNZMANN 1999: S. 84

Beschreibung und Diskussion:
Doliostrobus taxiformis (STERNBERG) Z. KVAČEK emend. KUNZMANN ist eine typische Lorbeerwald-Konifere der fossilen Evergreen Broad-leaved Forests (Tafel II). Im Eozän gilt sie vor allem als Charakterbaum der Koniferen-Lorbeer-Wälder mit *Quasisequoia,* Fagaceae *(Quercus, Eotrigonobalanus, Castanopsis),* Lauraceae, *Magnolia, Symplocos,* Myricaceae, Ericaceae sowie Palmae (MAI & WALTHER 1985: S. 151). Wie Belege aus dem Mitteleozän von Messel bei Darmstadt zeigen, war *D. taxiformis* auch ein Vertreter der zonalen Waldvegetation im Paläogen (WILDE 1989: S. 25). *Doliostrobus* MARION ist eine ausgestorbene, monotypische Gattung, die vom Oberpaläozän (Menat, Frankreich) bis zum Oberoligozän (Socka, Kroatien) vorkommt (MAI 1995: S. 346).

Der bei Reife zerfallende, harzreiche Samenzapfen liefert Ansatzpunkte für eine immer noch anhaltende Diskussion um die systematische Stellung dieser Konifere. Ursprünglich als ausgestorbene Araucariacee definiert (MARION 1884: S. 823), diskutierten zahlreiche Autoren immer wieder eine Zuordnung zu den Taxodiaceae (heute Cupressaceae s. l.), so zum Beispiel BŮŽEK et al. (1968), KVAČEK (1971), MAI (1976), KUNZMANN (1999), KVAČEK (2002). Die detaillierte Untersuchung der verschiedenen Organe hat aber bislang noch zu keiner allgemein anerkannten Klärung geführt. Aus der Morphologie und Anatomie der Samenzapfen sowie der vegetativen Organe folgern MAI (1976: S. 95) und KUNZMANN (1999: S. 89), dass es sich um eine Taxodiacee





Tafel II

der Unterfamilie Cunninghamioideae (HAYATA) QUINN handelt. KVAČEK begründet die Definition einer eigenständigen Familie Doliostrobaceae vor allem mit dem Bau der Samen und der Holzstruktur der Zweige (KVAČEK 2002: S. 48). Die Anatomie des Holzes lässt sich mit keiner rezenten Koniferengattung vergleichen, wodurch eine gewisse Eigenständigkeit von *Doliostrobus* belegt wird (RÜFFLE & SÜSS 2001: S. 416). Abietoide Hoftüpfel des Holzes (RÜFFLE & SÜSS 2001: S. 415) und die Charakteristik des Harzes der Zapfen (OTTO et al. 2002: S. 213) schließen jedoch eine Zugehörigkeit zu den Araucariaceae aus.

Samenzapfen von *Doliostrobus taxiformis* zeigen zahlreiche (60–80) spiralig, dicht tectat stehenden Schuppen mit zahlreichen Harzkanälen. Die Schuppen sind bei Reife flach keilförmig mit breit gerundetem Distalrand, von dem ein acuminates Spitzchen ausgeht. Pro Schuppe werden 1–2 Samen ausgebildet, die bei Reife umgewendet stehen. Die Samen besitzen einen basilateral entwickelten Flügel.

Die Zusammengehörigkeit der Samenzapfen, der isolierten Zapfenschuppen und der beblätterten Zweige zu einer fossilen Konifere erfolgt auf Grund ihrer gleichen, charakteristischen Epidermisstruktur (KVAČEK 1971, KUNZMANN 1999).

Zweige mit spiralig dicht stehenden Blättern, deren Basis am Zweig herabläuft, sind charakteristisch. Der freie Nadelteil ist lang und falcat oder kurz und acicular, im Querschnitt rhombisch und ganzrandig. Die Nadelblätter besitzen je 2 Stomata-Streifen auf der Adaxial- und der Abaxialseite, welche in unterschiedlich lange Stomata-Reihen gegliedert sind. Die vollständig bis teilweise unvollständig amphzyklozytischen Stomata sind irregulär bezüglich der Nadellängsachse orientiert. Die Costalbereiche der gewöhnlichen Epidermiszellen zeigen selten bis häufig ein oder mehrere Kristall-Lücken.

Nach dem Fehlen oder Vorkommen dieser Kristall-Lücken unterscheidet KVAČEK (2002: S. 54) 2 Varietäten, *D. taxiformis* var. *taxiformis* KVAČEK und *D. taxiformis* var. *sternbergii* KVAČEK. Eine dritte Varietät, *D. taxiformis* var. *hungaricus* (RASKY) KVAČEK & HABLY soll etwas größere Zapfenschuppen als die beiden erstgenannten aufweisen.

4.5.2. Hölzer von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL 1913) DOLEZYCH nov. comb.

Systematik:
Order: Coniferae
Familie: Doliostrobaceae Z. KVAČEK 2002
Gattung: *Doliostroboxylon* DOLEZYCH nov. gen.

Tafel II. *Doliostrobus taxiformis* (STERNBERG) KVAČEK aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck (Staatliche Naturhistorische Sammlungen zu Dresden).
II-1: Nadelzweig (Inv.-Nr. MMG GD 4).
II-2: Zapfenschuppe mit 2 Insertionsnarben (Inv.-Nr. MMG Slg. Mai 10602), Länge: 6 mm.
II-3: Zapfenschuppe, Rest eines geflügelten Samen (Inv.-Nr. MMG Slg. Mai 10602), Länge: 6,5 mm.
II-4: Epidermistopografie einer Nadel von Stück in II-1, Stomata-Streifen der Abaxialseite (Präparat MMG GD 2/03, 80-fache Vergr.).
II-5: Epidermistopografie einer Nadel von Stück in II-1, Stomata-Streifen der Adaxialseite (Präparat MMG GD 2/03, 80-fache Vergr.).
II-6: Epidermistopografie einer Zapfenschuppe, Apikalteil (Präparat MMG GD 1/97, 80-fache Vergr.).
II-7: Detail aus II-6, Stomata, gewöhnliche Epidermiszellen mit Kristalllücken.

Plate II. *Doliostrobus taxiformis* (STERNBERG) KVAČEK originating from Groitzscher Dreieck open-cast mine (Staatliche Naturhistorische Sammlungen of Dresden).
II-1: Needle-shaped twig (inventory no. MMG GD 4).
II-2: Cone scale with 2 insertion scars (inventory no. MMG Slg. May 10602), length: 6 mm.
II-3: Cone scale, remnant of an alate seed (inventory no. MMG Slg. May 10602), length: 6,5 mm.
II-4: Epidermis topography of a needle-shaped leaf as shown in fig. II-1, stomata streaks of the abaxial side (preparation MMG GD 2/03, 80fold magnification).
II-5: Epidermis topography of a needle-shaped leaf as shown in fig. II-1, stomata streaks of the adaxial side (preparation MMG GD 2/03, 80fold magnification).
II-6: Epidermis topography of a cone scale, apical part (preparation MMG GD 1/97, 80fold magnification).
II-7: Detail from fig. II-6, stomata, ordinary epidermis cells with crystal gaps.

Diagnose: Sekundäres Gymnospermenholz ohne Harzgänge und Quertracheiden, Zuwachszonen erkennbar, radiale Hoftüpfel ein-, teilweise auch zweireihig, tangentiale Hoftüpfel öfters vorhanden, Holzparenchym spärlich zerstreut sowie reichlich vorkommend in tangentialen Zonen, Holzstrahlen einreihig, selten zweireihig, Strahlen 1 bis 25 Zellen hoch, Zellenhöhe der niedrigen und höheren Strahlen kann variieren, Horizontalwände und Tangentialwände der Strahlen glatt, im Kreuzungsfeld pinoide, podocarpoide und cupressoide Tüpfel unterschiedlicher Größe.

Art: ***Doliostroboxylon priscum* (PRILL 1913) DOLEZYCH nov. comb.**

Basionym: *Podocarpoxylon priscum* PRILL 1913, S. 37–42 (Diagnose erst bei KRÄUSEL 1919, S. 257–264, Fig. 35–39; Tafel 18, Fig. 7)
Synonymie: *Doliostroboxylon* sp., in: RÜFFLE & SÜSS (2001).
Holotypus: Holz mit der Nr. 2047p MGUWr im Geologischen Museum der Universität Wrocław (Muzeum Geologiczne Uniwersytetu Wrocławskiego); identisch mit dem Holz Nr. 10/1883 des ehemaligen Geologischen Institutes Breslau.
Locus typicus: Nach PRILL (1913, S. 37) Braunkohlenformation von Patschkau (Paczków, heute Polen) im schlesischen Tertiär.
Repositorium: Geologisches Museum der Universität Wrocław (Muzeum Geologiczne Uniwersytetu Wroławskiego).

Emendierte Diagnose: Sekundäres Gymnospermenholz ohne Harzgänge und Quertracheiden, Zuwachszonen erkennbar, radiale Hoftüpfel ein-, teilweise auch zweireihig, tangentiale Hoftüpfel öfters vorhanden, Holzparenchym spärlich zerstreut sowie reichlich vorkommend in tangentialen Zonen, Holzparenchymquerwände glatt bis schwach getüpfelt, Holzstrahlen einreihig, selten zweireihig, Strahlen 1 bis 25 Zellen hoch, Zellenhöhe der niedrigen und höheren Strahlen kann variieren, Horizontalwände und Tangentialwände der Strahlen glatt, im Kreuzungsfeld meist 1–2, mitunter 3, selten auch 4 pinoide, podocarpoide und cupressoide Tüpfel unterschiedlicher Größe.

Species: ***Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb.**

Basionym: *Podocarpoxylon priscum* PRILL 1913, p. 37–42 (Diagnosis made later by KRÄUSEL 1919, p. 257–264).
Holotypus: Wood sample numbered Nr. 2047p MGUWr in the University of Wrocław Geology Museum/ Muzeum Geologiczne Uniwersytetu Wroławskiego (identical with the wood sample numbered Nr. 10/1883 at the former Geology Institute at Breslau).
Locus typicus: After Prill (1913, p. 37), brown-coal formation at Patschkau (Paczków, now in Poland) in the Silesian Tertiary.
Repositorium: University of Wrocław Geology Museum/Muzeum Geologiczne Uniwersytetu Wroławskiego.

Emended diagnosis: Secondary Gymnosperm-wood with neither resin canals nor horizontal tracheids. Growth rings weak, early and late wood not very different. Radial bordered pits uni- and biseriate. Tangential bordered pits frequently observable. Axial parenchyma sparsely scattered and frequently grouped in several tangential ribbons. Horizontal walls of axial parenchyma smooth to lightly pitted. Rays uniseriate and more rarely biseriate: cell height varies from 1–25 cells, cell height for lower and higher rays variable, horizontal ray-walls smooth, tangential ray-walls smooth. Cross-field pits mostly 1–2, occasionally 3 and also rarely 4 pinoid, podocarpoid and cupressoid; variable sizes.

4.5.3. Ergebnisse paläoxylotomischer Untersuchungen an den fossilen Hölzern aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck

4.5.3.1. Probenauswahl

Von den insgesamt 42 geborgenen fossilen Hölzern aus den zwei rezenten Auswaschungsrinnen im Tagebau Groitzscher Dreieck konnten 26 Hölzer bis zum Art-Niveau bestimmt werden. 3 Hölzer konnten aufgrund der schlechten Erhaltung nicht bestimmt werden. Diese geringe Anzahl nicht bestimmbarer Proben erklärt sich aus der Tatsache, dass die Xylite, die von ihrem makroskopisch sichtbaren Erhaltungszustand die Möglichkeit der Bestimmung erwarten ließen, bevorzugt beprobt worden sind.

Von der Gesamtheit der untersuchten Hölzer aus dem Sedimentmittel zwischen dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) und dem Thüringer Hauptflöz (Flöz III) erlaubten 3 Xylite nur die Bestimmung

als *Cupressinoxylon* cf. *polonicum* und 10 weitere Holzfossilien wurden als Taxa aus der Familie der Cupressaceae LI identifiziert. Die größte Anzahl des Probenkollektivs wurde von der im folgenden näher zu charakterisierenden xylotomischen Art (*Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb.) eingenommen. Sie ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Die taxonomische Beschreibung der anderen Hölzer ist weiteren Publikationen vorbehalten. Für die xylotomischen Untersuchungen wurden einige Holzproben bewusst von einem (noch erkennbaren) einzigen fossilen Baum genommen, um u. a. Aussagen zur Variabilität einer fossilen botanischen Art abzuleiten.

Die Aufstellung dieser neuen Formgattung und holzanatomischen Art erfolgte im Ergebnis von holzanatomischen Untersuchungen mittels Dünnschnitten an folgendem Probenmaterial:

A. Tagebau Groitzscher Dreieck, fluviatiler Teil des Sedimentmittels zwischen Flöz II und Flöz III (GWL 4.2.); Funde nach Bearbeitung aufgenommen in die paläobotanische Sammlung der Staatlichen Naturhistorischen Sammlungen zu Dresden:
   - Probenpräparate von Hölzern aus rezenter Erosionsrinne I:
     - Funde vom 25. 06. 2002: Groi 12, Groi 14, Groi 15
     - Funde vom 02. 04. 2003: 020403/18, 020403/20a, 020403/20b, 020403/21, 020403/22, 020403/23, 020403/24, 020403/25a+b+c, 020403/26, 020403/28, 020403/29, 020403/30, 020403/32, 020403/33, 020403/34
   - Probenpräparate von Hölzern aus rezenter Erosionsrinne II:
     - Funde vom 25. 06. 2002: Groi 4, Groi 5A, Groi 6, Groi 8, Groi 9, Groi 10
     - Funde vom 02. 04. 2003: 020403/x1, 020403/x2, 020403/x3, 020403/x4, 020403/x5, 020403/x6, 020403/x9, 020403/x10, 020403/x11, 020403/x12, 020403/x14, 020403/x15, Groi 4, Groi 5A, Groi 6, Groi 8, Groi 9, Groi 10.

B. Muzeum Geologiczne Uniwersytetu Wroławskiego (Geologisches Museum der Universität Wrocław); Holz mit Nr. 2047p MGUWr:
   - Präparate von dem Holz mit Nr. 2047p (Hoyerswerda): 200204/1, 200204/2, 200204/3.

4.5.3.2. Beschreibung des Holzes (Tafeln III bis VIII; Abb. 14, 15, 16)

Die Holzgewebeanalyse beinhaltet Untersuchungen zur Holzanatomie, d. h. zur Anordnung und zum Aufbau der Holzzellen. Diese erfolgt durch die Auswertung von drei Hauptschnitten, die quer, radial und parallel bzw. tangential zu den Jahrringen liegen. Die axialen Elemente des Leitgewebes (Xylem) sind bei den Gymnospermen im Wesentlichen die Tracheiden. Sie bestehen aus spindelförmigen langgestreckten Zellen, deren schräggestellte Endwände dicht aneinander liegen und vielfach durch Wanddurchbrüche (Tüpfel) gekennzeichnet sind. Holzparenchymzellen sind innerhalb der Tracheiden und Markstrahlen eingebettete Zellen, die zur Speicherung und Verteilung der Nährstoffe dienen. Im Radialschnitt (Abb. 14) wird die Anordnungsweise und Gestalt der Zellwanddurchbrüche (Tüpfel) von Tracheiden oder Tracheen deutlich. Diese sind bei den Nadelhölzern in Form von Hoftüpfeln vertreten. Ein Hof geht dabei auf die beidseitige Anhebung der Sekundärwand zurück. Von diagnostisch hohem Rang ist die Ausbildung der Tüpfel im „Kreuzfeld" des Frühholzes. Es ist der Bereich, in dem horizontale Markstrahlen mit dem vertikalen Leitsystem in Verbindung stehen. Die verbindenden Durchbrüche können dann u. a. fensterförmig, pinoid, piceoid, cupressoid und podocarpoid erscheinen. Im Tangentialschnitt (Abb. 15) werden radiale Zellanordnungen sichtbar. Die Markstrahlen sind horizontal orientierte, radial verlaufende Tracheiden, die in jeder der drei Hauptschnittebenen ein anderes Aussehen haben und für die Bestimmung von Koniferenhölzern große Bedeutung besitzen (FRIELINGSDORF 1992).

Zuwachszonen: Die Zuwachszonen sind nur schwach erkennbar (Tafel III-1). Das Frühholz geht sehr allmählich in das Spätholz über (Tafel III-1, III-2).

Tracheiden: Die Form der Lumina ist im Querschnitt polygonal mit abgerundeten Ecken bis rund (Tafel III-2). Ihre Maße betragen:

	Radial	Tangential	Wanddicke
Frühholz	30–50 µm	28–35 µm	3–4 µm
Spätholz	30–10 µm	13–25 µm	6–8 µm.

Hoftüpfel: Die Hoftüpfel stehen in den radialen Wänden der Tracheiden in einer bis zwei senkrechten Reihen nebeneinander (Tafel IV-2; Tafel V-5, V-6, V-7; Abb. 14). Der Porus ist rund bis elliptisch (Tafel IV-2, Tafel V-5, V-6). Crassulae sind zu beobachten (Tafel V-6, V-7, Abb. 14). Sehr selten platten sich die Hoftüpfel gegeneinander ab. Der Durchmesser der radialen Hoftüpfel bewegt sich von 13 bis zu 15 µm. In den tangentialen Wänden sind die Tüpfel bedeutend kleiner und vom Habitus rund (Tafel VI-1; Abb. 15). Ihr Durchmesser beträgt um die 8/9 µm. Trabeculae als Zellwandauflagerungen sind vorhanden (Abb. 15).

Holzparenchym: Das Holzparenchym steht in mehreren tangentialen Bändern zoniert und reichlich (Tafel VII-2) oder auch nur zerstreut und spärlich vorkommend. Die Querwände sind meistens auffallend dünn, demnach glatt (Tafel VII-1, VII-3, VII-4; Tafel VI-1; Abb.15). Sie erreichen eine Dicke bis 3 µm.

Strahlen: Die Strahlen sind einreihig (Tafel III-4; Tafel VII-2; Tafel VI-3), aber auch zweireihig (Tafel III-3) und homogen ausgebildet. Die Höhe bemisst 1 bis zu 25 Zellen (Tafel III-4; Tafel VII-2; Tafel VI-3, VI-4; Abb. 15). Die Horizontalwände der Strahlen sowie die Tangentialwände sind glatt (Tafel IV-1, IV-2, IV-4; Tafel V-1 bis V-4; Abb. 14). Die waagerechten Wände sind dünner als die Tracheidenwände (Tafel V-3, V-4; Abb.14).

Die tangentialen Wände sind nur bis 2 µm stark, dementsprechend dünn (Tafel IV-4; Tafel V-2).

Die Kreuzungsfelder zeigen in ihrer Tüpfelung eine große Variation. In den Feldern stehen pinoide (Tafel IV-1, IV-3, IV-4; Tafel V-4; Abb. 14), podocarpoide (Tafel IV-2, IV-4; Tafel V-2, V-3; Abb. 14) und cupressoide (Tafel V-1, V-3; Abb. 14) Tüpfel einzeln, zu zweit, zum geringen Teil zu dritt und sehr selten zu viert. Bei einigen Kreuzungsfeldtüpfeln ist ein Ansatz zur araucarioiden Tüpfelung zu erkennen. Die unregelmäßigen pinoiden Tüpfel zeigen vereinzelt einen Ansatz zum polygonalen Umriss (Tafel IV-1, IV-2, IV-4; Abb. 14).

Der Durchmesser dieser verschiedenen Tüpfel bewegt sich zwischen 8 und 16 µm, meist beträgt ihr Umfang um die 12 µm. Die Durchschnittshöhe der Zellen beträgt 25 µm, jedoch schwankt ihre Höhe stark, von 12 bis 40 µm (Tafel IV-4; Tafel VII-3; Abb. 15). Die Zellenhöhe der niedrigen und höheren Strahlen kann variieren (Tafel VII-4).

Anatomie der morphologischen Form „Stammauswüchse": Diese Auswüchse am Stamm (siehe Bilder 18 und 19) sind in regelmäßigen Abständen ausgebildet. Sie setzen sich anatomisch aus Tracheiden und blasigen Strahlen zusammen, die eine herkömmliche Wurzelstruktur zeigen (Tafel VIII-1, VIII-2, VIII-3, VIII-4). Holzparenchym fehlt bei dieser morphologischen Besonderheit.

Ob es sich bei dieser Wuchsform um die so genannten „burls" oder um Astansätze (Knospen) handelt, kann nicht eindeutig entschieden werden. Die Bezeichnung „burls" wird im Zusammenhang mit Xylit für Knoten am Holz in der US-amerikanischen Sprachregion benutzt. Nach HEWES (1981, S. 26–27) haben diese „burls", die bei *Sequoia sempervirens* (D. DON) ENDLICHER be-

---

Tafel III. Dünnschnittbilder von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. aus dem fluviatilen Teil (Einheit I/IIu) des Zwischenmittels (GWL 4.2) des Tagebaus Groitzscher Dreieck (rezente Auswaschungsrinne I).

III-1: Querschnitt mit polygonalen Tracheiden (Präparat: 020403/26; Vergrößerung: 100-fach).

III-2: Querschnitt mit polygonalen Tracheiden (Präparat: 020403/26; Vergrößerung: 200-fach).

III-3: Tangentialschnitt mit einreihigen und zweireihigen Strahlen (Präparat: 020403/25; Vergrößerung: 200-fach).

III-4: Tangentialschnitt mit einreihigen und zweireihigen Strahlen (Präparat: 020403/29; Vergrößerung: 200-fach).

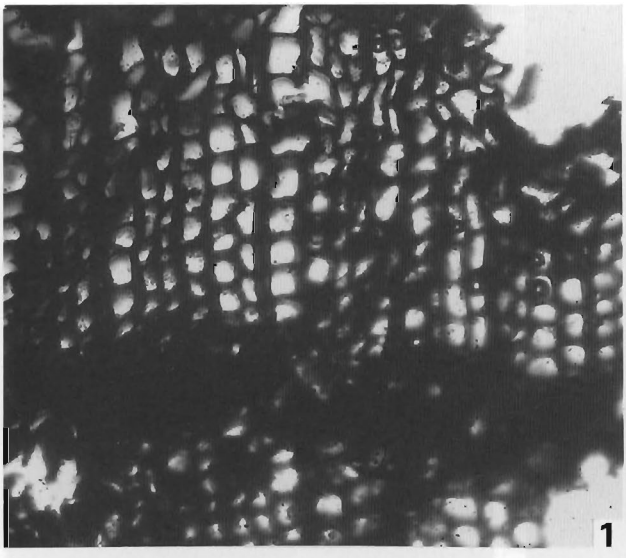
Plate III. Thin-layer section pictures of *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. originating from the fluvial section (unit I/IIu) of the interburden (GWL 4.2) contained in Groitzscher Dreieck open-cast mine (recent erosion channel I).

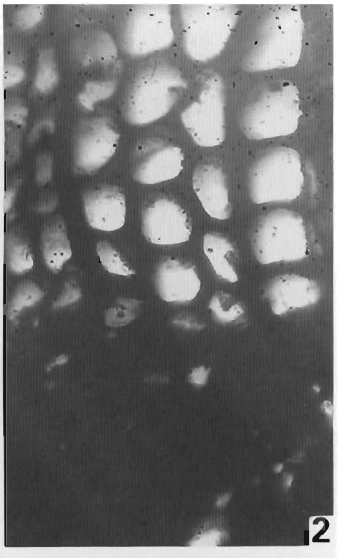
III-1: Cross-section with polygonal tracheids (preparation: 020403/26; magnification: 100fold).

III-2: Cross-section with polygonal tracheids (preparation: 020403/26; magnification: 200fold).

III-3: Tangential section with single rowed and double rowed streaks (preparation: 020403/25; magnification: 200fold).

III-4: Tangential section with single rowed and double rowed streaks (preparation: 020403/29; magnification: 200fold).





Tafel III

Tafel IV. Dünnschnittbilder von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. aus dem fluviatilen Teil (Einheit I/IIu) des Zwischenmittels (GWL 4.2) des Tagebaus Groitzscher Dreieck (rezente Auswaschungsrinne I).

IV-1: Radialschnitt mit pinoiden Kreuzungsfeldtüpfeln und glatten waagerechten Strahlwänden (Präparat: 020403/18; Vergrößerung: 400-fach).

IV-2: Radialschnitt mit podocarpoiden und pinoiden Kreuzungsfeldtüpfeln, glatten waagerechten Strahlwänden und monoseriaten, locker angeordneten Hoftüpfeln (Präparat: 020403/18; Vergrößerung: 200-fach).

IV-3: Radialschnitt mit pinoiden Kreuzungsfeldtüpfeln und glatten Strahlwänden (Präparat: 020403/18; Vergrößerung: 630-fach).

IV-4: Radialschnitt mit podocarpoiden und pinoiden Kreuzungsfeldtüpfeln, glatten waagerechten Strahlwänden und monoseriaten, locker angeordneten Hoftüpfeln (Präparat: 020403/18; Vergrößerung: 400-fach).

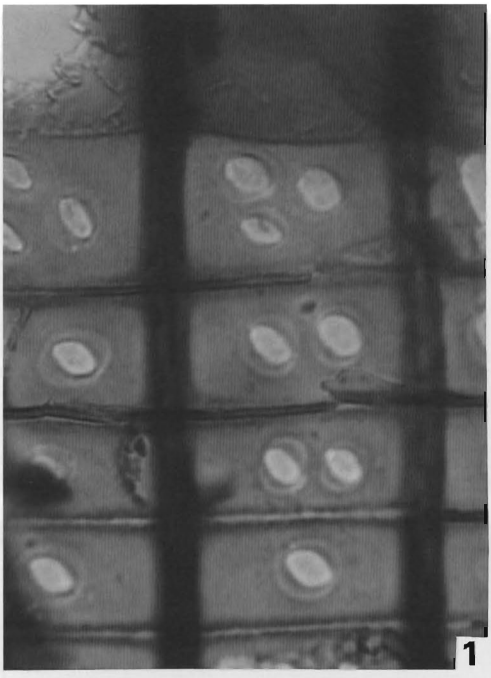
Plate IV. Thin-layer section pictures of *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. originating from the fluvial section (unit I/IIu) of the interburden (GWL 4.2) contained in Groitzscher Dreieck open-cast mine (recent erosion channel I).

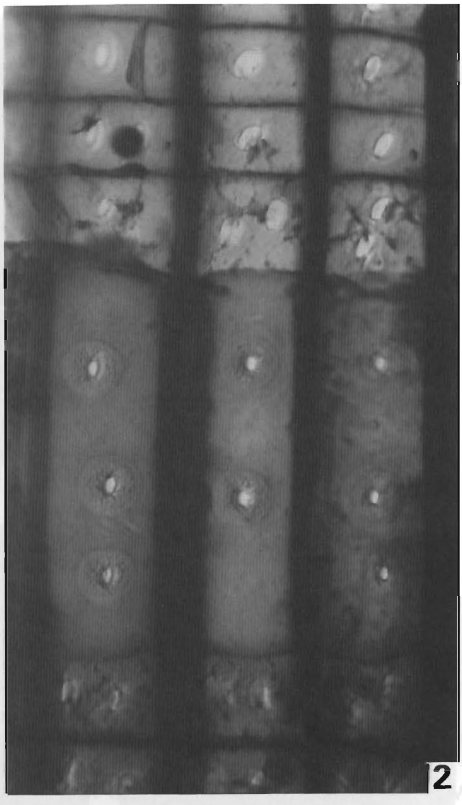
IV-1: Radial section with pinoid cross field pits and smooth, horizontal streak walls (preparation: 020403/18; magnification: 400fold).

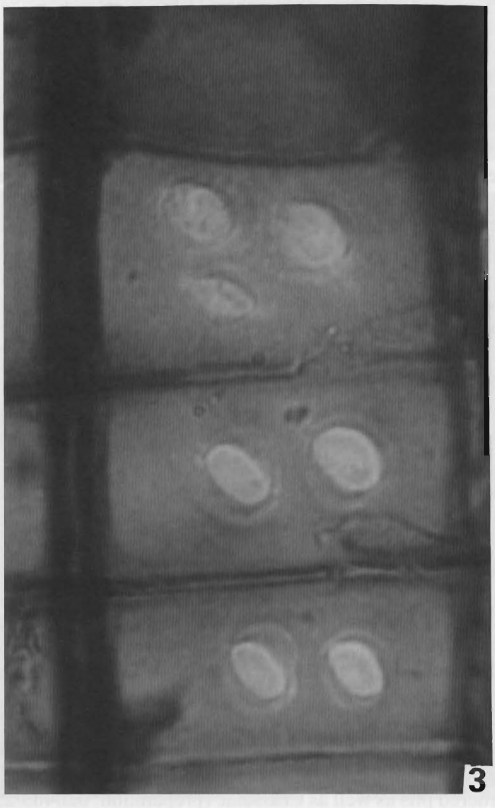
IV-2: Radial section with podocarpoid and pinoid cross field pits, smooth, horizontal streak walls and monoseriate, some isolated bordered pits (preparation: 020403/18; magnification: 200fold).

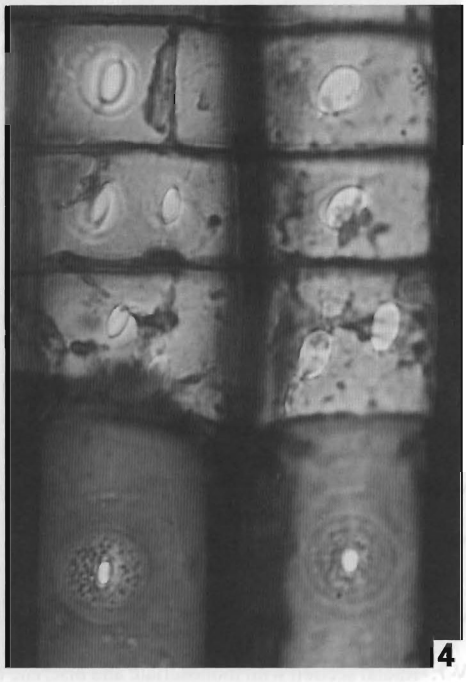
IV-3: Radial section with pinoid cross field pits and smooth streaked walls (preparation: 020403/18; magnification: 630fold).

IV-4: Radial section with podocarpoid and pinoid cross field pits, smooth, horizontal streaked walls and monoseriate, some isolated bordered pits (preparation: 020403/18; magnification: 400fold).









Tafel IV

Tafel V. Dünnschnittbilder von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. aus dem fluviatilen Teil (Einheit I/IIu) des Zwischenmittels (GWL 4.2) des Tagebaus Groitzscher Dreieck (rezente Auswaschungsrinne I).

V-1: Radialschnitt mit paarig angeordneten cupressoiden Kreuzungsfeldtüpfeln im Kreuzungsfeld sowie glatter tangentialer Strahlwand (Präparat: 020403/x3; Vergrößerung: 630-fach).

V-2: Radialschnitt mit podocarpoiden Kreuzungsfeldtüpfeln im Kreuzungsfeld sowie glatter tangentialer Strahlwand ohne Indenturen und glatten waagerechten Strahlwänden (Präparat: 020403/x4; Vergrößerung: 400-fach).

V-3: Radialschnitt mit cupressoiden bis podocarpoiden Kreuzungsfeldtüpfeln im Kreuzungsfeld und glatten waagerechten Strahlwänden (Präparat: 020403/x5; Vergrößerung: 400-fach).

V-4: Radialschnitt mit pinoiden Kreuzungsfeldtüpfeln im Kreuzungsfeld sowie glatten waagerechten Strahlwänden (Präparat: 020403/9 Vergrößerung: 400-fach).

V-5 Radialschnitt mit monoseriaten Hoftüpfeln (Präparat: 020403/18; Vergrößerung: 630-fach).

V-6: Radialschnitt mit monoseriaten, locker angeordneten Hoftüpfeln sowie Crassulae (Präparat: 020403/25; Vergrößerung: 400-fach).

V-7: Radialschnitt mit monoseriaten und biseriaten Hoftüpfeln sowie Crassulae (Präparat: 020403/25 Vergrößerung: 400-fach).

Plate V. Thin-layer section pictures of *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. originating from the fluvial section (unit I/IIu) of the interburden (GWL 4.2) contained in Groitzscher Dreieck open-cast mine (recent erosion channels I).

V-1: Radial section with cupressoid cross field pits arranged in pairs in the cross field as well as showing a smooth tangential streaked wall (preparation: 020403/x3; magnification: 630fold).

V-2: Radial section with podocarpoid cross field pits in the cross field as well as showing a smooth tangential streaked wall without indentures and smooth horizontal streaked walls (preparation: 020403/x4; magnification: 400fold).

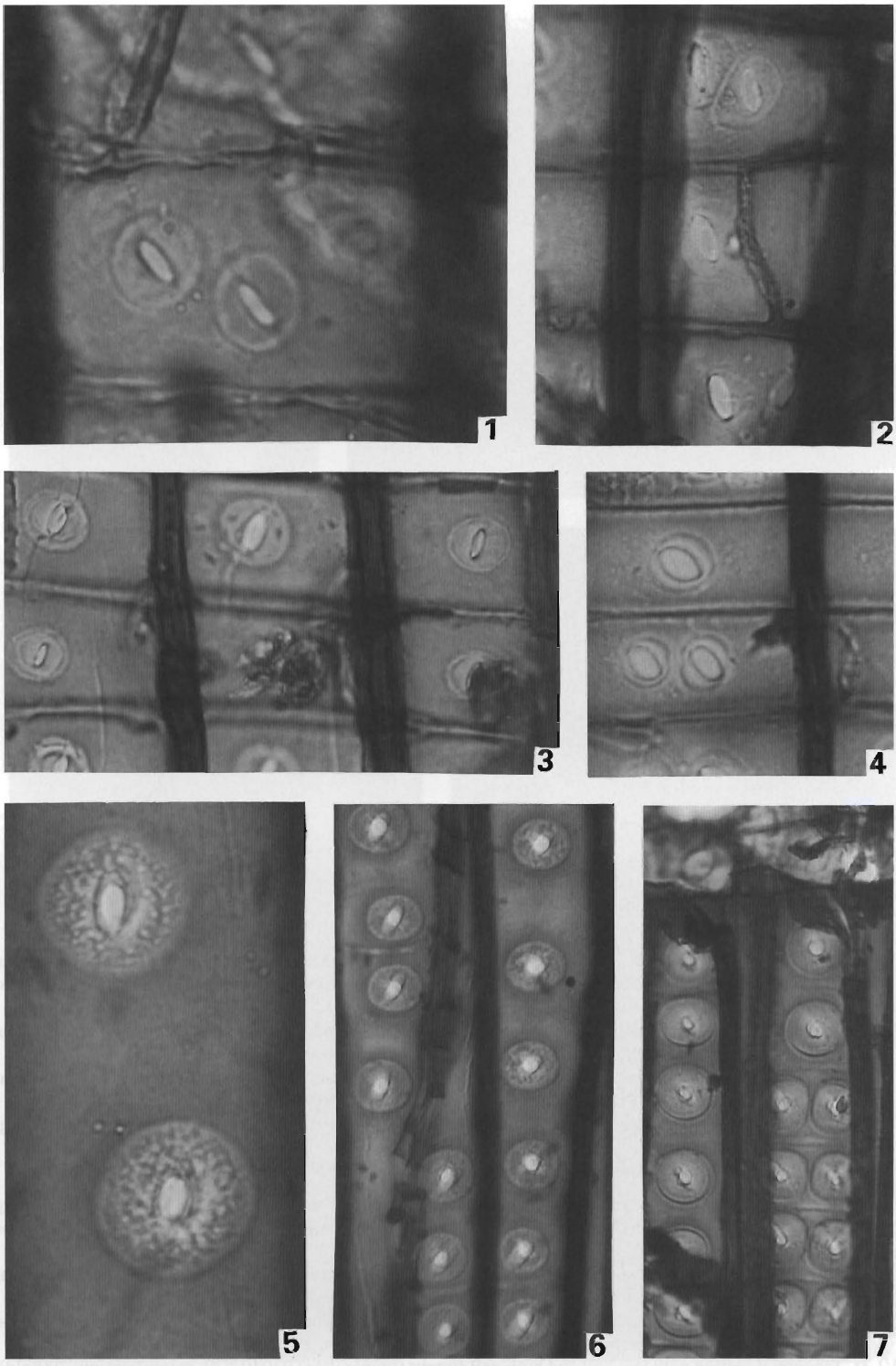
V-3: Radial section with cupressoid or podocarpoid cross field pits in the cross field as well as showing a smooth tangential streaked wall (preparation: 020403/x5; magnification: 400fold).

V-4: Radial section with pinoid cross field pits in the cross field as well as showing smooth tangential streaked walls (preparation: 020403/9 magnification: 400fold).

V-5: Radial section with monoseriate bordered pits (preparation: 020403/18; magnification: 630fold).

V-6: Radial section with monoseriate, some isolated bordered pits as well as Crassulae (preparation: 020403/25; magnification: 400fold).

V-7: Radial section with monoseriate and biseriate bordered pits as well as Crassulae (preparation: 020403/25 magnification: 400fold).



Tafel V

Tafel VI. Dünnschnittbilder von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. aus dem fluviatilen Teil (Einheit I/IIu) des Zwischenmittels (GWL 4.2) des Tagebaus Groitzscher Dreieck (rezente Auswaschungsrinne I).

VI-1: Tangentialschnitt mit zart getüpfelter Holzparenchymquerwand, zweireihigem Strahl und tangentialen Hoftüpfeln (Präparat: 020403/18; Vergrößerung: 200-fach).

VI-2: Radialschnitt mit zerrissenem Kreuzungsfeld, makroskopisch als Bruchfläche im Holz sichtbar (Präparat: 020403/22; Vergrößerung: 100-fach).

VI-3: Tangentialschnitt mit niedrig- und hochzelligen Strahlen (Präparat: 020403/29; Vergrößerung: 200-fach).

VI-4: Tangentialschnitt mit zweizelligem Strahl (Präparat: 020403/29 Vergrößerung: 400-fach).

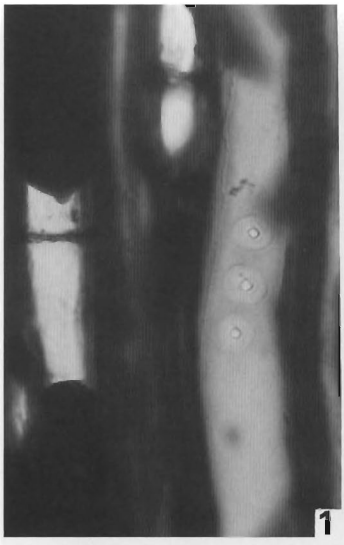
Plate VI. Thin-layer section pictures of *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. originating from the fluvial section (unit I/IIu) of the interburden (GWL 4.2) of Groitzscher Dreieck open-cast mine (recent erosion channels I).

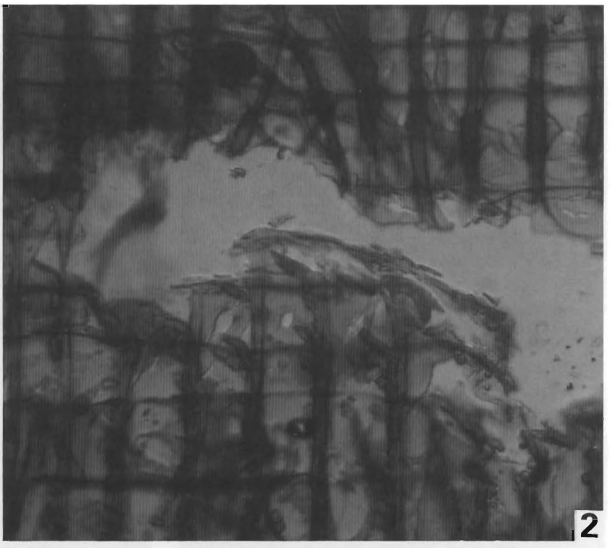
VI-1: Tangential section with two slightly pitted wood parenchyma cross walls, two-rowed streak and tangential bordered pits (preparation: 020403/18; magnification: 200fold).

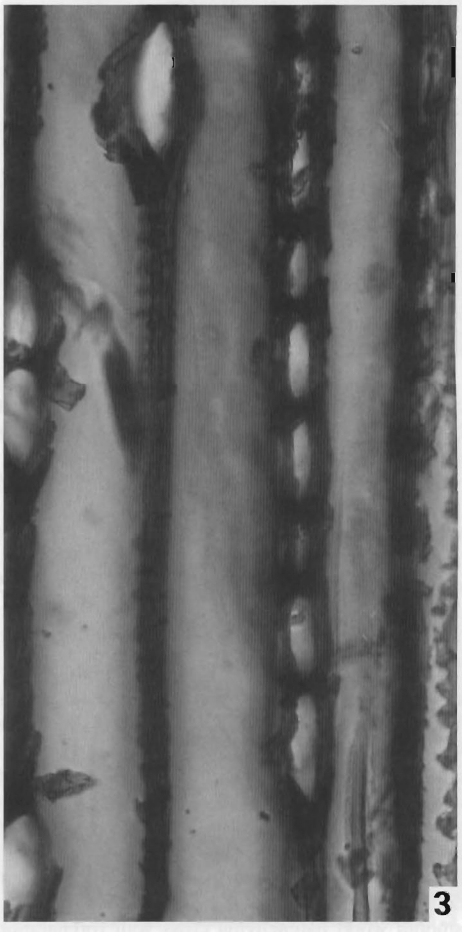
VI-2: Radial section with torn cross field, can macroscopically be recognised as a rupture surface in the wood (preparation: 020403/22; magnification: 100fold).

VI-3: Tangential section with low-cell and high-cell streaks (preparation: 020403/29; magnification: 200fold).

VI-4: Tangential section with two-cell streak (preparation: 020403/29 magnification: 400fold).







Tafel VI

Tafel VII. Dünnschnittbilder von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. aus dem fluviatilen Teil (Einheit I/IIu) des Zwischenmittels (GWL 4.2) des Tagebaus Groitzscher Dreieck (rezente Auswaschungsrinne I).

VII-1: Tangentialschnitt mit Holzparenchym und glatten Holzparenchymquerwänden (Präparat: 020403/25; Vergrößerung: 200-fach).

VII-2: Tangentialschnitt mit Holzparenchym und einzelligen sowie mehrzelligen Strahlen (Präparat: 020403/25; Vergrößerung: 100-fach).

VII-3: Tangentialschnitt mit Holzparenchym und glatter Holzparenchymquerwand (Präparat: 020403/25; Vergrößerung: 200-fach).

VII-4: Tangentialschnitt mit Holzparenchym und glatter Holzparenchymquerwand (Präparat: 020403/25 Vergrößerung: 400-fach).

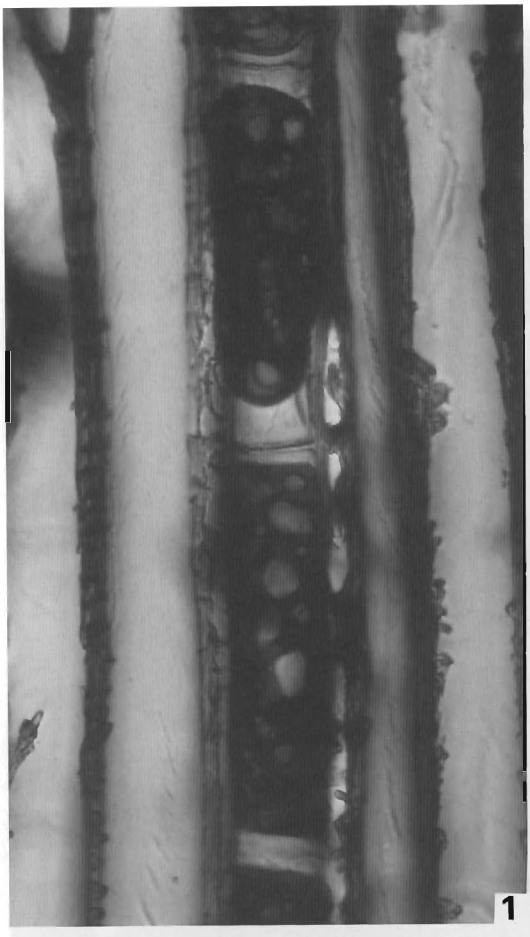
Plate VII. Thin-layer section pictures of *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. originating from the fluvial section (unit I/IIu) of the interburden (GWL 4.2) contained in Groitzscher Dreieck open-cast mine (recent erosion channel I).

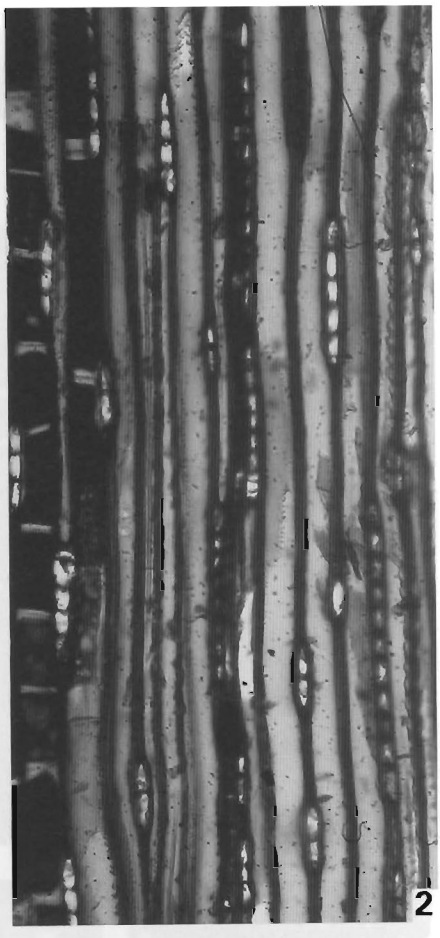
VII-1: Tangential section with wood parenchyma and smooth wood parenchyma cross walls (preparation: 020403/25; magnification: 200fold).

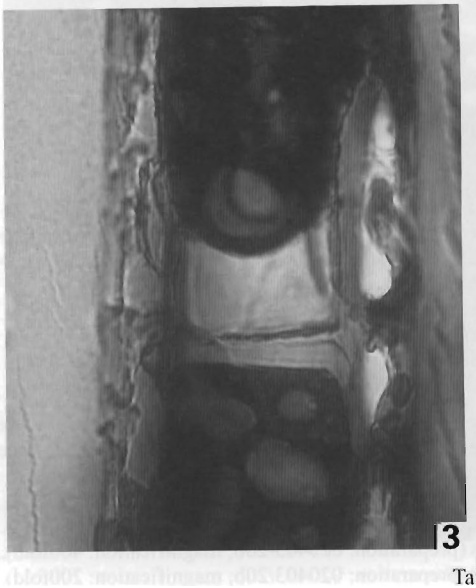
VII-2: Tangential section with wood parenchyma and unicellular and multicellular streaks (preparation: 020403/25; magnification: 100fold).

VII-3: Tangential section with wood parenchyma and smooth wood parenchyma cross wall (preparation: 020403/25; magnification: 200fold).

VII-4: Tangential section with wood parenchyma and smooth wood parenchyma cross wall (preparation: 020403/25 magnification: 400fold).







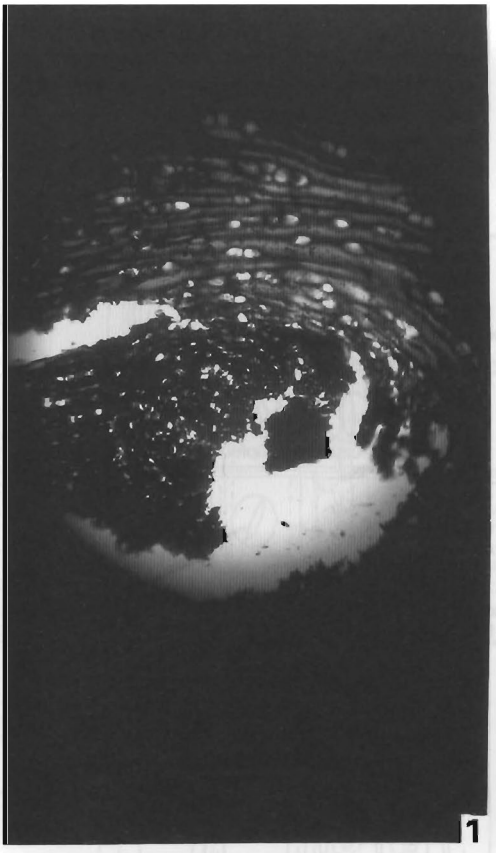
Tafel VII

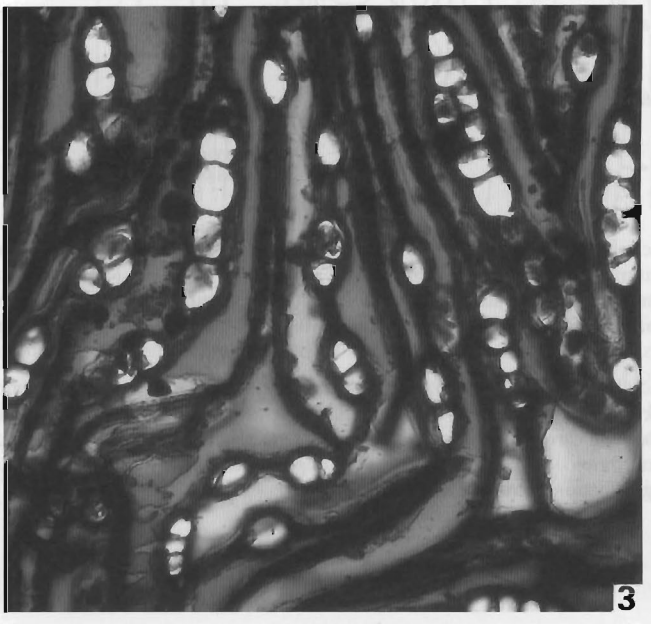
Tafel VIII. Dünnschnittbilder von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. aus dem fluviatilen Teil (Einheit I/IIu) des Zwischenmittels (GWL 4.2) des Tagebaus Groitzscher Dreieck (rezente Auswaschungsrinne I)

VIII-1: Tangentialschnitt mit blasigen Strahlen (Präparat: 020403/20b; Vergrößerung: 100-fach).
VIII-2: Tangentialschnitt mit blasigen Strahlen (Präparat: 020403/20b; Vergrößerung: 200-fach).
VIII-3: Tangentialschnitt mit blasigen Strahlen (Präparat: 020403/20b; Vergrößerung: 400-fach).
VIII-4: Tangentialschnitt mit blasigen Strahlen (Präparat: 020403/20b; Vergrößerung: 200-fach).

Plate VIII. Thin-layer section pictures of *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. from the fluvial section (unit I/IIu) of the interburden (GWL 4.2) contained in Groitzscher Dreieck open-cast mine (recent erosion channel I).

VIII-1: Tangential section with vesicular medullary rays (preparation: 020403/20b; magnification: 100fold).
VIII-2: Tangential section with vesicular medullary rays (preparation: 020403/20b; magnification: 200fold).
VIII-3: Tangential section with vesicular medullary rays (preparation: 020403/20b; magnification: 400fold).
VIII-4: Tangential section with vesicular medullary rays (preparation: 020403/20b; magnification: 200fold).





Tafel VIII

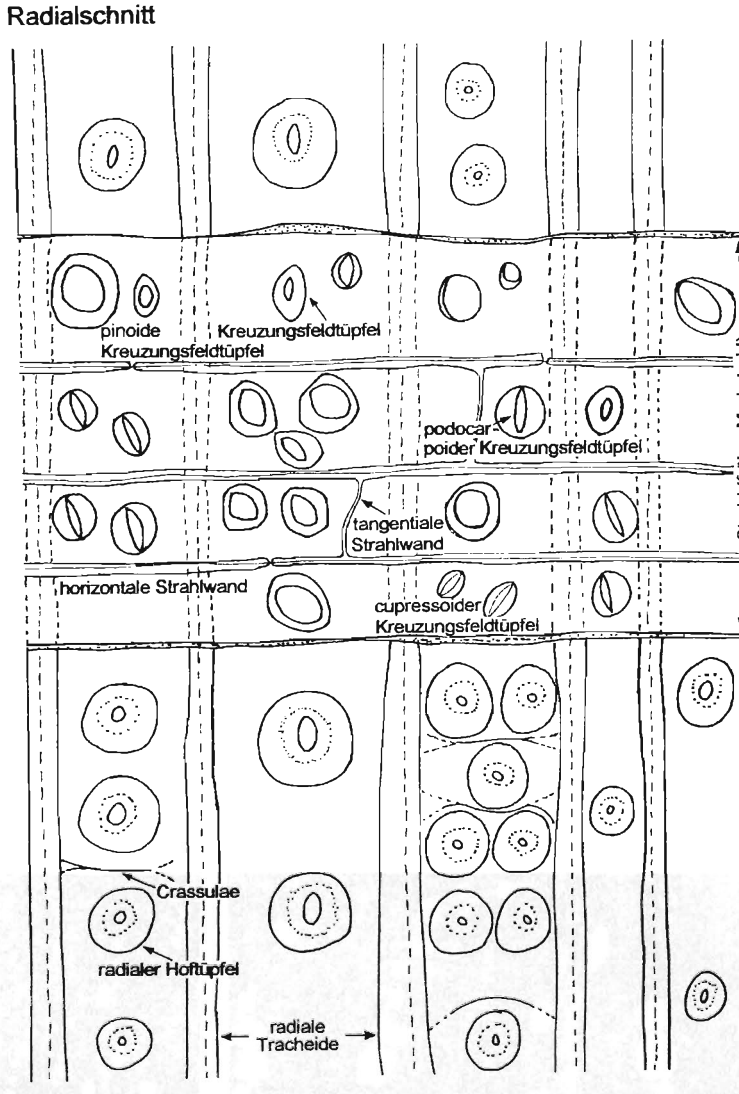


Abb. 14. Holzanatomischer Radialschnitt von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck mit mono- und biseriaten Hoftüpfeln, sowie Crassulae, dem Kreuzungsfeld mit glatten waagerechten und tangentialen Strahlwänden, ohne Indenturen in den tangentialen Wänden und pinoiden, podocarpoiden sowie cupressoiden Kreuzungsfeldtüpfeln (630-fache Vergrößerung, Zeichnung: DOLEZYCH 2004).

Fig. 14. Wood anatomy showing, radial section to *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. originating from Groitzscher Dreieck open-cast mine with monoseriate and biseriate bordered pits, as well as Crassulae, the intersection field showing smooth, horizontally and tangentially streaked walls, without indentures in the tangential walls and pinoid, podocarpoid as well as cupressoid cross field pits (630-fold magnification, drawing: DOLEZYCH 2004).

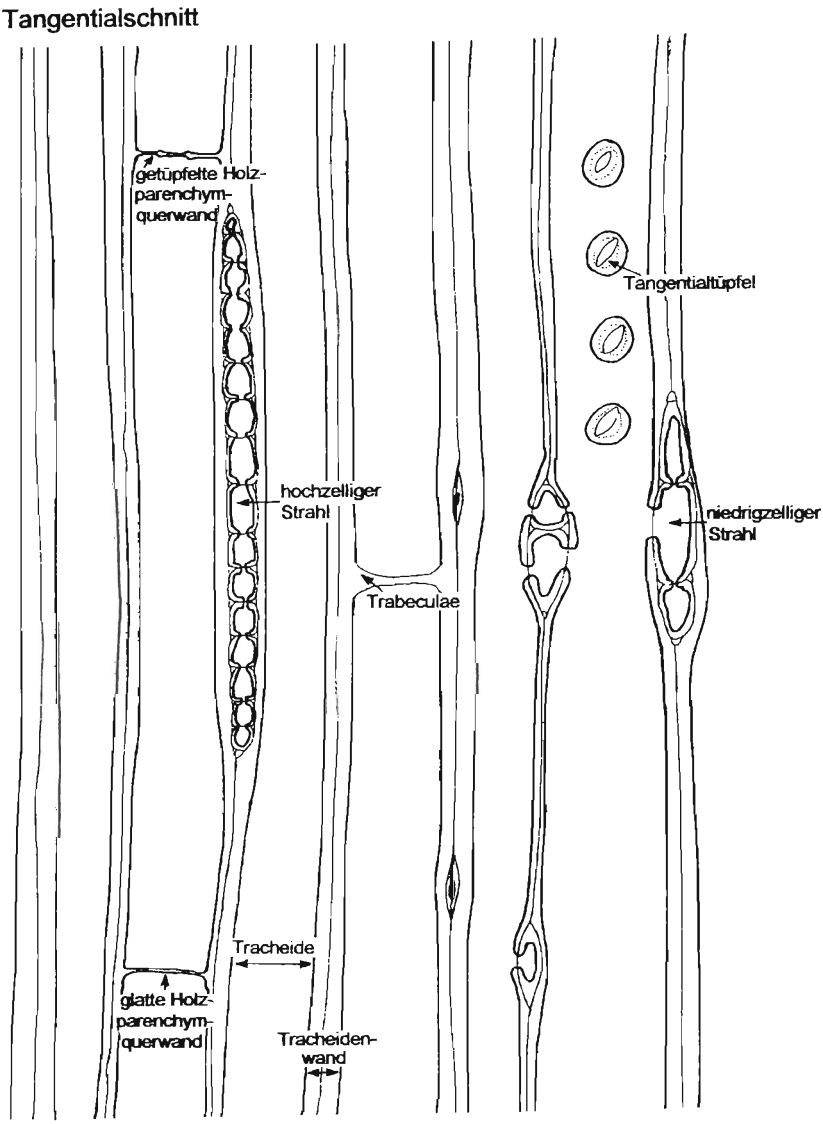


Abb. 15. Holzanatomischer Tangentialschnitt von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck mit tangentialen Tüpfeln und Trabeculae als Zellwandauflagen, einreihigen homogenen Strahlen und nahezu glatt erscheinenden sowie zart getüpfelten Holzparenchymquerwänden (630-fache Vergrößerung, Zeichnung: DOLEZYCH 2004).

Fig. 15. Wood anatomy showing, tangential section to *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. originating from Groitzscher Dreieck open-cast mine with tangential pits and Trabeculae in the form of cell wall appositions, single rowed, homogeneous streaks and wood parenchyma cross walls showing an almost smooth aspect as well as a few pits (630fold magnification, drawing: DOLEZYCH 2004).

schrieben sind, Bedeutung für die Regeneration des Baumes. Diese Auswüchse besitzen viele kleine „buds" (wiederum kleine Auswüchse), die dann auswachsen, wenn die Pflanze im Wasser steht. Wahrscheinlicher ist es, dass diese Auswüchse Astansätze darstellen, die die Fähigkeit besaßen je nach Standortbedingungen wieder neue Äste, sogar bis in die Krone, zu bilden. Die anatomischen Untersuchungen zeigen, dass die Auswüchse mit dem Wurzelholzcharakter bis in das Stammholz verfolgbar sind. Analogien zu dieser Bildungsform finden sich heute bei den Araucariaceen (mündl. Mitteilung durch J. v. D. BURGH und A. FARJON), dokumentiert u. a. bei der bis 30 m hohen Chiletanne (*Araucaria araucan,* WITTMANN 2003, S. 19; KAMMEYER 1960).

4.5.3.3. Bestimmung des Holzes

Die xylotomische Untersuchung eines zu *Doliostrobus* MARION gehörenden Zweiges durch RÜFFLE (RÜFFLE 1976 in RÜFFLE & SÜSS 2001, S. 414) eröffnet die Zuordnung des im Zwischenmittel (GWL 4.2) gefundenen Holzes zur genannten ausgestorbenen Gattung. Das xylotomische Bild dieses beschriebenen Zweiges ist:

„Hoftüpfel auf radialen und tangentialen Tracheidenwänden abietoid einreihig übereinander stehend, Zellen einstöckiger Strahlen bedeutend höher als mittelständige Zellen mehrstöckiger Strahlen, Tüpfel im Kreuzungsfeld mit 1–5 ungleich großen und unterschiedlich geformten Umrissen" (RÜFFLE & SÜSS 2001: S. 415).

Dieses Holz stimmt mit unserer Astholzstruktur (Präparat 020403/x12) sowie auch Teilen des Stammholzes (Präparat 020403/18; Tafel IV-1, IV-3) überein. Lediglich bei der Anzahl der gesichteten Kreuzungsfeldtüpfel erreichte unsere Zählung nur maximal 4 Tüpfel; ein Unterschied der aufgrund der Variabilität einer Art zu vernachlässigen ist. Die paläobotanische Verbindung unseres Holzes zu *Doliostrobus* MARION ist damit gegeben.

Da der vorliegende Xylit zu der Merkmalskombination von *Doliostrobus* MARION nach RÜFFLE & SÜSS noch weitere bedeutende anatomische Merkmale aufweist, dementsprechend eine größere Variation zeigt, muss die Süsssche Beschreibung von einem Zweig um folgende Merkmale, vor allem für das Stammholz, ergänzt werden:

Die radialen Hoftüpfel sind neben einreihiger Abfolge auch zweireihig angeordnet. Sie erscheinen in enger Folge, kommen aber auch locker mit sogar größeren Abständen voneinander vor. Crassulae und Trabeculae werden beobachtet. Die Strahlen sind vereinzelt auch zweireihig. Die einreihigen Strahlen sind von 1 bis 25 Zellen hoch. Die Kreuzungsfeldtüpfelung zeigt sich sehr variationsreich sowohl in Größe als auch in Typ: pinoide, podocarpoide und cupressoide Tüpfel unterschiedlicher Größe kommen vor. Holzparenchym kommt reichlich tangential zoniert vor.

RÜFFLE & SÜSS, die als erste die Kreuzungsfeldtüpfel **„mit den ungleich großen und unterschiedlich geformten Umrissen"** erkennen (RÜFFLE & SÜSS 2001), schlagen einen neuen Kreuzungsfeldtüpfeltyp vor: den doliostroboiden Typ. Damit bezeichnet er die in der Mehrzahl vorkommenden pinoiden Tüpfel und untergeordnet podocarpoide Tüpfel in ihrer Gesamtheit. Entsprechend dieser Typisierung setzt sich unser Holz aus doliostroboiden und zusätzlich noch cupressoiden Kreuzungsfeldtüpfeln zusammen. (Für unser Taxon würde so nur doliostroboid zur Charakterisierung allein nicht ausreichen.)

Bei der Probennahme wurden auch von einem fossilen Baum aus verschiedenen Bereichen Holzproben entnommen. Da diese, einem Exemplar entstammenden Stamm-, Wurzel- und Astholzproben (Präparat 020403/8 [Stammholz], Präparat 020403/10 [Wurzelholz], Präparat 020403/11 [Astholz]), zum Teil ein unterschiedliches anatomisches Bild zeigen, ist es logisch, diese alle einer taxonomischen Art zuzuordnen.

Dass das im Tagebau Groitzscher Dreieck gefundene Holz mit seinem „eigenartigen" taxonomischen Bild bis heute noch nicht beschrieben worden ist, liegt sicherlich an der Variabilität. So ist es wahrscheinlich, dass unter den *Podocarpoxylon*-Hölzern Holzteile unserer Art beschrieben worden sind.

Interessant vor allem in Hinblick auf die Variationsbreite der Kreuzungsfeldtüpfelung ist die Übereinstimmung mit dem Holz *Podocarpoxylon priscum* PRILL aus dem schlesischen Tertiär (PRILL 1913, S. 37–42). PRILL (1913, S. 38) fielen neben den podocarpoiden die pinoiden Tüpfel im Frühholz auf und er erklärte diese „Eiporigkeit" als den ursprünglichen Zustand des Holzes. Diese Konfiguration der Kreuzungsfeldtüpfelung, auch der angegebenen Anzahl von 2 bis 3, maximal 4 Kreuzungsfeldtüpfeln (PRILL 1913, S. 39) im Frühholz ist dem Groitzscher Holz sehr ähnlich. Ergänzt wird das letztgenannte Holz lediglich durch Kreuzungsfeldtüpfel cupressoider Form. Die Markstrahlen des schlesischen Holzes sind mit bis zu 25 Zellen wie in unserem sehr hoch. Im Gegensatz zum mitteldeutschen Relikt führt der schlesische Fund nur sehr spärlich Holzparenchym.

KRÄUSEL (1920, S. 257–264) beschreibt diese Art *Podocarpoxylon priscum* PRILL von demselben Fossil noch einmal später. Er erweitert die PRILLsche Beschreibung durch Fotos, Zeichnungen sowie durch eine Artdiagnose. Unregelmäßige alternierende dichte, an araucarioide Hoftüpfel erinnernde Hoftüpfel stellt er in seiner Zeichnung (in KRÄUSEL 1920, S. 260, Fig. 39) dar. Sich gegenseitig abplattende Hoftüpfel wurden im Holz von Groitzsch nur sehr selten beobachtet und können deshalb auch nicht zu den allgemeinen Merkmalen des mitteldeutschen Fundes gezählt werden.

Dieses *Podocarpoxylon priscum* PRILL wurde von einem Holz, das GOEPPERT als *Cupressinoxylon ponderosum* GOEPPERT (Geologisches Institut Breslau, Nr. 10 aus dem Jahr 1883) von der schlesischen Lokalität Patschkau (Paczków, heute Polen) benannte, beschrieben. GOEPPERT untersuchte dieses Fossil nicht anatomisch. Als *Cupressinoxylon ponderosum* GOEPPERT bezeichnete er es nur aufgrund des hohen Gewichtes dieses stark zusammengedrückten Holzes. Mit dieser Artbezeichnung *Cupressinoxylon ponderosum* GOEPPERT existieren noch mehrere stark gepresste Hölzer aus dem schlesischen Tertiär. Es kann sich dabei um Hölzer unterschiedlicher paläobotanischer Bestimmung handeln. Deshalb wird das GOEPPERTSCHE *„ponderosum"* auch nicht als Epitethon für unseren mitteldeutschen Fund genutzt.

Vom Zweitautor konnte dieses Fossil in Form des getrockneten Holzes im Muzeum Geologiczne Uniwersytetu Wroławskiego (Geologischen Museum der Universität Wrocław) unter der Nr. 2047p MGUWr ausfindig gemacht werden. Dünnschnittpräparate von PRILL und KRÄUSEL existieren nicht mehr. Freundlicherweise wurde es dem Zweitautor ermöglicht, anatomische Schnitte von diesem Fossil anzufertigen. Diese zeigen nicht mehr alle Strukturen, die PRILL und KRÄUSEL in ihren Beschreibungen und Zeichnungen angaben. Jedoch lassen die noch sichtbaren Merkmale das von PRILL und KRÄUSEL beschriebene Fossil erkennen und stimmen mit den von den genannten Autoren beschriebenen Charakteristika überein.

1949 emendiert KRÄUSEL *Podocarpoxylon priscum* PRILL und stellt es zu seiner Formgattung *Circoporoxylon* KRAEUSEL 1949 (1949, S. 157).

Nach palynologischen Untersuchungen durch SADOWSKA (1995, S. 38/39) sind die ältesten Ablagerungen dieser Lokalität Paczków-Graben in den Zeitraum Oligozän bis Miozän einzuordnen. Da es sich bei dem fossilen Holz um ein allochthones Relikt handelt, ist die Möglichkeit der stratigraphischen Einordnung des Fossils vom Miozän bis zur Grenze Oligozän, aber auch noch älter gegeben.

Da dieses Holz mit seinem zeitlichen Einstufungsbereich als auch in vielen Merkmalen mit unserem mitteldeutschen Fund übereinstimmt, muss das beschriebene Holz aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck zur PRILLschen Art gerechnet werden.

Ein Holz mit der beschriebenen Merkmalskombination existiert rezent nicht mehr, es handelt sich um ein ausgestorbenes Fossil. Der nach der Systematik zu beurteilende intermediäre Charakter von *Doliostrobus* zwischen den Familien der Araucariaceae und Taxodiaceae begründet sich nach holzanatomischen Merkmalen vordergründig in der radialen Hoftüpfelung mit ein- und zweireihigen Hoftüpfeln, die getrennt sind und analog, wie bei den Taxodiaceen zu beobachten, Crassulae zeigen. In der podocarpoiden, pinoiden Kreuzungsfeldtüpfelung zeigen sich Ähnlichkeiten mit den Araucariaceen [darunter große Ähnlichkeit zu *Agathis alba* (RUMPHIUS) WARB.)]. Die unregelmäßigen pinoiden Tüpfel (Tafel IV-1, IV-3, IV-4; Abb. 14) zeigen vereinzelt einen Ansatz zum polygonalen Umriss, der dann jedoch nicht, wie bei araucarioiden Holz üblich, seine Entsprechung in der Tüpfelung der Längstracheiden findet.

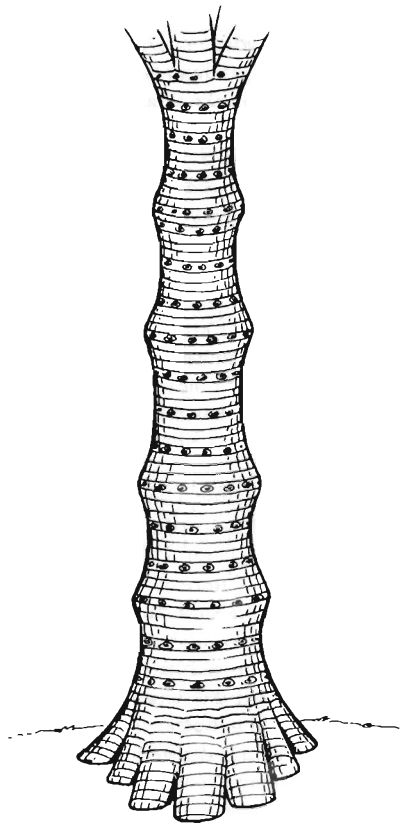


Abb. 16. Rekonstruktion des Baumstammes von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. (Nach Beobachtungen angenommener Durchmesser des Stammes am Stammfuß ca. 1,50 m. Zeichnung: DOLEZYCH 2004).

Fig. 16. Reconstruction of the tree log *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. (The assumed diametre on the basis of the tree log is 1.5 metres. Drawing: DOLEZYCH 2004)

Die benannte Hoftüpfelung bei *Doliostrobus* verrät, dass diese Gattung am „modernen" Bau der Koniferen beteiligt war.

Mit dieser Einstufung besteht Übereinstimmung mit der systematischen Einordnung infolge der untersuchten Morphologie der vegetativen Organe von *Doliostrobus* nach KUNZMANN (KUNZMANN 1999, S. 87) zwischen den Araucariaceae, Taxodiaceae und Geinitziaceae.

Für die Merkmalskombination dieses ausgestorbenen Holzes wird eine neue Formgattung aufgestellt:

***Doliostroboxylon* DOLEZYCH nov. gen.**

The diagnosis for the wood *Doliostroboxylon* DOLEZYCH nov. comb. is set out below:

Secondary gymnospermous wood with neither resin canals nor horizontal tracheids. Growth rings weak, early and late wood not very different. Radial bordered pits uni- and biseriate horizontal rows. Tangential bordered pits frequently observable. Axial parenchyma sparsely scattered and frequently grouped in several tangential ribbons. Rays uniseriate and more rarely biseriate, cell height varies from 1–25 cells, cell height for lower and higher rays can vary inversely, horizontal ray-walls smooth, tangential ray-walls smooth, Cross-field pits pinoid, podocarpoid, and cupressoid; variable sizes.

Damit ist der Unterschied zu *Circoporoxylon, Phyllocladoxylon* und *Podocarpoxylon* in der Form der Kreuzungsfeldtüpfel gegeben, da *Circoporoxylon* und *Phyllocladoxylon* nur Eiporen besitzen und *Podocarpoxylon* nur podocarpoide Tüpfelung aufweist.

Eine auf den paläobotanischen Befunden beruhende Rekonstruktion des Stammes von *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH nov. comb. ist in Abb. 16 gegeben.

4.5.3.4. Diskussion und Vergleiche

SCHMALHAUSEN stellt Äste von *Sequoia carbonaria* (ROGOWITZ) SCHMALHAUSEN, die zusammen mit dem oben benannten Holz von *Cupressinoxylon sequoianum* gefunden wurden, zu *Cupressinoxylon* sp. (SCHMALHAUSEN 1883, S. 289–290). Dieses *Cupressinoxylon sequoianum* wurde von BŮŽEK et al. (1968, S. 159) zu *Doliostrobus* gestellt.

Auffällig erweist sich die Übereinstimmung im Habitus unseres Holzes aus dem Weißelsterbecken mit denen von Kiew: SCHMALHAUSEN (1883, S. 327) berichtet von „... gewöhnlich leicht zerbröckelnden, aber doch öfters mehrere Fuss langen Stücken ...". Diese Eigenschaft, des leicht in radialer Richtung zerfallenden Holzes, von Stämmen beträchtlichen Ausmaßes, wurde vom Zweitautor bei den tertiären Holzfossilien noch nicht beobachtet. Die Ursache dieser Erscheinung scheint in diesem ausgestorbenen Holz zu liegen. Mikroskopische Betrachtungen dieser Bruchzonen (Tafel VI-2) liefern keine weiteren Erklärungen.

Dieses oben genannte *Cupressinoxylon sequoianum* wurde von SCHMALHAUSEN in drei Variationen gefasst: SCHMALHAUSEN (1883) beschreibt aus Süd-West-Russland (heute Ukraine) ein *Cupressinoxylon glyptostrobium* SCHMALHAUSEN (in SCHMALHAUSEN 1883, S. 41 [323]). Diese Art ist dem Holz seiner dritten Variation („Form" n. SCHMALHAUSEN 1883, S. 327) von *Cupressinoxylon sequoianum* (MERKLIN) SCHMALHAUSEN aus den eozänen *Spondylus*-Tonen um Kiew ähnlich. *Cupressinoxylon glyptostrobium* unterscheidet sich aber von dem anderen durch folgende Merkmale: „... einzeln stehende Tüpfel der Holzzellen und sehr große, runde, in den mittleren Markstrahlzellen einzeln auf dem Raum einer Holzzelle stehende Tüpfel." (SCHMALHAUSEN 1883, S. 324). Diese Beschreibung passt teilweise zu dem Groitzscher Holz, ist jedoch dabei zu eng gefasst und berücksichtigt nicht die Vielgestaltigkeit unserer mitteldeutschen Xylitfunde.

Aufgrund der geringen unterschiedlichen Merkmale kann man die beiden oben genannten SCHMALHAUSENschen Hölzer zu der Art, *Cupressinoxylon sequoianum* (MERKLIN) SCHMALHAUSEN dritte Variation, zusammenfassen.

KRÄUSEL (1949, S. 156) hingegen stellte *Cupressinoxylon glyptostrobium* SCHMALHAUSEN als emendierte Art *Circoporoxylon glyptostrobium* (SCHMALHAUSEN) KRAEUSEL zu seiner Formgattung *Circoporoxylon* KRAEUSEL 1949. Zu dieser Gattung zählen Hölzer, die wie *Phyllocladoxylon* und *Podocarpoxylon* gebaut, jedoch bei denen die „Eiporen nie schräg-elliptisch" sind (KRÄUSEL 1949, S. 156). Der Fund aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck besitzt jedoch auch schräg-elliptische Eiporen und kann deshalb nicht zu der KRÄUSELschen Gattung gestellt werden. Da die Zuordnung unseres Fossils zu ***Doliostroboxylon* DOLEZYCH nov. gen.** *(Doliostrobus)* schlüssig ist, sowie dieses sich konspezifisch mit *Podocarpoxylon priscum* erwiesen hat, sollte das letztgenannte Fossil – wie in dieser Arbeit geschehen – zu *Doliostroboxylon* gestellt werden.

Da das Holz aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck im Gegensatz zu der Beschreibung von *Cupressinoxylon glyptostrobium* SCHMALHAUSEN zweireihige Hoftüpfel zeigt, kann das nur als der dritten Form von *Cupressinoxylon sequoianum* (MERKLIN) SCHMALHAUSEN (in SCHMALHAUSEN 1883, S. 327) ähnlich beschrieben werden. Die Anzahl der Markstrahlzellen bewegt sich bei dem Holz aus der Ukraine jedoch um 15 bis 25, damit unterscheidet sich aber unser Fund von dem ukrainischen Relikt durch die neben den hohen Markstrahlen auftretenden, vielen niedrigen, ein- und zweizelligen Strahlen (Tafel III-4; Tafel VII-2; Tafel VI-3, VI-4). Das ukrainische Fossil weicht in verschiedenen Merkmalen von unserem Holz ab und kann daher nicht als konspezifisch betrachtet werden.

Auf Grund der Tatsache, dass von KRÄUSEL *Podocarpoxylon priscum* PRILL und *Cupressinoxylon glyptostrobium* SCHMALHAUSEN zu *Circoporoxylon* KRÄUSEL gestellt wurden, liegt es nahe auch andere *Podocarpoxylon*-Hölzer näher zu untersuchen.

SCHÖNFELD (1955) beschreibt aus der oligozänen Braunkohle (Flöz IV) von Böhlen bei Leipzig zwei Kieselhölzer als *Podocarpoxylon*-Hölzer; einmal *Podocarpoxylon angustiporosum* SCHOENFELD und das andere als *Podocarpoxylon knowltonii* KRAEUSEL. Das taxonomische Bild des erstgenannten Fossils enthält die Merkmale unseres Holzes, die Grenzen sind jedoch enger gesetzt: Beide Hölzer besitzen nur die podocarpoiden Kreuzungsfeldtüpfel, ihnen fehlen die pinoiden sowie die cupressoiden Tüpfel. Sie zeichnen sich beide auch durch nur ein geringes Vorkommen von Holzparenchym aus. Dieses spärliche Auftreten von Holzparenchym entspricht sehr gut der Gothanschen Diagnose von *Podocarpoxylon* GOTHAN 1905. Das zweite Holz unterscheidet sich von unserem durch die „gekörnelte Horizontalwand des Holzparenchyms" sowie „gekörnelte Tangentialwände" (SCHÖNFELD 1955, S. 18), Eigenschaften, die in unserem Holz nur sehr selten zu beobachten sind. Diese genannten Wände erscheinen in unserem vorliegenden Holz meist glatt (Tafel IV-1, IV-2, IV-4; Tafel V-1, V-3, V-4).

Ein weiteres *Podocarpoxylon*-Holz, welches Merkmale des vorliegenden Fossils aufweist, ist *Podocarpoxylon helmstedtianum* GOTTWALD und stammt aus der eozänen Braunkohle von Helmstedt (GOTTWALD 1966). Aufgrund des reichlich in diesem Holz vorkommenden Holzparenchyms (GOTTWALD 1966, S. 81) erweitert GOTTWALD mit der Bezeichnung seines Fundes als *Podocarpoxylon* bereits schon die Definition von *Podocarpoxylon* GOTHAN 1905. Dieses Merkmal steht im Einvernehmen mit unseren Beobachtungen. Von unserer Art existieren Holzbereiche mit nur spärlichem Holzparenchym aber auch Areale mit sehr viel Holzparenchym in tangentialen Bändern (Tafel VII-2). Die Unterschiede zu unserem Relikt liegen in der Anzahl der Strahlzellen, die GOTTWALD bei seinem Fund mit nur maximal 8 angibt. In unserem Holz wurde eine Höhe von 1 bis 25 Zellen ermittelt. Der Hauptunterschied besteht vor allem in dem Fehlen des bedeutenden diagnostischen Merkmals der pinoiden Kreuzungsfeldtüpfel bei *Podocarpoxylon helmstedtianum* (GOTTWALD 1966, S. 81).

4.6. Teilzusammenfassung Hölzer (Einregelung, Isotope, Paläobotanik)

- Einregelungsmessungen an fossilen Hölzern zeigen eine für das obereozäne Flussregime des Zwickau-Altenburger Flusssystems im südlichen Weißelsterbecken charakteristische dominante Süd-Nord-Strömung. Dabei ist das beobachtete Massenvorkommen von eingeregelten Stämmen mit Längen bis 9 m und maximalen Durchmessern bis 1,8 m auf die Verfrachtung der Baumstämme im Zuge von Hochwasserereignissen zurückzuführen.
- Isotopenuntersuchungen an der Holzzellulose stützen die These deutlich höherer Temperaturbedingungen und einer höheren Verfügbarkeit an atmosphärischem CO_2 für die Photosynthese der Bäume während ihrer nach Jahrringschätzungen 400 bis 500 Jahre andauernden Lebenszeit im Obereozän.
- Die Mehrzahl der im fluviatilen Abschnitt des obereozänen Sedimentmittels massenhaft auftretenden fossilen Hölzer gehört zur ausgestorbenen Gattung *Doliostroboxylon*. Nach ihren xylotomischen Merkmalen, die eine Stellung zwischen den Araucariaceae und den Taxodiaceae belegen, macht sich die Aufstellung einer neuen Formgattung *Doliostroboxylon* DOLEZYCH nov. gen. notwendig. Damit besteht Übereinstimmung mit den karpologischen und blattmorphologischen sowie den blattanatomischen Befunden (Zapfen, Blätter) von *Doliostrobus taxiformis* (STERNBERG) Z. KVAČEK emend. KUNZMANN.

5. Zur Taphonomie und Rekonstruktion der Landschaft und azonalen Vegetation (Abb. 17, 18; Tafel IX)

Neben den beschriebenen Hölzern aus dem ehemaligen Tagebau Groitzscher Dreieck bei Lucka (Landkreis Borna) liegen von drei Fundorten im Bereich von Flöz II/III Makrofloren aus karpologischen Belegen (Frucht- und Samenreste) und Blattfossilien vor. Sie lassen sich in den obereozänen Florenkomplex Hordle-Zeitz (MAI 1995, MAI & WALTHER 1985, 2000, WALTHER 1990) einordnen (Abb. 17), der sich unter anderem durch eine laurophylle Vegetation und ein fast völliges Fehlen von arktotertiären Florenelementen auszeichnet (WALTHER 1994). In ihm sind wichtige Familien

mit tropischen Elementen noch vorhanden, spielen aber nicht mehr die entscheidende Rolle. Pollenstratigraphisch wird der Florenkomplex mit den Bildern von Profen (Pg.-Zone 17 (früher „Etzdorfer Bild") und Zeitz (Pg.-Zone 18) charakterisiert (KRUTZSCH et al. 1992, MAI & WALTHER 2000).

Die Ausbeute an pflanzlichen Makroresten war im Tagebau Groitzscher Dreieck relativ gering. Trotz mehrfacher Beprobungen gelang es nur, verschiedentlich Blattfloren in recht fragmentarischem Zustand zu bergen. Die fossilführenden kohligen Schluffe weisen eine sehr feine Schichtung auf. Die darin enthaltenen Blattreste sind so dicht gepackt, dass eine Bergung fast unmöglich wird. Selten gelang es, vollständig erhaltene Blätter zu gewinnen. Im Prinzip ist eine detaillierte Charakteristik nach Blattmorphologie und Blattarchitektur kaum möglich. Auch der Nachweis der Epidermisstruktur (Kutikularanalyse) wurde teilweise durch den hohen Pyrit-Gehalt (in feinster Verteilung) erschwert. Die Gewinnung von Früchten und Samen aus mehr sandigen Horizonten war dagegen erfolgreicher. In dieser Hinsicht ähneln die Fundbedingen von Blattfloren denen wie sie aus dem ehemaligen Tagebau Phoenix-Nord bekannt sind (MAI & WALTHER 1985, 2000). Im Vergleich mit den anderen obereozänen Fundpunkten in Tagebauen des nordwestsächsischen Raumes liegen aus dem ehemaligen Tagebau Groitzscher Dreieck bedeutend weniger Belege von Makrofloren vor. Eine wesentliche Ursache ist natürlich in den im Vergleich mit anderen Fundorten weniger häufigen Befahrungen des Tagebaues zu sehen. Trotzdem konnten aus den Aufsammlungen 37 Arten bzw. Gattungen bestimmt werden. Es sind vorrangig Belege von Früchten und Samen, die eindeutig zu dem oben genannten Makroflorenkomplex gehören. Ihre Auswertung ergibt eine gute Übersicht über das im Obereozän herrschende Vegetationsbild. Die Karpo-Floren einschließlich der Koniferenreste enthalten folgende Taxa (nach der Häufigkeit geordnet; n. MAI & WALTHER 2000: S. 10):

1. Fundpunkt (Tonschicht ca. 1,5 m mächtig in Flusssanden, etwa in Position von Flöz II/IIIu):

- ***Epacridicarpum colwellense***[4] – tertiäre Art einer ausgestorbenen Gattung der Cyrillaceae (Lederholzartige)
- ***Quasisequoia couttsiae***[4] – tertiäre Art einer ausgestorbenen Taxodiaceae (Sumpfzypressengewächse)
- ***Doliostrobus taxiformis***[4] – tertiäre Art einer ausgestorbenen Koniferenfamilie (Doliostrobaceae)
- ***Steinhauera subglobosa***[4] – ausgestorbene Gattung der Altingiaceae (eng verwandt mit den Hamamelidaceae, Zaubernussgewächsen)
- ***Leucothoe profensis*** – tertiäre Art der Gattung *Leucothea* (Traubenheide), Ericaceae (Heidekrautgewächse)
- ***Pirocarpella aquisgranensis***[4] – tertiäre Art der ausgestorbenen Gattung *Pirocarpella*, Cyrillaceae (Lederholzartige)
- ***Cladiocarya europaea***[4] – tertiäre Art der ausgestorbenen Gattung *Cladiocarya* der Cyperaceae (Riedgrasgewächse)
- ***Symplocos kirstei*** – tertiäre Art der Gattung *Symplocos* „Saphirbeere", Symplocaceae
- ***Calamus daemonorops*** – tertiäre Palmenart, Arecaceae (Palmen)
- ***Phoebe boehlensis*** – tertiäre Art der Gattung *Phoebe*, Lauraceae (Lorbeergewächse)
- ***Retinomastixia glandulosa***[4] – Art der ausgestorbenen tertiären Gattung *Retinomastixia,* Mastixiaceae (kleine Familie, eng mit den Cornaceae, Hartriegelgewächsen verwandt)
- ***Rubus microspermus*** – tertiäre Art der Gattung *Rubus* (Brombeere), Rosaceae (Rosengewächse)
- ***Cupressoconus rhenanus***[4] – tertiäre Art der ausgestorbenen Gattung *Cupressoconus,* Cupressaceae (Zypressengewächse)

2. Fundpunkt (Liegendes von Flöz II/IIIu):

- ***Quasisequoia couttsiae***[4] – s. o.
- ***Doliostrobus taxiformis***[4] – s. o.

[4]) Bei diesen fossilen Sippen handelt es sich immer um Arten von Formgattungen (Morphogenera)

Abb. 17

- ***Caricoidea nitens***[4] – tertiäre Art der ausgestorbenen Gattung *Caricoidea,* Cyperaceae (Riedgrasgewächse)
- ***Azolla prisca*** – tertiäre Art der Gattung *Azolla,* Azollaceae (Algenfarngewächse)
- ***Vallisneria stylosa*** – tertiäre Art der Gattung *Vallisneria* (Wasserschraube), Hydrocharitaceae (Froschbissgewächse)
- ***Eotrigonobalanus andreanszkyi***[4] – Art (Frucht) der ausgestorbenen, intermediären Gattung *Eotrigonobalanus,* Fagaceae (Buchengewächse)
- **Palmae, sp.** – Palmenrest, Arecaceae (Palmen)
- ***Phoebe boehlensis*** – s. o.
- ***Becktonia hantonensis***[4] – tertiäre Art der ausgestorbenen Gattung *Becktonia,* Moraceae (Maulbeerbaumgewächse)
- ***Symplocos kirstei*** – s. o.
- ***Gironniera pyriformis*** – tertiäre Art der Gattung *Gironniera,* Ulmaceae (Ulmengewächse)
- ***Steinhauera subglobosa***[4] – s. o.
- ***Cladiocarya europaea***[4] – tertiäre Art der ausgestorbenen Gattung *Cladiocarya,* Cyperaceae (Riedgrasgewächse)
- ***Eomastixia bilocularis***[4] – tertiäre Art der ausgestorbenen Gattung *Eomastixia,* Mastixiaceae, (kleine Familie, eng mit den Cornaceae, Hartriegelgewächsen verwandt)
- ***Ternstroemia bartonensis*** – tertiäre Art der Gattung *Ternstroemia,* Theaceae (Teestrauchgewächse)
- ***Vaccinium* cf. *reichwaldianum*** – tertiäre Art der Gattung *Vaccinium* (Heidelbeere, Preiselbeere), Ericaceae (Heidekrautgewächse)
- ***Schefflera waltheri*** – tertiäre Art der Gattung *Schefflera,* Araliaceae (Araliengewächse)
- ***Carpolithes heerii***[4] – tertiäre Art der Sammelgattung *Carpolithes* für unbestimmbare Früchte und Samen
- ***Microdiptera parva***[4] – tertiäre Art der ausgestorbenen Gattung *Microdiptera,* Lythraceae (Blutweiderichgewächse)
- ***Ottelia minutissima*** – tertiäre Art der Gattung *Ottelia,* Hydrocharitaceae (Froschbissgewächse)
- ***Rubus microspermus*** – s. o.
- ***Laurocarpum* sp.**[4] – tertiäre Formgattung der Lauraceae (Lorbeergewächse)

Abb. 17. Der obereozäne Makroflorenkomplex Hordle-Zeitz (MAI & WALTHER 2000).
(1 ... *Sterculia labrusca* UNGER, Mosel bei Zwickau; 2, 6, 8 ... *Daphnogene cinnamomea* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH, Klausa bei Altenburg, Mosel bei Zwickau; 3 ... *Viscophyllum weylandii* (WALTHER) WALTHER, Haselbach; 4 ... *Eotrigonobalanus furcinervis* (ROSSMAESSLER) WALTHER & KVAČEK ssp. *Furcinervis* KVAČEK & WALTHER; 5 ... *Actinodaphne pseudogermarii* WALTHER; 7 ... *Toddalia hofmannii* WALTHER; 9 ... *Dryophyllum curticellense* (WATELET) SAPORTA & MARION; 10 ... *Laurophyllum knauense* WALTHER; 11, 16 ... *Rodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK; 12 ... *„Illicium" geiseltalense* JÄHNICHEN; 13 ... *Icaciniphyllum artocarpites* (ETTINGHAUSEN) KVAČEK & BŮŽEK; 14 ... *Laurophyllum syncarpifolium* (FRIEDRICH) WILDE; 15 ... *Dryophyllum moselense* FISCHER; 17 ... *Polyspora (Gordonia) saxonica* WALTHER & KVAČEK; 18 ... *Carya altenburgensis* (WALTHER) KVAČEK & WALTHER; 19 ... *Platanus fraxinifolia* (JOHNSON & GILMORE) WALTHER; 20 ... *Doliostrobus taxiformis* (STERNBERG) KVAČEK; 21 ... *Dicotylophyllum altenburgense* WALTHER)

Fig. 17. The Upper Eocene macrofloral complex Hordle-Zeitz (MAI & WALTHER 2000).
(1 ... *Sterculia labrusca* UNGER, Mosel near Zwickau; 2, 6, 8 ... *Daphnogene cinnamomea* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH, Klausa near Altenburg, Mosel near Zwickau; 3 ... *Viscophyllum weylandii* (WALTHER) WALTHER, Haselbach; 4 ... *Eotrigonobalanus furcinervis* (ROSSMAESSLER) WALTHER & KVAČEK ssp. *furcinervis* KVAČEK & WALTHER; 5 ... *Actinodaphne pseudogermarii* WALTHER; 7 ... *Toddalia hofmannii* WALTHER; 9 ... *Dryophyllum curticellense* (WATELET) SAPORTA & MARION; 10 ... *Laurophyllum knauense* WALTHER; 11, 16 ... *Rodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK; 12 ... *„Illicium" geiseltalense* JÄHNICHEN; 13 ... *Icaciniphyllum artocarpites* (ETTINGHAUSEN) KVAČEK & BŮŽEK; 14 ... *Laurophyllum syncarpifolium* (FRIEDRICH) WILDE; 15 ... *Dryophyllum moselense* FISCHER; 17 ... *Polyspora (Gordonia) saxonica* WALTHER & KVAČEK; 18 ... *Carya altenburgensis* (WALTHER) KVAČEK & WALTHER; 19 ... *Platanus fraxinifolia* (JOHNSON & GILMORE) WALTHER; 20 ... *Doliostrobus taxiformis* (STERNBERG) KVAČEK; 21 ... *Dicotylophyllum altenburgense* WALTHER)

- ***Tetraclinis brachyodon*** – tertiäre Gliederzypresse, Cupressaceae (Zypressengewächse)
- ***Carpolithes* sp.**[4] (!) – s. o.
- ***Theaceae* aff. *Polyspora* sp.** – Gattung der Theaceae (Teestrauchgewächse).
- ***Symplocos lignitum*** – s. o.
- ***Saururus bilibatus*** – tertiäre Art der Gattung *Saururus* („Eidechsenschwanz"), Saururaceae
- ***Cephalanthus pusillus*** – tertiäre Art der Gattung *Cephalanthus* (Kopfblume), Naucleaceae (nahe mit Rubiaceae, Rötegewächsen, verwandt)
- ***Mastixia* sp.** – s. o.
- ***Viscum miquelii*** – tertiäre Art von *Viscum* (Mistel), Loranthaceae (Mistelgewächse)
- ***Broussonetia rugosa*** – tertiäre Art der Gattung Broussonetia, Moraceae (Maulbeerbaumgewächse)
- ***Ficus chandleri*** – tertiäre Art der Gattung *Ficus* (Feige), Moraceae (Maulbeerbaumgewächse)
- ***Hydrilla kaynensis*** – tertiäre Art der Gattung *Hydrilla* (Grundnessel), Hydrocharitaceae (Froschbissgewächse)
- ***Sparganium pusilloides*** – tertiäre Art der Gattung *Sparganium* (Igelkolben), Sparganiaceae (Igelkolbengewächse)
- ***Cinnamomum discoideum*** – tertiäre Art der Gattung *Cinnamomum* (Zimtbaum) Lauraceae (Lorbeergewächse)
- ***Pinus* sp.** – Gattung der Pinaceae (Kieferngewächse)

3. Fundpunkt (kleine Blätterlinse, etwa 5,0 m lang und fast 1,5 m mächtig im Liegenden von Flöz II/III, reine Blattflora):

- ***Rhodomyrtophyllum reticulosum***[4] – tertiäre Art der ausgestorbenen Gattung *Rhodomyrtophyllum,* Myrtaceae (Myrtengewächse)
- ***Eotrigonobalanus furcinervis* ssp. *furcinervis***[4] – Unterart (Blätter) der ausgestorbenen intermediären Gattung *Eotrigonobalanus,* Fagaceae (Buchengewächse)
- ***Daphnogene cinnamomea***[4] – tertiäre Art der ausgestorbenen Gattung *Daphnogene,* Lauraceae (Lorbeergewächse)

Die dominierenden Elemente der Makroflora sind Zeugen eines Lorbeer-Koniferen-Waldes (Mai 1981, 1995, Mai & Walther 2000, Wilde 1989) auf relativ saurem, nährstoffarmen Substrat. Es wird sich vermutlich um die braunkohlenbildende Gesellschaft handeln, die ganz in der Nachbarschaft das Flöz II/III des Abbaufeldes zusammensetzte (Mai 1995, Mai & Walther 2000: S. 12). Nach der Monodominanz von *Doliostrobus taxiformis* und *Quasisequoia couttsiae* in der Flora sehen Mai & Walther (1985: S. 151, 2000: S. 47) darin einem *„Athrotaxis"(= Quasisequoia)-Doliostrobus*-Lauraceen-Wald oder einen Taxodiaceen-Lauraceen-Wald, der aus einigen Obereozän-Floren Mitteleuropas bekannt ist, so z. B. im zentralen Weißelsterbecken um Leipzig (Borna, Borna-Ost, Deuben, Espenhain, Haselbach, Knau, Phoenix-Nord, Profen, Schleenhain, Wählitz, Witznitz, Alberstedt, Kayna-Süd, Mücheln; Mai & Walther 1985, 2000) und in seinen Randgebieten wie Alberstedt, Stedten (Friedrich 1883), Deuben, Wählitz (Hunger 1938).

Untersucht man die Ökologie der einzelnen Florenelemente, so stellen die ausgestorbenen Koniferen *Quasisequoia couttsiae* (Endlicher) Kunzmann (Cupressaceae sensu lato „Taxodiaceae") und *Doliostrobus taxiformis* (Sternberg) Z. Kvaček var. *sternbergii* Mai & Walther ex Kvaček (Doliostrobaceae) als „Riesenkoniferen" die Hauptproduzenten der Biomasse dar, die für die Kohlebildung außerordentliche Bedeutung gehabt haben müssen (Kunzmann 1999, Kvaček 2002). Vertreter der Cupressaceae wie die Formgattung *Cupressoconus* (*C. rhenanus* Kilpper) und die tertiäre Gliederzypresse, *Tetraclinis brachyodon* (Brongniart) Mai & Walther kommen dagegen nur akzessorisch vor. Dabei ist das Auftreten von *Cupressoconus* im ehem. Tagebau Groitzscher Dreieck der bisher einzige Nachweis im Obereozän Nordwestsachsens.

Als weitere waldbildende Gehölze treten laurophylle Sippen der Fagaceae wie die intermediäre Gattung *Eotrigonobalanus* Walther & Kvaček; *E. furcinervis* (Rossmaessler) Walther & Z. Kvaček ssp. *furcinervis* (Kvaček & Walther) Kvaček & Walther, *E. andreanszkyi* (Mai) Kvaček & Walther (Kvaček & Walther 1989a) auf. Die in jüngster Zeit in Nordost-Grie-

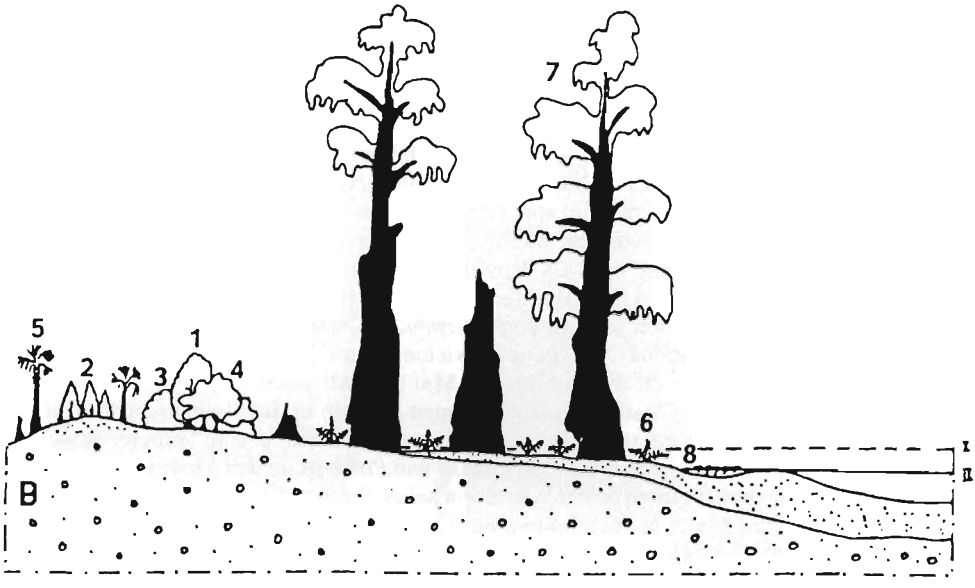


Abb. 18. Vegetationsprofil der fossilen Pflanzengemeinschaft von Scheiplitz am Westrand des eozänen Weißelsterbeckens: Lorbeer-Koniferenwälder und Myricaceen-Buschmoore (FISCHER 1990).
(1 ... Lauraceen; 2 ... Myricaceen; 3 ... Myrtaceen; 4 ... Theaceen; 5 ... *Sabal*; 6 ... *Osmunda*; 7 ... *Doliostrobus*; 8 ... *Salvinia*; I ... Hochwasserstand; II ... Niedrigwasserstand.)

Fig. 18. Vegetation profile of the fossil plant community of Scheiplitz situated at the west rim of the Eocene Weißelster basin: Laurel-coniferous tree forests and Myricaceae-Shrubbogs (FISCHER 1990).
(1 ... Lauraceen; 2 ... Myricaceen; 3 ... Myrtaceen; 4 ... Theaceen; 5 ... *Sabal*; 6 ... *Osmunda*; 7 ... *Doliostrobus*; 8 ... *Salvinia*; I ... High water level; II ... Low water level.)

chenland gefundenen mächtigen verkieselten Stämme, die unmittelbar unter einer reichen Blattlage von *Eotrigonobalanus furcinervis* ssp. *furcinervis* geborgen werden konnten, gehören mit größter Wahrscheinlichkeit zu dieser intermediären Art der Fagaceae (SELMEIER & VELITZELOS 2000, VELITZELOS, KVAČEK & WALTHER 1999). Danach lässt sich auf eine hohe Wuchsform dieser charakteristischen paläogenen Gehölzsippe schließen. Diese ausgestorbene Gattung ist von zahlreichen Fundorten aus dem Mittel- und Obereozän, dem Unteroligozän, Oberoligozän und Oligo/Miozän in Europa bekannt und besaß in zahlreichen Floren Oligodominanz. Im Eozän und Oligozän von Nordamerika scheint diese Fagaceae ebenfalls verbreitet gewesen sein, zumindest mit sehr nahe verwandten Arten (WALTHER 2001).

Eotrigonobalanus hat eine breite ökologische Amplitude, die vom Bruchwald- über Auenwaldelement bis zum Vertreter der oberen Baumschicht in den Mixed Mesophytic Forest reicht. Sie ist ein kennzeichnendes Element in den meeresnahen (? paralischen) Floren Mitteleuropas, während sie in den „Vulkanischen Floren" Europas bis auf das Vorkommen in Kleinsaubernitz (Bohrung 1/70) fehlt (z. B. KVAČEK & WALTHER 1995, 1998, 2001, WALTHER 1996, 1999). Ebenfalls ausgestorben ist eine Myrtaceae-Art *Rhodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK (Tafel IX), die wie *Eotrigonobalanus* in vielen obereozänen Floren Nordwestsachsens Oligodominanz besitzen kann (z. B. KVAČEK & WALTHER 1989, MAI & WALTHER 2000, GLINKA & WALTHER 2003). Von Bedeutung ist aber, dass diese Art am Ende des Obereozän in Mitteleuropa nicht mehr auftritt. Vergesellschaftet mit *Rhodomyrtophyllum* kommen die charakteristischen kugeligen Fruchtstände von *Steinhauera subglobosa* PRESL, eine ausgestorbene Art der Altingiaceae, vor. MAI & WALTHER (1985, 2000) stellen zur Diskussion, ob das gemeinsame Auftreten mit *Rhodomyrtophyllum* und teilweise auch mit Vertretern der Lauraceen eventuell auf einen „*Steinhauera subglobosa*-Auenwald" hinweisen kann. An Lauraceen konnten *Phoebe boehlensis*

MAI, *Cinnamomum discoideum* MAI, *Laurocarpum* sp. und *Daphnogene cinnamomea* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH bisher bestimmt werden. Sie gehören vorrangig zu Gehölzen einer unteren Baumschicht. Dazu sind auch Vertreter der Mastixiaceae wie *Retinomastixia glandulosa* (CHANDLER) MAI, *Eomastixia bilocularis* CHANDLER und *Mastixia* sp. sowie die Symplocaceae-Art *Symplocos kirstei* KIRCHHEIMER oder die Araliaceae-Art *Schefflera waltheri* MAI und die Naucleaceae-Art *Cephalanthus pusillus* FRIIS zu rechnen. In den Lorbeer-Koniferen-Wald gehören auch die Theaceae *Ternstroemia bartonensis* (CHANDLER) MAI und *Polyspora* sp., ebenfalls immergrüne Sträucher oder kleine Bäume, während die Ulmaceae-Art *Gironniera pyriformis* MAI in die 2. Baumschicht einzuordnen ist. Möglicherweise als Liane wachsend, konnte *Rubus microspermus* C. et E. M. REID nachgewiesen werden. Als Semiparasit kommt *Viscum miquelii* (GEYLER & KINKELIN) CZECZOTT (Loranthaceae) nach Blattfunden mit der charakteristischen Epidermisstruktur vor. Reine Moorwaldelemente sind z. B. *Epacridicarpum colwellense* CHANDLER, eine ausgestorbene Cyrillaceae-Art (immergrüne Sträucher bzw. kleine Bäume), weiterhin die Ericaceae *Leucothoe profensis* MAI, *Vaccinium* cf. *reichwaldianum* MAI und evtl. auch die ausgestorbene Lythraceae-Art *Microdiptera parva* CHANDLER. Diese Sippen gehören in die Strauchschicht. Auch die sabaloide Palme *Calamus daemonorops* (UNGER) CHANDLER, deren rezente Vertreter ausschließlich in den Paläotropen verbreitet sind, gehört ebenso wie *Pinus* sp. in den Moorwald.

Einen nicht unerheblichen Anteil an der Vegetation haben Wasserpflanzen. Als submerse Sippen seien *Vallisneria stylosa* MAI, *Ottelia minutissima* (CHANDLER) MAI und *Hydrilla kaynensis* MAI genannt. Als Vertreter der Schwimmpflanzen kommt der Wasserfarn (Algenfarn) *Azolla prisca* REID & CHANDLER, ein Anzeiger für Eutrophie, vor. Mehr in Ufernähe hatte ein Vertreter der

---

Tafel IX. *Rhodomyrtophyllum* und *Steinhaueria* als weitere vegetationsbestimmende Elemente der Landschaft nach Befunden aus dem Obereozän des südlichen Weißelsterbeckens (Staatliche Naturhistorische Sammlungen zu Dresden).

IX-1: *Rhodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK, paläogene Myrtacea, Tagebau Groitzscher Dreieck, Sachsen, Liegendes Flöz II (Inv.-Nr. MMG GD1).

IX-2: *Rhodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK, Tagebau Peres, Sachsen, Hangendes Flöz II (Inv.-Nr. MMG Pe 169:1).

IX-3: *Rhodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK, abaxiale Cuticula mit Stomata, Innenseite, Tagebau Vereinigtes Schleenhain, Sachsen, Hangendes Flöz II, Präparat TU Dresden, Inst. Botanik (SEM, Maßstabsbalken = 10 µm).

IX-4: *Rhodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK, adaxiale Cutikula, Innenseite, Zellen mit undulierten Antiklinen, Tagebau Vereinigtes Schleenhain, Hangendes Flöz II, Präparat TU Dresden, Inst. Botanik (SEM, Maßstabsbalken = 20 µm).

IX-5: *Steinhauera subglobosa* PRESL, paläogene Altingiaceae, Fruchtstand, Tagebau Groitzscher Dreieck, Liegendes Flöz II (Inv.-Nr. MMG GD 50).

IX-6: *Steinhauera subglobosa* PRESL, Fruchtstand, Tagebau Haselbach, Hangendes Flöz III (Inv.-Nr. MMG Hb s. nr.; Maßstab siehe IX-5).

Plate IX. *Rhodomyrtophyllum* and *Steinhaueria* as other examples of vegetation-determining elements of the landscape according to findings from the Upper Eocene of the southern Weißelster basin (Staatliche Naturhistorische Sammlungen of Dresden).

IX-1: *Rhodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK, Palaeogenic Myrtacea, Groitzscher Dreieck open-cast mine, Saxony, lying seam II (inventory no. MMG GD1).

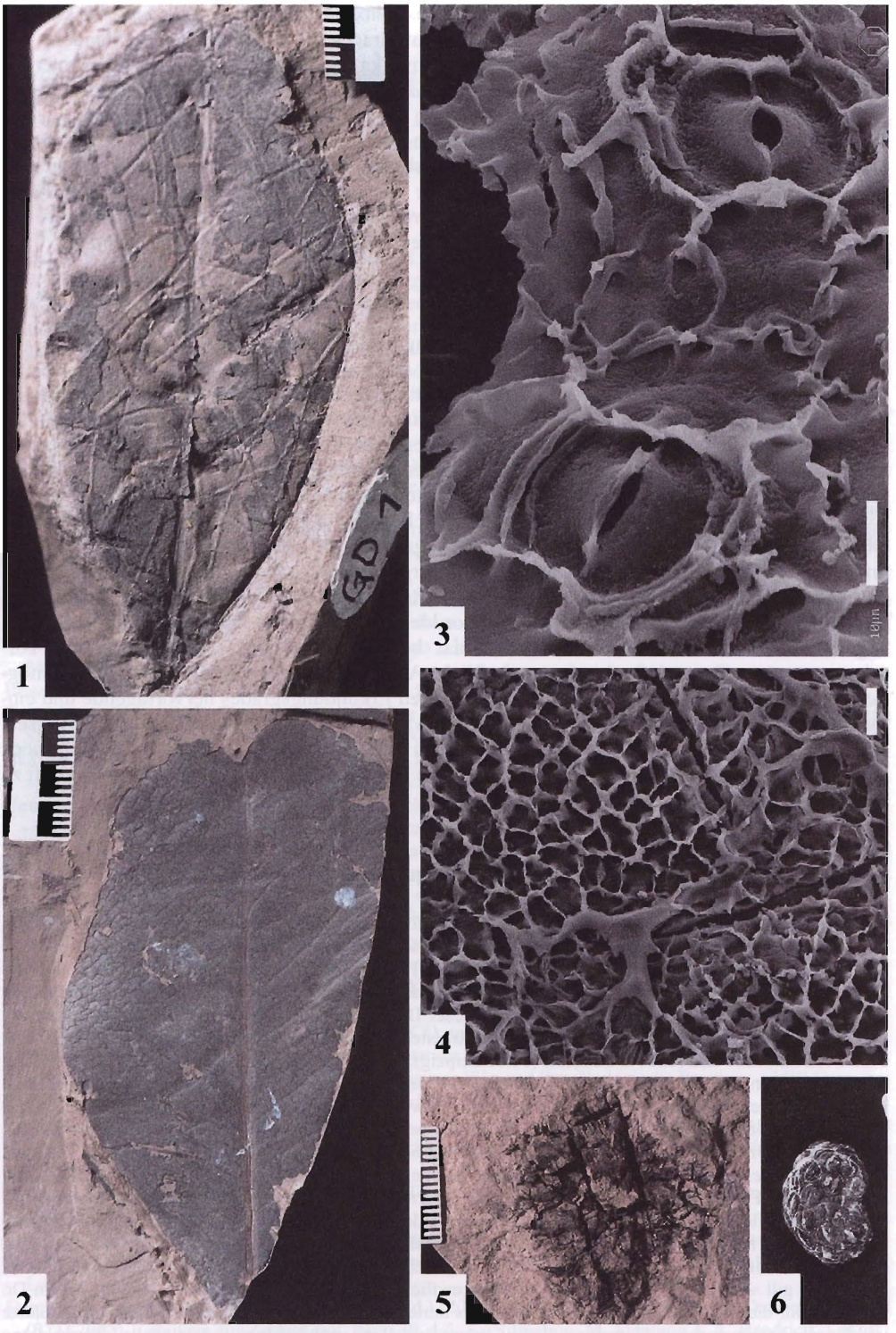
IX-2: *Rhodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK, Peres open-cast mine, Saxony, hanging seam II (inventory no. MMG Pe 169:1).

IX-3: *Rhodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK, abaxial cuticula with stomata, inner side, Vereinigtes Schleenhain open-cast mine, Saxony, hanging seam II, preparation: Dresden Technical University, Inst. of Botanics (SEM, scale ruler = 10 µm).

IX-4: *Rhodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSMAESSLER) KNOBLOCH & KVAČEK, adaxial cuticula, inner side, cells with undulated anticlines, Vereinigtes Schleenhain open-cast mine, hanging seam II, preparation: Dresden Technical University, Inst. of Botanics (SEM, scale ruler = 20 µm).

IX-5: *Steinhauera subglobosa* PRESL, Palaeogenic altingiaceae, multiple fruit, Groitzscher Dreieck open-cast mine, lying seam II (inventory no. MMG GD 50).

IX-6: *Steinhauera subglobosa* PRESL, multiple fruit, Haselbach, open-cast mine, hanging seam III (inventory no. MMG Hb s. nr.; scale as in IX-5).



Tafel IX

Sparganiaceae (Igelkolbengewächse), *Sparganium pusilloides* MAI, seinen Standort. Als krautige Pflanze hatte *Saururus bilibatus* (NIKITIN) MAI (Saururaceae) im Röhricht seinen Standort. Von dieser Familie sind heute nur zwei Arten aus Nordamerika und Ostasien bekannt. Als Vertreter der Cyperaceae konnte schließlich *Cladiocarya europaea* (DOROFEEV) MAI, (Formgattung *Cladiocarya* REID & CHANDLER) bestimmt werden.

Hauptanteil an der Vegetation hatten die azonalen Waldgesellschaften, die die Biomasse für die Kohlenflöze lieferten. Am Beispiel des Vegetationsbildes von Scheiplitz (FISCHER 1990) sind in Abb. 18 die fossilen Pflanzengemeinschaften der das eozäne Landschaftsbild bestimmenden Lorbeer-Koniferen-Wälder dargestellt. Es wird durch die Monodominanz riesenwüchsiger, immergrüner Taxodiaceae mit *Doliostrobus* als eine der Hauptdominanten im Eozän geprägt.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Mit der vorliegenden multidisziplinären Bearbeitung der durch Massenansammlungen fossiler Hölzer gekennzeichneten temporären Aufschlüsse aus dem Tagebau Groitzscher Dreieck wurden wichtige weiterführende lithologisch-geochemische, taphonomische, paläobotanische und paläoklimatische Erkenntnisse zur tertiären Landschaftsentwicklung in einer der bedeutendsten paläogenen Regionen Europas gewonnen. Mit den erzielten Untersuchungsergebnissen wurde das vom Zwickau-Altenburger Flusssystem geprägte Landschaftsbild des Weißelsterbeckens während des Obereozäns durch Detailinformationen über die Vegetation, die ereignisspezifische Flussdynamik und die Sedimentfazies wesentlich erweitert. Die Ergebnisse werden als Ergänzung zu den schon vorhandenen umfangreichen Daten der Landschafts-, Klima- und Vegetationsrekonstruktion in dieser bedeutsamen Region am Südrand der Norddeutsch-Polnischen Senke während des Tertiärs angesehen. Sie dokumentieren desweiteren das hohe Potential eines multidisziplinären Forschungsansatzes für vertiefende wissenschaftliche Aussagen, wie sie vor allem in Gebieten möglich werden, die auf Grund ihres hohen geologischen Erkundungsgrades hervorragende und einmalige Ausgangsbedingungen für komplexe geowissenschaftliche Untersuchungen aufweisen. Das Gebiet Mittel- und Ostdeutschlands mit seinen weitflächigen und auch in der Zukunft noch zugänglichen Aufschlüssen bietet hierfür einmalige Möglichkeiten, die es auch in der Zukunft zu nutzen gilt.

7. Danksagungen

Die Untersuchungen erfolgten ohne finanzielle Projektförderung. Wir danken Herrn Dr. J. VAN DER BURGH (Utrecht, Niederlande) für die Durchsicht des paläobotanischen Manuskriptteils sowie Frau Professor J. H. A. VAN KONIJNENBURG-VAN CITTERT (Leiden, Niederlande) für hilfreiche Diskussionen zu den nomenklatorischen Fragen. Unser Dank gilt desweiteren dem Direktor des Geologischen Museums Wrocław (Polen) Herrn Professor Dr. H. TEISSEYRE für die Ermöglichung neuer Dünnschnitte an dem vergleichenden Holzmaterial. Für die Durchführung der zahlreichen laborativen Arbeiten (Isotopen- und Elementanalyse) gilt unser Dank Frau U. HELMSTEDT und Frau J. FRÖHLICH (beide Leipzig). Ohne die professionelle zeichnerische Umsetzung der geologischen Befunde durch Frau H. EICHHORN (Leipzig) wäre die Präsentation der Arbeit in dieser Form nicht möglich gewesen. Für fachliche Diskussionen und wertvolle Literaturhinweise danken die Autoren den Herren Professor Dr. L. EISSMANN (Leipzig) und Professor Dr. R. GAUPP (Jena) recht herzlich. Herrn K. JENDRYSCHIK (Leipzig) danken wir für seine Unterstützung bei der Probenahme der Hölzer, Herrn W. CZEGKA (Leipzig) für die Unterstützung bei der Literaturrecherche. Für die freundliche Bereitstellung von Fotomaterial danken wir Frau K. HOFFMANN (Leipzig) und den Herren R. BAUDENBACHER, A. RUDOLPH, Professor Dr. L. EISSMANN (alle Leipzig) und J. VOLLBRECHT (Reichwalde) recht herzlich. Herr Dr. K.-U. HEUSSNER (Berlin) unterstützte uns mit Informationen zu den Dendro-Altern der in Tafel I abgebildeten holozänen Baumstämme. Herrn H. PROSCHWITZ (Leipzig) danken wir für die englische Übertragung von Teilen des Manuskriptes. Unser aller Dank gilt vor allem dem Direktor des Naturkundlichen Museums Mauritianum Altenburg, Herrn Dr. N. HÖSER für die Möglichkeit zur Publikation dieses umfangreichen Beitrages und für seine hochgeschätzte und für eine ausgewogene und leserfreundliche Gesamtdarstellung unabdingbare, redaktionelle Überarbeitung des Manuskriptes.

8. Literatur

AUTORENKOLLEKTIV (2000): Braunkohlenplanung im Freistaat Sachsen. – Sächs. Staatsministerium des Innern (Hrsg.): 106 S.

AUTORENKOLLEKTIV (1986–88): Geologische Bohrprofile und Schnitte der Erkundung Braunkohle Groitzscher Dreieck 1986–88 durch VEB Braunkohlebohrungen und Schachtbau Welzow.

AUTORENKOLLEKTIV (1977): Ergebnisbericht Braunkohlenerkundung Groitzscher Dreieck. – Unveröff. Bericht VEB GFE Freiberg.

BECKER, B., KROMER, B. & TRIMBORN, P. (1991): A stable-isotope tree-ring time scale of the Late Glacial/Holocene boundary. – *Nature* **353:** 647–649.

BECKER, B., JÄGER, K.-D., KAUFMANN, D. & LITT, T. (1989): Dendrochronologische Datierungen von Eichenhölzern aus den frühbronzezeitlichen Hügelgräbern bei Helmsdorf und Leubingen (Aunjetitzer Kultur) und an bronzezeitlichen Flusseichen bei Merseburg. – *Jahreschr. f. mitteldt. Vorgesch.* **72:** 299–312.

BECKER, B. (1983): Postglaziale Auwaldentwicklung im mittleren und oberen Maintal anhand dendrochronologischer Untersuchungen subfossiler Baumstammanlagerungen. – *Geol. Jahrbuch,* A, **71:** 45–59.

BECKER, B. (1982): Dendrochronologie und Paläoökologie subfossiler Baumstämme aus Flussablagerungen. – *Mitt. Komm. Quartärforschung österr. Akad. Wiss.* **5:** 120 S., Wien.

BELLMANN, H.-J., SCHÜTTLER, J. & JAKISCH, E. (1981): Zur Nutzung verkieselter tertiärer Hölzer als Rohstoff für die Natursteinindustrie. – *Zschr. f. angew. Geol.* **27,** 1: 547–548.

BOETTGER, T., HILLER, A. & KREMENETSKI, C. (2003): Mid-Holocene warming in north-west Kola Peninsula, Russia: northern pine limit movement and stable isotope evidence. – *The Holocene* **13,** 3: 405–412.

BÖTTGER, T., HILLER, A., JUNGE, F. W., MANIA, D. & KREMENETSKI, C. (2002a): Stabile Isotope, Radiokarbon-, Pollen- und Molluskenanalysen am Spätglazial/Frühholozän Profil Plinz (Thüringen). – DEUQUA-Tagung Potsdam 26. 8.–28. 8. 2002, *Terra Nostra* 2002/6: 51–57.

BOETTGER, T., FRIEDRICH, M., KREMENETSKI, C., HILLER, A. & GEHRE, M. (2002b): Climatic response of stable isotope variations in wood cellulose of pine (*Pinus sylvestris* L.) and their tree-ring widths on the Kola Peninsula, north-western Russia. – In: Proceedings of the „International Conference on the Study of Environmental Change Using Isotope Techniques", Vienna, Austria, 23.–27. 04. 2001, IAEA-CN-80/86: 243–251.

BOWEN, R. (1990): Isotopes and Climates. 483 S., London and New York.

BRAUDRICK, C. A. (1997): The entrainment of large woody debris in streams. – *Geol. Soc. of America,* meeting Salt Lake City 1997, Abstracts with programs; Abstract-Nr. 50294.

BRAUDRICK, C. A., GRANT, G. E., ISHIKAWA, Y. & IKEDA, H. (1997): Dynamics of wood transport in streams: a flume experiment. – *Earth Surface Processes and Landforms* **22,** 7: 669–683.

BREMER, G. (1992): Beiträge zur fluviatilen Entwicklung des Weißelsterbeckens: die Bösdorfer Flusssandzone. – Unveröff. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, Inst. f. Geol.: 83 S. (mit Anlagen).

BUHAY, W. M. & EDWARDS, T. W. D. (1995): Climate in southwestern Ontario, Canada, between AD 1610 and 1885 inferred from Oxygen and Hydrogen isotopic measurement of wood cellulose from trees in different hydrologic settings. – *Quaternary Research* **44:** 438–446.

BURSIK, M. I., KURBATOV, A. V., SHERIDAN, M. F. & WOODS, A. W. (1998): Transport and deposition in the May 18, 1980 Mount St. Helens blast flow. – *Geol. Soc. of America* (GSA), Boulder **26,** 2: 155–158.

BŮŽEK, Č., HOLÝ, F. & KVAČEK, Z. (1968): Die Gattung *Doliostrobus* MARION und ihr Vorkommen im nordböhmischen Tertiär. – *Palaeontographica,* B, **123,** (1–6): 153–172, 8 Abb., 2 Tab., 4 Taf.; Stuttgart. [Festband Weyland].

COWLING, S. A. (1999): Plants and temperature – CO_2 uncoupling. – *Science* **285:** 1104–1105.

DANSGAARD, W. (1964): Stable isotopes in precipitation. – *Tellus* **16:** 436–468.

DOLEZYCH, M. (2005): Koniferenhölzer im 2. Lausitzer Flöz und ihre ökologische Position. – *LPP Contributions Series* **19:** 1–339; Utrecht (The Netherlands) (ISBN 90-393-4034-X).

DOLEZYCH, M., WALTHER, H. & VAN DER BURGH, J. (2001): *Piceoxylon pseudotsugae* GOTHAN emend. VAN DER BURGH aus dem Obermiozän von Ottendorf-Okrilla bei Dresden, Deutschland. – *Feddes Repertorium* **112,** 1–2: 1–9.

DOLL, G. (1984): Zur zyklischen Ausbildung des Tertiärs im Zentrum des Weißelsterbeckens. – *Z. geol. Wiss.* **12,** 5: 575–583.

DOLL, G. (1982): Zur geologischen Entwicklung des zentralen Weißelsterbeckens (unter besonderer Berücksichtigung der Braunkohlenfelder Peres, Groitzscher Dreieck und Schleenhain). – Unveröff. Diss. A, Univ. Leipzig: 164 S.

Deutsche Stratigraphische Kommission (DSK) (Ed.) (2002): Stratigraphische Tabelle von Deutschland 2002 (STD 2002). – Beilage zur *Zschr. Geol. Wiss.* **30,** 4/5; Koordination: M. Menning & A. Hendrich, 1. Aufl.: 1 Tabelle: 96 cm × 130 cm, 1 Beiheft: 17 S.; Druck E. Stein GmbH, Potsdam.

EISSMANN, L. (2005): Graphische Kompilationen zum Tertiär Mitteldeutschlands (Paralipomena I). – *Mauritiana* **19,** 2: 283–288, Altenburg.

EISSMANN, L. (2004): Kapitel 2.1. Die Braunkohlenformation des Weißelsterbeckens mit einem Abriß des Prätertiärs und Quartärs. – In: „Der Braunkohlenbergbau im Südraum Leipzig", Sächs. LA f. Umwelt u. Geol. Dresden & Sächs. Oberbergamt Freiberg (Hrsg.); *Bergbau in Sachsen* **11:** 21–40.

EISSMANN, L. (2002): Tertiary and Quaternary geology of the Saale-Elbe region of Eastern Germany. – *Quat. Sci. Rev.* **21,** 11: 1243–1346.

EISSMANN, L. (1994): Leitfaden der Entwicklung des Präquartärs im Saale-Elbe-Gebiet. – *Altenbg. naturwiss. Forsch.* **7:** 11–53, Altenburg.

EISSMANN, L. (1985): 50 Millionen Jahre Subrosion. Über Persistenz und Zyklizität von Auslaugungsprozessen im Weißelsterbecken. – *Geophys. u. Geol. Geophys. Veröff. d. KMU Leipzig* **III,** 2: 31–65.

EISSMANN, L. (1975): Das Quartär der Leipziger Tieflandsbucht und angrenzender Gebiete um Saale und Elbe – Ein Modell einer Landschaftsentwicklung am Rand der europäischen Kontinentalvereisung. – *Schriftenr. Geol. Wiss.* **2:** 1–263, Berlin.

EISSMANN, L. (1968): Überblick über die Entwicklung des Tertiärs in der Leipziger Tieflandsbucht (Nordwestsachsen). – *Sächsische Heimatblätter* **14,** 1: 25–37, Dresden.

ENGELHARDT, H. (1870): Flora der Braunkohlenformation im Königreich Sachsen. – Preisschrift fürstl. Jablonowskische Gesellsch., Leipzig, **16:** 1–70.

FALBE, JU. & REGITZ, M. (Hrsg.) (1989): Römpp Chemie Lexikon, Band 1. – 762 S., Georg Thieme Verlag: Stuttgart.

FARQUHAR, G. D., O'LEARY & M., BERRY, J. A. (1982): On the relationship between carbon isotope discrimination and the intercellular carbon dioxide concentration in leaves. – *Australian Journal of Plant Physiology* **9:** 121–137.

FIGUEIRAL, I., MOSBRUGGER, V., ROWE, N. P., UTECHER, T., JONES, T. P. & V. D. HOCHT, F. (2002): Role of Charcoal Analysis for Interpreting Vegetation Change and Paloclimate in the Miocene Rhine Embayment (Germany). – *Palaios* **17:** 347–365; Bloomington.

FISCHER, O. (1990): Blätter-Floren aus mitteleozänen Sedimenten des südlichen Weißelster-Beckens (Profen und Scheiplitz). – Unveröff. Diss. Berlin, Humboldt-Universität, Museum für Naturkunde: 142 S. (mit Anlagen).

FRENZEL, B. (Hrsg.) (1987): Untersuchungen zum Hormonhaushalt gesunder und kranker Nadelbäume. – Forschungsbericht KfK-PEF 41 des Europäischen Forschungszentrums für Maßnahmen zur Luftreinhaltung, Univ. Hohenheim: 206 S.

FRENZEL, B. (1985): Viren als mögliche Ursache der Walderkrankungen. – In: v. KORTZFLEISCH, G. (Hrsg.), Waldschäden: Theorie und Praxis auf der Suche nach Antworten. – Oldenbourg: München; Wien; 61–80.

FRIEDLI, H., LÖTSCHER, H., OESCHGER, H., SIEGENTHALER, U. & STAUFFER, B. (1986): Ice core record of the $^{13}C/^{12}C$ ratio of atmospheric CO_2 in the past two centures. – *Nature* **324:** 237–238.

FRIEDRICH, P. (1883): Beiträge zur Kenntnis der Tertiärflora der Provinz Sachsen. – *Abh. geol. Specialkarte Preußen u. benachb. thür. Staaten* **4,** 3: 1–305, Berlin.

FRIELINGSDORF, J. (1992): Klimamarken in neogenen Hölzern vom Niederhein. – *Veröff. Geol. Inst. Univ. Köln* **86:** 118 S.

GLÄSEL, R., (1955): Die geologische Entwicklung Nordwestsachsens. – (2. Aufl.). 149 S., Deutscher Verl. d. Wissenschaften: Berlin.

GLINKA, U. & WALTHER, H. (2003): *Rhodomyrtophyllum reticulosum* (ROSSM.) KNOBLOCH & Z. KVAČEK – ein bedeutendes Florenelement im Tertiär Mitteleuropas. – *Feddes Repert.* **114,** 1–2: 30–55: Berlin.

GOTHAN, W., (1911): Über Braunkohlenhölzer des rheinischen Tertiärs. – *Jahrb. K. Preuß. Geol. Landesanst.* **30:** 516–532; Berlin.

GOTHAN, W. (1905): Zur Anatomie lebender und fossiler Gymnospermen-Hölzer. – *Abh. K. Preuss. Geol. Landesanst.,* N.F. **44:** 1–108, Berlin.

GOTTWALD, H. (1966): Eozäne Hölzer aus der Braunkohle von Helmstedt. – *Palaeontographica,* B, **119:** 76–96.

GRAY, J. & SONG, S. E. (1984): Climatic implication of the natural variations of D/H ratios in tree ring cellulose. – *Earth Planet. Sci. Letters* **70:** 129–138.

GREGUSS, P. & HEERDT, S. (1962): Ein 1500-jähriger Mammutbaum aus dem fluviatilen Unter-Miozän von Malliß (SW-Mecklenburg) *Sequoioxylon* cf. *Germanicum* Greguss. – *Geologie* **11:** 700–705.

HALFAR, J. (1994): Faziesarchitektur und Sedimentologie eines paläogenen fluviatilen Systems im Tagebau Schleenhain. – Unveröff. Diplomarbeit, Universität Göttingen, Institut und Museum für Geologie und Paläontologie: 113 S.

HEMMANN, A. (1993): Umweltrelevanz von $\delta^{13}C$-Klimakorrelationen an Jahrringen rezenter Kiefern (*Pinus sylvestris* L.). – *Berichte des Forschungszentrums Jülich* 2805, Jülich.

HEMPEL, K., BÖTTGER, T., DOLEZYCH, M. & JUNGE, F. W. (2005): Erste dendrochronologische Untersuchungen an *Doliostroboxylon priscum* (PRILL) DOLEZYCH aus dem Obereozän Mitteldeutschlands. – *Mauritiana* **19,** 2: 275–281, Altenburg.

HENKE, C. A. (2002/03): Überschwemmungen in Bangladesh. Physisch-geographische Grundlagen. – Unveröff. Seminararbeit, Univ. Osnabrück WS 2002/2003: 23 S. (http://www.geographie4u.de/studium/arbeiten/bangladesh.pdf)

HERING, D., KAIL, J., ECKERT, S., GERHARD, M., MEYER, E. I., MUTZ, M., REICH, M. & WEISS, I. (2000): Coarse woody debris quantity and distribution in central European streams. – *Internat. Rev. Hydrobiol.* **85,** 1: 5–23.

HERING, D., REICH, M. (1997): Bedeutung von Totholz für Morphologie, Besiedlung und Renaturisierung mitteleuropäischer Fließgewässer. – *Natur und Landschaft* **72,** 9: 383–389.

HEWES, J. J. (1981): Redwoods. The Worlds Largest Trees. – Bison Books Limited: 1–192, London.

HILLER, A., JUNGE, F. W., GEYH, M. A., KRBETSCHEK, M. & KREMENETSKI, C. (2004): Characterising and dating Weichselian organic sediments: a case study from the Lusatian ice marginal valley (Scheibe opencast mine, eastern Germany). – *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.* **205:** 273–294.

HILLER, A., LITT, TH. & EISSMANN, L. (1991): Zur Entwicklung der jungquartären Tieflandstäler im Saale-Elbe-Raum unter besonderer Berücksichtigung von ^{14}C-Daten. – *Eiszeitalter und Gegenwart* **41:** 26–46, Hannover.

HINTZE, E. (1935): Versunkene Wälder bei Bitterfeld. – *Umschau* **39,** Frankfurt a. M.: 960–961, Frankfurt a. M.

HINTZE, E. (1934): Biostratonomische Betrachtungen zur Karte eines umgebrochenen miozänen Braunkohlewaldes im Tagebau Vergißmeinicht der Bitterfelder Louisen-Grube. – *Braunkohle,* Heft 3, Verlag Wilhelm Knapp: 33–38, Halle (Saale).

HOFFMANN, K. & EISSMANN, L. (2004): Glaziäres Labyrinth – Pfadsuche in einer Grundmoränenplatte des skandinavischen Vereisungsgürtels in Mitteleuropa (Tagebau Espenhain, südlich Leipzig). – *Mauritiana* **19,** 1: 17–59, Altenburg.

HUNGER, R. (1938): Schildhaare aus der eozänen Braunkohle des Zeitz-Weißenfelser Reviers. – *Z. Naturwiss.* **57:** 456–461, Halle/Saale.

JUNG, W. (1972): Neue paläobotanische Untersuchungen an den Braunkohlen der Oberpfalz. – *Ber. bayr. bot. Gesellsch.* **43:** 97–108, München.

JUNGE, F. W., JENDRYSCHIK, K., MORGENSTERN, P., TREUTLER, H.-C. & ZERLING, L. (2004): Sediment cores from river dams as flood archives. – *Studia Quaternaria* **21:** 187–195, Warsaw.

JUNGE, F. W., BOETTGER, T., MORGENSTERN, P. & KÜHL, A. (2003): Comparative investigations into the upper Eocene and Quaternary palaeoenvironment and palaeoclimate by geochemical studies of fluvial sediments and incorporated fossil tree trunks (central Germany). – In: Programs with Abstracts, Kurzfassung zum Posterbeitrag 5-36 (BTH 102), XVI. INQUA-Congress, 23.–30. 7. 2003 in Reno (Nevada, USA): 79 (ISBN 0-945920-51-2).

JUNGE, F. W., MORGENSTERN, P., BÖTTGER, T. & DUCKHEIM, W. (2002): Geochemische Indikatoren (C_{org}, S, Fe, $\delta^{13}C_{org}$) zur Abschätzung von Fazies und Ablagerungsbedingungen in obereozän-unteroligozänen Sedimenten Mitteldeutschlands. – *Leipziger Geowissenschaften* **14:** 71–105, (mit 15 Abb., 4 Tab.), Leipzig.

JUNGE, F. W., DUCKHEIM, W., MORGENSTERN, P. & MAGNUS, M. (2001): Sedimentologie und Geochemie obereozän-unteroligozäner Typusprofile aus dem Weißelsterbecken (Tagebau Espenhain). – *Mauritiana* **18,** 1: 25–59, Altenburg.

JUNGE, F. W. (1991): Beiträge zur Geröllmorphometrie: A. Marin transportierte Gerölle. – *ZfI-Mitt.* **163:** 115–143, Leipzig.

JUNK, W. J. (1989): Flood tolerance and tree distribution in central Amazonian floodplains. – In: HOLM-NIELSEN, L. B., NIELSEN, I. C. & BALSLEV, H. (Eds.), Tropical forests. Botanical dynamics, speciation and diversity; Academic Press, London: 47–64.

JURASKY, K. A. (1930): Die Palmenreste der niederrheinischen Braunkohle. – *Braunkohle* **29:** 1117–1149, Halle (Saale).

JURASKY, K. A. (1928): Paläobotanische Braunkohlenstudien, 3. Ein neuer Fund von *Sciadopytis* in der Braunkohle. – *Senckenbergiana Lethaea* **10:** 225–243; Frankfurt (Main).

KAIL, J. & GERHARD, M. (2003): Totholz in Fließgewässern – eine Begriffsbestimmung. – *Wasser & Boden* **55,** 1+2: 49–55.

KAMMEYER, H. F. (1960): Mammutbäume. – *Die Neue Brehm-Bücherei* **256:** 1–100, Dresden.

KEELING, C. D., MOOK, W. G. & TANS, P. P. (1979): Recent trends in the $^{13}C/^{12}C$ ratio of atmospheric carbon dioxide. – *Nature* **277:** 121–122.

KIRCHHEIMER, F. (1937): Grundzüge einer Pflanzenkunde der deutschen Braunkohle. – 153 S., Wilhelm Knapp: Halle (Saale).

KIRCHHEIMER, F. (1933): Zum Vorkommen von Palmenresten in der Niederlausitzer Braunkohle. – *Zentralblatt f. Min.*, Abt. B, 2: 130.

KRÄUSEL, R. (1949): Die fossilen Koniferen-Hölzer (unter Ausschluss von *Araucarioxylon* KRAUS). – *Palaeontographica*, B, **89:** 83–203, Stuttgart.

KRÄUSEL, R. (1920): Die Pflanzen des schlesischen Tertiärs. – *Jahrb. Preuss. Geol. Landesanst.* **38,** II(1–2): 1–338.

KROONENBERG, S. B., HOORN, M. C., MOURA, M. L. & VELDKAMP, A. (1990): Variability in bulk geochemistry of fluvial terrace sands: Consequences for the study of weathering chronosequences. – *Pedologie* XL-1: 19–31.

KRUTZSCH, W., BLUMENSTENGEL, H., KIESEL, Y. & RÜFFLE, L. (1992): Paläobotanische Klimagliederung des Alttertiärs (Mitteleozän bis Oberoligozän) in Mitteldeutschland und das Problem der Verknüpfung mariner und kontinentaler Gliederungen (klassische Biostratigraphie – paläobotanisch-ökologische Klimastratigraphie – Evolutions-Stratigraphie der Vertebraten). – *N. Jb. Geol. Paläont., Abh.* **186** (1–2): 137–253; Stuttgart.

KUNZMANN, L. (1999): Koniferen der Oberkreide und ihre Relikte im Tertiär Europas. – *Abh. Staatl. Mus. Mineral. Geol. Dresden* **45:** 1–191.

KUNZMANN, L. (1994): Rekonstruktion fluviatiler Systeme. Möglichkeiten und Grenzen der Untersuchung mit feldgeologischen und makropaläobotanischen Methoden am Beispiel des paläogenen Zwickau-Altenburger Flusssystems im Weißelsterbecken (NW-Sachsen). – Unveröff. Diplomarbeit, TU Bergakademie, Inst. f. Geol.: 98 S.

KVAČEK, Z. (2002): Novelties on Doliostrobus (Doliostrobaceae), an extinct conifer genus of the European Palaeogene. – *J. Nat. Mus., Nat. Hist. Ser.*, **171** (1–4): 131–175. Prague.

KVAČEK, Z. (1971): Supplementary notes on Doliostrobus Marion. – *Palaeontographica*, B, **135** (3–6): 115–126, 5 Abb., 2 Tab., 2 Taf., Stuttgart.

KVAČEK, Z. & WALTHER, H. (2001): The Oligocene of Central Europe and the development of forest vegetation in space and time on the basis of megafossils. – *Palaeontographica* B, **259:** 125–148, Stuttgart.

KVAČEK, Z. & WALTHER, H. (1998): The Oligocene volcanic flora of Kundratice near Litoměřice, Česke Středohoří volcanic complex (Czech Republic) – a review. – *Acta Mus. Nat. Pragae*, Ser. B, Hist. Natur. **54** (1–2): 1–42, Prague.

KVAČEK, Z. & WALTHER, H. (1995): The Oligocene volcanic flora of Suletice-Berand near Ústi nad Labem, North Bohemia – a review. – *Acta Mus. Nat. Pragae*, Ser. B, Hist. Natur. **50** (1–4): 25–54, Prague.

KVAČEK, Z. & WALTHER, H. (1989): Revision der mitteleuropäischen Fagaceen nach blattepidermalen Charakteristiken, Teil III. *Dryophyllum* DEBEY ex SAPORTA und *Eotrigonobalanus* WALTHER et KVAČEK, gen. nov. – *Feddes Repert.* **100:** 576–601; Berlin.

KÜHNER, R., HILLER, A. & JUNGE, F. W. (1999): Die spätglazialen Ablagerungen der Spree im Tagebau Cottbus-Nord und ihre zeitliche Einordnung unter besonderer Berücksichtigung von ersten ^{14}C-Daten an Hölzern. – *Quartär* **49/50:** 7–20, Erlangen.

LANCASTER, S. T., HAYES, S. K. & GRANT, G. E. (2002): Modeling sediment and wood storage and dynamics in small mountainous watersheds. – Geol. Soc. of America, Cordilleran Section, 98th annual meeting, Corvallis, 13.–15. 5. 2002, Abstracts with programs, 34, 5: 89 (ISSN 0016-7592).

LANGE, P., STEINER, W. & SÜSS, H. (1984): Eichenholzfunde aus den jungquartären Werraschottern bei Immelborn und Breitungen, Bezirk Suhl, DDR. – *Z. geol. Wiss.* **12,** 6: 751–760.

LEUSCHNER, H.-H., DELORME, A., TÜXEN, J. & HÖFLE, H.-C. (1985): Eichenstammlagen in Mooren und Talauen und die Klimaverschlechterung im Subboreal. – *Flora* **177:** 283–295.

LI, H. (1953): A reclassification of Libocedrus and Cupressaceae. – *Journal of Arnold Arboretum* **34:** 17–35, Boston.

LIPPSTREU, L. & STACKEBRANDT, W. (2003): Jänschwalde und die Gliederung des Saale-Komplexes – Ein Kommentar zum Beitrag von WERNER NOWEL. – *Eiszeitalter und Gegenwart* **52:** 84–90.

LOTSCH, D., KRUTZSCH, W., MAI, D. & KIESEL, Y. (1969): Stratigraphisches Korrelationsschema für das Tertiär der Deutschen Demokratischen Republik. – *Abh. Zentr. Geol. Inst. Berlin* **12:** 438 S., Berlin.

LUDWIG, A. & HEERDT, S. (1959): Ein Baumstubben aus dem fluviatilen Untermiozän von Malliß. – *Arch. Nat. Meckl.* **V:** 77–82.

MACDONALD, D. I. M. & JEFFERSON, T. H. (1985): Orientation studies of waterlogged wood: a paleocurrent indicator?. – *J. of Sediment. Petrol.* **55:** 235–239.

MAI, D. H. (1995): Tertiäre Vegetationsgeschichte Europas – Methoden und Ergebnisse. – 691 S., 257 Abb., 14 Taf., 23 Tab.; G. Fischer: Jena, Stuttgart, New York.

MAI, D. H. (1981): Entwicklung und klimatische Differenzierung der Laubwaldflora Mitteleuropas im Tertiär. – *Flora*, **171:** 525–582, Jena.

MAI, D. H. (1976): Fossile Früchte und Samen aus dem Mitteleozän des Geiseltales. – *Abh. ZGI*, H. **26:** 93–149, 5 Abb., 7 Taf.; Berlin.

MAI, D. H. & WALTHER, H. (2000): Die Fundstellen eozäner Floren des Weißelster-Beckens und seiner Randgebiete. – *Altenbg. naturwiss. Forsch.* **13:** 3–59; Altenburg.

MAI, D. H. & WALTHER, H. (1985): Die obereozänen Floren des Weißelster-Beckens und seiner Randgebiete. – *Abh. Staatl. Museum Mineral. Geol. Dresden* **33:** 1–260, Dresden.

MARION, A. F. (1884): Sur les caracteres d'une conifère tertiaire voisine des Dammarèes *(Doliostrobus Sternbergi).* – *C. R. Acad. Sci.* **99:** 821–823, Paris.

MATEJKA, H., PREU, C. & KEHL, M. (2002): Überflutungsgefährdung durch Orkanzyklen in der Chittagong Region (Bangladesh). – *Geographische Rundschau,* Heft 12: Küsten und Deltas, Westermann-Verlag.

MAY, C. L. & GRESSWELL, R. E. (2002): Processes and rates of sediment and wood accumulation during the interval between debris flows in headwater streams of the Oregon Coast Range, United States. – Geol. Soc. of America, Cordilleran Section, 98th annual meeting, Corvallis, 13.–15. 5. 2002, Abstracts with programs, 34, 5: 34 (ISSN 0016-7592).

MEYER, G. (1950): Der Einfluss der geologischen Strukturen im Meuselwitz-Bornaer Braunkohlenrevier auf Planung und Abbau. – *Freiberger Forschungshefte* **1:** 49–51, Freiberg.

MCCARROL, D. & PAWELLEK, F. (2001): Stable carbon isotope ratios of Pinus sylvestris from northern Finland and the potential for extracting a climate signal from long Fennoscandian chronologies. – *The Holocene* **11:** 517–526.

MOSBRUGGER, V., GEE, C. T., BELZ, G. & V. D. HOCHT, F. (1991): An in situ peat forest from the Miocene of the Lower Rhine Embayment (F. R. G.). – In: EDLIN, C. (ed.), L'Arbre. Biology et Development: 640–641, Montpellier.

MOSBRUGGER, V., GEE, C. T., BELZ, G. & ASHRAF, A. R., (1994). Three-dimensional reconstruction of an in situ Miocene peat-forest from the Lower Rhine Embayment, NW Germany – new methods in palaeovegetation analysis. – *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeoecol.* **110:** 295–317; Amsterdam.

MÜLLER, ARN. (1983): Fauna und Palökologie des marinen Mitteloligozäns der Leipziger Tieflandsbucht (Böhlener Schichten). – *Altenbg. naturwiss. Forsch.* **2:** 1–152, Altenburg.

MÜLLER-STOLL, H. (1947): Über die Erhaltungsfähigkeit des Holzes tertiärer Bäume und Sträucher. – *Senckenbergiana* **28:** 67; Frankfurt a. M.

MUTZ, M. (2000): Influences of woody debris on flow pattern and channel morphology in alow energy, sandbed stream reach. – *International Review of Hydrobiology* **85,** 1: 107–121.

NESTMANN, U. (2004): Geochemisch-sedimentologisches Normalprofil des Obereozäns im Raum Espenhain. – Unveröff. Diplomarbeit, TU Bergakademie Freiberg, Inst. f. Geol.: 246 S.

OTTO, A., SIMONEIT, B. R. T., WILDE, V., KUNZMANN, L. & PÜTTMANN, W. (2002): Terpenoid composition of three fossil resins from Cretaceous and Tertiary conifers. – *Rev. Palaeobot. Palynol.* **120** (3–4): 203–215.

PANNEKOEK VAN RHEDEN, J. J. (1926): Einige Bemerkungen über die vom Tornado des 10. August 1925 beim Dorfe Zeeland (Nordbrabant) zerstörten Bäume. – *Natuurhist. Maandblad,* Organ van het Natuurhist. Genootschap in Limburg, 15. Jg., Heft 3: 32.

PETEREK, A. (2003): Neotektonische und morphostrukturelle Entwicklung des Thüringer Waldes und Thüringer Schiefergebirges. – *Zschr. Geol. Wiss.* **30,** 4/5: 277–292.

PÉWÉ, T. L., BERGER, G. W., WESTGATE, J. A., BROWN, P. M. & LEAVITT, S. W. (1997): Eva Interglaciation forest bed, unglaciated East-Central Alaska: Global warming 125,000 years ago. – *Geol. Soc. of Amer., Special Paper* **319:** 54 S.

PIETZSCH, K. (1962): Geologie von Sachsen. – 870 S., Deutscher Verl. d. Wissenschaften: Berlin.

PIETZSCH, K. (1956): Abriss der Geologie von Sachsen. – 200 S., I–XXIV, Deutscher Verl. d. Wissenschaften: Berlin.

PIETZSCH, K. (1951): Abriss der Geologie von Sachsen. – 159 S., I–XXIV, Volk und Wissen: Berlin.

PÖPPELREITER, M. (1992): Sedimentologische Untersuchungen in einem Abschnitt des Thierbacher Flusses im Tagebau Bockwitz. – Unveröff. Ingenieurarbeit, Ingenieurschule der BA Freiberg: 44 S. (mit Anlagen).

PRILL, W. (1913): Beiträge zur Kenntnis schlesischer Braunkohlenhölzer, Teil II. – Inaugural-Dissertation, Königl. Universität Breslau, Druck v. Wilh. Gottl. Korn. 1–68.

RICHTER, H. (1963): Das Vorland des Erzgebirges. Die Landformung im Tertiär. – *Wiss. Veröff. Dtsch. Inst. f. Länderkunde Leipzig* **19/20:** 5–231 (mit 15 Karten, 22 Abbn.).

RODEN, J. S., LIN, G. G. & EHLERINGER, J. R. (2000): A mechanistic model for interpretation of hydrogen and oxygen isotope ratios in tree-ring cellulose. – *Geochim. Cosmochim. Acta* **64:** 21–35.

RÖSSLER, R. (1996): Zum environment eines triassischen „versteinerten Waldes" aus Utah/USA – Beobachtungen auf einer Exkursion. – *Veröff. Museum für Naturkunde Chemnitz* **19:** 71–84.

ROSELT, G. & FEUSTEL, H. (1960): Ein Taxodiazeenholz aus der Mitteldeutschen Braunkohle mit Insektenspuren und -resten. – *Geologie* **9,** 1: 84–101.

ROTH-NEBELSICK, A., UTESCHER, T., MOSBRUGGER, V., DIESTER-HAASS, L. & WALTHER, H. (2004): Changes in atmospheric CO_2 concentration and climate from the Late Eocene to Early Miocene: palaeobotanical

reconstruction based on fossil floras from Saxony, Germany. – *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.* **205,** (1–2): 43–67.

RÜFFLE, L. & SÜSS, H. (2001): Beitrag zur systematischen Stellung der ausgestorbenen Koniferengattung *Doliostrobus* MARION nach holzanatomischen Gesichtspunkten. – *Feddes Repert.* **112:** 413–419.

SADOWSKA, A. (1995): Geology an environmental protection of the Fore-Sudetic block. – *Journal of the Polish Geological Society,* special volume for the meeting „50 years of Polish geological research on Lower Silesia": 1–47, Wrocław.

SCHLESER, G. H., HELLE, G., LÜCKE, A. & VOSS, H. (1999): Isotope signals as climate proxies: the role of transfer functions in the study of terrestrial archives. – *Quat. Sci. Rev.* **18:** 927–943.

SCHLESER, G. H., HELLE, G. & BRÄUNING A. (1995): Kohlenstoffisotope von Bäumen als Klimaindikatoren. – HGF-Report „Paläoklima und Klimaprozesse": 25–26; Thenée Druck: Bonn.

SCHMALHAUSEN, J. (1883): Beiträge zur Tertiärflora Südwest-Rußlands. – *Palaeont. Abh.* **1:** 285–336.

SCHÖNFELD, E. (1955): Die Kieselhölzer aus der Braunkohle von Böhlen bei Leipzig. – *Palaeontographica,* B, **99:** 1–83.

SCHULTZE-MOTEL, J. (1964): Neue Literatur über fossile Gymnospermenhölzer. – *Geologie* **13,** 8: 1029–1033.

SCHULTZE-MOTEL, J. (1962a): Literatur über die Gattung *Dadoxylon* ENDLICHER (*Araucarioxylon* KRAUS). – *Geologie* **11,** 6: 716–731.

SCHULTZE-MOTEL, J. (1962b): Literatur über fossile Gymnospermen-Hölzer (1949–1960). – *Geologie* **11,** 5: 604–619.

SCHWARZBACH, M. (1968): Das Klima des rheinischen Tertiärs. – *Zschr. Dtsch. Geol. Ges.* **118:** 33–68, Hannover.

SELMEIER, A. & VELITZELOS, E. (2000): Neue Aufsammlungen von verkieselten Holzresten aus tertiären Schichten Griechenlands (Lesbos, Kastoria. Thrakien). – *Mitt. Bayr. Staatsslg. Paläont. Hist. Geol.,* **40:** 213–227, 10; München.

SONNINEN, E. & JUNGNER, H. (1995): Stable carbon isotopes in tree rings of a Scot pine (*Pinus sylvestris* L.) from northern Finland. – In: FRENZEL, B., STAUFER, M. M. & WEISS, M. M. (eds.), Problems of stable isotopes in tree rings, lake sediments and peat-bogs as climatic evidence for the Holocene, *Paläoklimaforschung – Palaeoclimate Research* **15:** 121–128.

SPELTER, M. (1955): Das Deckgebirge der Braunkohle bei Meuselwitz. – Unveröff. Diplomarbeit, Jena: 135 S.

STANDKE, G. (2002): Das Tertiär zwischen Leipzig und Altenburg. – *Beitr. Geol. Thüringen,* N. F. **9:** 41–73; Jena.

STANDKE, G. (2001): Thierbacher Schichten und Hainer Sande (Oligozän-Eozän) im ehemaligen Braunkohlentagebau Bockwitz südlich von Leipzig. – *Mauritiana* **18,** 1: 61–89, Altenburg.

STANDKE, G. (1997): Die Hainer Sande im Tagebau Witznitz. Ergebnisse der geologischen Aufschlussdokumentation stillgelegter Braunkohlentagebaue in Sachsen. – *Mauritiana* **16,** 2: 241–259, Altenburg.

STEINBERG, T. & STANGE, R. (2001): Geologisch-sedimentologische Kartierung des Sedimentmittels zwischen dem Bornaer und dem Thüringer Hauptflöz im Tagebau Groitzscher Dreieck. – Unveröff. Kartierungsbericht, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie: 27 S. (mit Anlagen).

STREIT, D. (1984): Einmessung der auf dem Kohlehangenden der Bitterfelder Oberbank bzw. Hangendbegleiter eingelagerten Xylite und Darstellung der Ergebnisse in Richtungsdiagrammen am Beispiel des Tagebaues Goitsche IIIb. – Unveröff. Praktikumsarbeit, BKK Bitterfeld: 15 S. (mit Anlagen).

STRIEGLER, R. & STRIEGLER, U. (1984): Ein Mammutbaumstubben aus dem Großtagebau Klettwitz. – *Zschr. angew. Geol.* **30,** 3: 151–154, Berlin.

SÜSS, H., SCHIRAREND, C. & WALTHER, H. (1990): Ein fossiler Baumstamm, *Piceoxylon thierbachense* sp. nov., aus dem Oberoligozän Nordwestsachsens, DDR. – *Z. geol. Wiss.* **18,** 4: 349–357.

TANG, K. & FENG, X. (2001): The effect of soil hydrology on the oxygen and hydrogen isotopic composition of plant's source water. – *Earth Planet. Sci. Letters* **185:** 355–367.

TEUMER, TH. (1922): Was beweisen die „Stubbenhorizonte" in den Braunkohleflözen? – *Jb. Halleschen Verb. f. Erforsch. mitteldt. Bodenschätze* **3** (3): 1–39; Halle/Saale.

VAN DER BURGH, J. & MEIJER, J. J. F. (1996): *Taxodioxylon gypsaceum* and ist botanical affinities. – *Current Sciences,* **70** (5): 373–378.

VAN DER BURGH, J. (1978): Hölzer aus dem Pliozän der Niederrheinischen Bucht. – *Fortschr. Geol. Rheinlad. Westf.* **28:** 213–275.

VAN DER BURGH, J. (1973): Hölzer der niederrheinischen Braunkohlenformation. 2. Hölzer der Braunkohlengruben „Maria Theresia" zu Herzogenrath, „Zukunft West" zu Eschweiler und „Victor" (Zülpich Mitte) zu Zülpich. Nebst einer systematisch-anatomischen Bearbeitung der Gattung Pinus L. – *Rev. Palaeobot. Palynol.* **15:** 73–275: Amsterdam, Lausanne, New York.

VAN DER BURGH, J. (1964): Hölzer der niederrheinischen Braunkohlenformation. 1. Hölzer der Braunkohlengrube „Anna" zu Haanrade (Niederländisch Limburg). – *Acta Bot. Neerl.* **13:** 250–301.

VELITZELOS, E., KVAČEK, Z. & WALTHER, H. (1999): Erster Nachweis von *Eotrigonobalanus furcinervis* (ROSSM.) WALTHER & KVAČEK (Fagaceae) in Griechenland. – *Feddes Repert.* **110,** 5–6: 349–358; Berlin.

VELICHKO, A. A. & NECHAEV, V. P. (Hrsg.) (1999): Climate and environment changes during the last 65 million years (Cenozoic: from Paleocene to Holocene). – Russ. Akad. Wiss., Inst. f. Geogr. Moskau; GEOS: 260 S.

VOLLBRECHT, J. & WIRTZ, D. (2002): Forschung: Ostsachsen Reichwalde: Holz, Steine, Scherben. – *Archäologie in Deutschland online* **6** (URL: http://www.theiss.de/AiD/2002/6/forsch.php).

WAGENBRETH, O. & BELLMANN, H. J. (1983): Zur diagenetischen Setzung von Braunkohle und Ton. – *Z. geol. Wiss.* **11,** 6: 687–714.

WALTHER, H. (2000): Floristic relations between North and Central America and Europe in the Eocene. – *Acta Univ. Carolinae Geol.* **44:** 51–57 (2 Taf.), Praha.

WALTHER, H. (1999): Die Tertiärflora von Kleinsaubernitz bei Bautzen. – *Palaeontographica* B, **249** (1–6): 63–174, Stuttgart.

WALTHER, H. (1996): Das Tertiärvorkommen von Seifhennersdorf (Oberlausitz, Deutschland). – *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.,* **209:** 5–26.

WALTHER, H. (1994): Invasion of arcto-tertiary elements in the Paleogene of Central Europe. – *NATO ASI Serie* **I, 27:** 239–250; Berlin, Heidelberg.

WALTHER, H. (1990): The Weisselster Basin (GDR) – an example of the development and history of Palaeogene forest vegetation in Central Europe. – In: Proc. Symp. „Paleofloristic and Paleoclimatic changes in the Cretaceous and Tertiary" 1989: 149–158; Prague.

WEDEPOHL, K. H. (1995): The composition of the continental crust. – *Geochim. Cosmochim. acta* **59,** 7: 1217–1232.

WELLS, N. A. & RAPP, S. R. (2000): Random orientation of wood on two tiny alluvial fans (Tavaputs Plateau, NE Utah, USA). – *J. of Sediment. Res.* **70,** 3: 461–469.

WENNRICH, V. (2001): Sedimentpetrographische Untersuchungen im Alttertiär des Tagebaus Zwenkau. – Unveröff. Diplomarbeit, Univ. Leipzig, Inst. f. Geophys. und Geol.: 73 S. (mit Anlagen).

WERRMANN, U. (1989): Kartierung der Lagerungsstörungen des Flöz I im Grubenbetrieb des Tagebaues Groitzscher Dreieck. – Unveröff. Ingenieurarbeit, BA Freiberg: 24 S. (mit Anlagen)

WEST, R. G. & WILSON, D. G. (1966): Cromer Forest bed series. – *Nature* **209:** 497–498.

WEYLAND, H. & SCHÖNFELD, E. (1958): *Pinus marcuriae* n. sp. Eine neue Kiefernform aus der Braunkohle der Ville. – *Palaeontographica,* B, **120:** 93–107; Stuttgart.

WILDE, V. (1989): Untersuchungen zur Systematik der Blattreste aus dem Mitteleozän der Grube Messel bei Darmstadt (Hessen, Bundesrepublik Deutschland). – *Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg,* **115:** 1–213, 5 Abb., 1 Tab., 30 Taf.; Frankfurt/M.

WITTMANN, R. (2003): Die Welt der Bäume. – 160 S., Eugen Ulmer GmbH & Co.: Stuttgart-Hohenheim.

WNUK, C. & PFEFFERKORN, H. W. (1987): A Pennsylvanian-age terrestrial strom deposit: using plant fossils to characterize the history and process of sediment accumulation. – *J. of Sediment. Petrol.* **57:** 212–221.

YANOSKY, T. M. (1982): Effects of flooding upon woody vegetation along parts of the Potomac river flood plain. – *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* **1206:** 1–21.

YURTSEVER, Y. & GAT, J. R. (1981): Atmospheric waters. – In: GAT, J. R. & CONFIANTINI, R. (eds): „Stable isotope hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle", *Technical Report Series* No. 210, IAEA: 103–139, Wien.

Eingegangen am 8. 6. 2004

PD Dr. habil. FRANK W. JUNGE, Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Arbeitsgruppe „Schadstoffdynamik in Einzugsgebieten", Karl-Tauchnitz-Straße 1, D-04107 Leipzig, E-Mail: junge@saw-leipzig.de
Dr. MARTINA DOLEZYCH, Schlossstraße 1c, D-02977 Hoyerswerda, E-Mail: martiniss@t-online.de
Prof. Dr. habil. HARALD WALTHER und Dr. LUTZ KUNZMANN, Staatliche Naturhistorische Sammlungen Dresden, Museum für Mineralogie und Geologie, Königsbrücker Landstraße 159, D-01109 Dresden, E-Mail: h.walther.dresden@t-online.de; lutz.kunzmann@snsd.smwk.sachsen.de
Dr. TATJANA BÖTTGER, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Department Isotopenhydrologie, Theodor-Lieser-Straße 4, D-06120 Halle/Saale, E-Mail: tatjana.boettger@ufz.de
PD Dr. habil. ANSELM KÜHL, TIM STEINBERG und REINER STANGE, TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie, Gustav-Zeuner-Straße 12, D-09599 Freiberg, E-Mail: kuehl@geo.tu-freiberg.de
Dr. PETER MORGENSTERN, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Department Analytik, Permoserstraße 15, D-04303 Leipzig, E-Mail: peter.morgenstern@ufz.de