

Sedimentologie und Geochemie obereozän-unteroligozäner Typusprofile aus dem Weißelsterbecken (Tagebau Espenhain)

Mit 8 Abbildungen, 4 Bildern und 6 Tabellen

FRANK W. JUNGE, WILLY DUCKHEIM, PETER MORGENSTERN & MICHAEL MAGNUS

Unserem Freund und Kollegen Herrn Diplomeologen Dr. rer. nat. Ansgar Müller zum 65. Geburtstag gewidmet.

Zusammenfassung: An zwei Profilen des im Braunkohletagebau Espenhain südlich Leipzig zwischen dem Flöz II (Bornaer Hauptflöz) und dem Flöz IV (Böhlener Oberflöz) entwickelten obereozän-unteroligozänen Zwischenmittels wurden lithologisch-sedimentologische (u. a. Korngröße, Haupt- und Schwermineralbestand, Kathodolumineszenz an Quarz) und geochemische (u. a. Haupt- und Spurenelemente, Gehalt an S, C_{org} sowie stabile Isotope $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) Untersuchungen durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigen bei vollständiger Ausbildung eine Gliederung der Sedimentfolge vom Liegenden zum Hangenden in folgende lithologische Einheiten: Die Abfolge beginnt über dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) mit einem basalen Deckschluff (**Einheit I**), der terrestrische Stillwasserbedingungen widerspiegelt. Darüber lagern lithologisch-geochemisch differenzierte fluviatile Sedimente (**Einheit I/II**), die im ästuarinen Milieu abgelagert wurden. Sie sind mit den „Hainer Flußsanden“ zu parallelisieren. Ein auf diesen Sedimentkomplex folgender stark kohligter Schluff (**Einheit II**) repräsentiert das Äquivalent des weiter südlich entwickelten obereozänen Thüringer Hauptflözes (Flöz III). Er trennt die liegende, überwiegend fluviatil geprägte Folge von einer bis zum hangenden unteroligozänen Böhlener Oberflöz (Flöz IV) reichenden lithologisch-geochemisch mindestens dreigeteilten Sandabfolge ab, die flachmarine bis strandnahe Sedimentationsbedingungen vertritt (**Einheiten III, IV, V**). Diese reflektiert die erste bis weit in das südliche Weißelsterbecken reichende Transgression der obereozänen bis unteroligozänen Nordsee. Sie ist mit der „Domsener Folge“ parallelisierbar.

Die Zusammensetzung der Schwermineralfraktion und Kathodolumineszenzuntersuchungen an Quarzen zeigen eine überwiegend metamorphe und plutonische Abstammung der Sedimente an, die hohe Anteile westerzgebirgisch-vogtländischer Abtragungsprodukte widerspiegeln.

Mit der vorliegenden Arbeit werden erstmals lithologisch gut dokumentierte geochemische Basisdaten von Sedimentfolgen des älteren Tertiärs der Leipziger Tieflandsbucht vorgestellt. Sie zeigen, daß, unabhängig von den zu unterscheidenden lithologischen Einheiten, die gegenüber regionalen Vergleichswerten (Clarke) insgesamt sehr spurenelementarme obereozän-unteroligozäne Zwischenflözfolge durch eine deutliche Anreicherung an den Elementen C, S, As, Sn, W, Zr, U und SiO₂ charakterisiert wird. Die in den Sedimenten des Zwischenmittels reflektierte, erste weitausgedehnte marine Transgression der obereozän-unteroligozänen Nordsee in das Weißelsterbecken wird in beiden untersuchten Profilen durch eine überproportionale Anreicherung der vorwiegend an die Schwermineralfraktion gebundenen Elemente As, Zr, Y, Sn, W und untergeordnet TiO₂, P₂O₅, Nb, Th und U fixiert.

Abstract: In the open-cast lignite mine Espenhain south of Leipzig a sandy-silty sediment sequence is developed between the two lignite seams, the subjacent upper Eocene seam layer II (Bornaer Hauptflöz) and the superjacent lower Oligocene seam layer IV (Böhlener Oberflöz). Lithological-sedimentological (e.g. grain size, main and heavy mineral composition, cathodoluminescence of quartz) and geochemical (e.g. main and trace elements, sulfur and organic carbon contents, stable isotope $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) investigations were carried out on two profiles of this intercalated bed.

The results show a division of the intercalation sediment sequence from bottom to top in the following lithological units: On the top of the seam layer II (Bornaer Hauptflöz) the succession begins with a basal cover silt (**unit I**), which represents terrestrial stillwater conditions. Upwards follow lithological-geochemical differentiated fluvial sediments (**unit I/II**), which are deposited in an estuarine environment. Its can be connected with the „Hainer Flußsande“. A strong coaly silt (**unit II**) overlying this sediment complex represents the stratigraphic equivalent of the upper Eocene seam layer III (Thüringer Hauptflöz) which is developed in great thickness farther southern. The unit II separates the subjacent prevailing fluvial sequence from a at least three-divided hanging sandy succession. It is reaching up to the hanging lower Oligocene seam

layer IV (Böhlener Oberflöz) and represents prevailing shallow sea up to shore-near sedimentation conditions (units III, IV, V). These units reflect the first extended transgression of the upper Eocene – lower Oligocene North Sea in the southern Weißelster Basin. Its can be connected with the „Domsener Folge“.

The heavy mineral composition and cathodoluminescence investigations on quartz show in the sediments high parts of relicts from metamorphic and plutonic rocks, descended from western Erzgebirge and Vogtland regions.

In this paper will presented first once lithological well documented geochemical data from older Tertiary sediment sequences of the Leipzig Lowland Bight. Independent from its lithological units, the upper Eocene – lower Oligocene intercalation sediment sequence, impoverishing on trace elements altogether in comparison to Clarke values, is characterized by a distinct enrichment of the elements C, S, As, Sn, W, Zr, U and SiO₂. In the two investigated profiles the first widespread extended transgression of the upper Eocene – lower Oligocene North Sea in the Weißelster Basin is fixed by an strong concentration of such elements like as Zr, Y, Sn W and subordinate TiO₂, P₂O₅, Nb, Th and U which are foremost bonded on heavy mineral fraction.

Schlüsselwörter: Geochemie, Kathodolumineszenz, marine Sedimente, Mitteldeutschland, Obereozän, Sedimentologie, Spurenelemente, Schwerminerale, terrestrische Sedimente, Tertiär, Unteroligozän

Keywords: Geochemistry, Cathodoluminescence, Central Germany, heavy minerals, Lower Oligocene, marine sediments, Sedimentology, terrestrial sediments, Tertiary, trace elements, Upper Eocene

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
 2. Methodik
 - Profilaufnahme, Sedimentologie
 - Korngrößenbestimmung
 - Haupt- und Spurenelemente
 - Glühverlust
 - C_{org}-Gehalt, stabile Isotope
 - Hauptmineralbestand, Schwerminerale
 - Kathodolumineszenzuntersuchungen an Quarzen
 3. Ergebnisse der sedimentologisch-geochemischen Untersuchungen im Tagebau Espenhain
 - 3.1. Profilbeschreibung
 - 3.1.1. Charakteristik des Profils EspEEo
 - 3.1.2. Charakteristik des Profils EspEAE
 - 3.1.3. Erste Ergebnisse der Schwermineraluntersuchungen
 - 3.1.4. Erste Ergebnisse von Kathodolumineszenzuntersuchungen an Quarzen
 - 3.2. Profilkonnectierung und -gliederung
 - 3.3. Genetische Interpretation
 4. Geochemische Kennwerte der obereozän-unteroligozänen Zwischenflözfolge
 5. Schlußfolgerungen
 6. Danksagung
 7. Literatur
- Beilage: Abb. 3–6

Probitas laudatur et alget.
Rechtschaffenheit wird gelobt und friert dabei.
(Juvenal, Satirae I. 74)

1. Einleitung

Die Sedimentation im Zeitraum Obereozän-Unteroligozän war im Weißelsterbecken durch die Akkumulation der innerhalb der Bornauer Schichten auftretenden, bergbaulich bedeutungsvollen Flöze des Älteren Nordwestsächsischen Flözkomplexes (Flöze I bis IV) gekennzeichnet. Die Überlagerung von epirogenen und subrosiven Bewegungen, wie auch von klimatisch und eustatisch ver-

ursachten Meeresspiegelschwankungen, führten im betrachteten Zeitraum zu einer mehrfachen Unterbrechung der Flözbildungsprozesse. Im Ergebnis kam es innerhalb der Binnensenke des Weißelsterbeckens zu bedeutsamen Wechseln zwischen Phasen der Erosion und der Akkumulation, wobei letztere durch den wechselnden Absatz sowohl limnisch-fluviatiler, als auch ästuariner und mariner Sedimente gekennzeichnet sind. Diese trennen als Zwischensedimente die einzelnen Flöze und ihre Begleiter voneinander ab. Während die ins Mittel- bis Obereozän zu stellenden Flöze I und II (Sächsisch-Thüringisches Unterflöz, Bornaer Hauptflöz) durch überwiegend fluviatile und limnische Ablagerungen eines mehrphasig aufgeschütteten Schwemmfächers getrennt sind (Älterer Nordwestsächsischer Schwemmfächer, Bornaer Schichten), machen sich im höheren, obereozän-unteroligozänen Übergangszeitraum erste marine Beeinflussungen bemerkbar. Diese erreichen mit den weit im Süden des Weißelsterbeckens verbreiteten Domsener Schichten, im Liegenden des schon ins Unteroligozän zu stellenden Flözes IV (Böhlener Oberflöz), ihren ersten Höhepunkt. Mit der Rupel-Haupttransgression der Nordsee und dem Absatz der Böhlener Schichten im Hangenden des Böhlener Oberflözes, wurde die Flözakkumulation innerhalb des Weißelsterbeckens weitgehend beendet (EISSMANN 1968, 1994, BELLMANN 1990, DOLL 1984, 1982).

Hinweise auf eine erste, vor der Rupel-Haupttransgression einzustufende, marine Beeinflussung des Weißelsterbeckens durch die Nordsee wurden schon frühzeitig wahrgenommen (ZINCKEN 1862, ETZOLD 1912). Andererseits widersprachen im Zwischenmittel unter dem Böhlener Oberflöz liegende fluviatile Sedimente diesen Deutungen (PIETZSCH 1925). Durch in den letzten Jahrzehnten durchgeführte umfangreiche Untersuchungen in den Tagebauen der Leipziger Tieflandsbucht konnte eine wesentliche Erweiterung des Kenntnisstandes über den Aufbau des Mittels im Hangenden des Bornaer Hauptflözes (Flöz Bruckdorf des Halle-Merseburger Raumes; BLUMENSTENGEL et al. 1996, BLUMENSTENGEL & VOLLAND 1995) erreicht werden: Tagebau Schleenhain: HALFAR et al. 1998, HALFAR & RIEGEL 1995, HALFAR 1994; Tagebau Witznitz: STANDKE 1997, BREMER 1992; Tagebau Zwenkau und Cospuden: BREMER 1992; Tagebau Merseburg-Ost: SOMMERWERK 1990.

Südlich Leipzig wird die klastische Sedimentfolge zwischen den Flözen II und IV in ihrem liegenden Teil überwiegend durch die Ablagerungen eines die Leipziger Tieflandsbucht in SW-NE-Richtung querenden mäandrierenden Flußsystems („Zwickau-Altenburger Fluß“; RICHTER 1963, EISSMANN 1968: Abb. 4) mit zahlreichen Nebenarmen (z. B. Hainer und Bösdorfer Flußsande) gebildet. Dies wird durch das Auftreten der in den Großaufschlüssen zahlreich beobachteten und mächtig entwickelten „Flußsandzonen“ deutlich. In den Aufschlüssen unmittelbar südlich der Stadt Leipzig zeigen sie häufig Merkmale einer Flußentwicklung im Deltabereich. Der den obereozän-unteroligozänen Übergangszeitraum repräsentierende obere Teil des Zwischenmittels ist hingegen deutlich marin beeinflusst. Er findet mit der besonders im Tagebau Profen bedeutend an Mächtigkeit zunehmenden Domsener Folge im unmittelbaren Liegenden des Böhlener Oberflözes seinen Ausdruck (BELLMANN 1997, MÜHLMANN 1982, LOTSCH et al. 1979, LOTSCH et al. 1971). Sedimentologisch-lithologische Untersuchungen der Zwischensedimente in den Tagebauen Witznitz und Bockwitz lassen eine nordwärtige Verfolgung der Äquivalente der Domsener Schichten bis in den Raum Borna-Espenhain zu (STANDKE 1997).

Nach palynologischen Befunden ergibt sich für die Flöze II und III und ihre Zwischensedimente ein obereozänes Alter (Priabonium; Sporomorphenzonen 18 und 19). Hingegen wird das hangende Flöz IV nach den biostratigraphischen Befunden in das tiefere Rupelium (Sporomorphenzone 20A/B) gestellt (KRUTZSCH et al. 1992). Bei den marin geprägten Domsener Schichten handelt es sich wahrscheinlich um Ablagerungen, die vom höheren Eozän bis zum tieferen Oligozän reichen. Die umfangreichen paläobotanischen Bearbeitungen der zwischen den Flözen II und IV auftretenden Blatt- und Fruchtfloren (MAI & WALTHER 1985, 2000) zeigen deutliche Klimawechsel zwischen dem subtropischen Vegetationsbild des obereozänen „Zeitler Florenkomplexes“ und dem unteroligozänen, durch laurophyllie und arktotertiäre Florenelemente gekennzeichneten „Haselbacher Florenkomplex“ (MAI & WALTHER 1978, 1991).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden lithologisch-sedimentologische (u. a. Korngröße, Mineralbestand, Kathodolumineszenz an Quarz) und geochemische (u. a. Haupt- und Spurenelemente, Gehalt an S, C_{org} sowie stabile Isotope $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) Untersuchungen an der zwischen dem Bor-

naer Hauptflöz (Flöz II) und dem Böhlener Oberflöz (Flöz IV) entwickelten Sedimentfolge aus dem Tagebau Espenhain vorgestellt. Neben der **Gewinnung lithologisch-sedimentologischer und geochemischer Basisdaten** steht die **Erarbeitung eines „geologischen Normalprofils“ der obereozän-unteroligozänen Sedimentfolge** im Tagebau Espenhain im Mittelpunkt. Eine nordwärtige Konnektierung der von STANDKE (1997) publizierten und zwischen den Flözen II und IV entwickelten obereozän-unteroligozänen Sedimentfolge aus den weiter südlich gelegenen Tagebauen Witznitz und Bockwitz ist ebenfalls Zielsetzung vorliegender Arbeit. Gleichzeitig werden von den Untersuchungen der im näheren marinen Einflußbereich gelegenen Profile aus dem Tagebau Espenhain **erweiterte Aussagen zur marinen Beeinflussung des Weißelsterbeckens vor der Rupel-Haupttransgression** durch die Nordsee möglich.

2. Methodik

Profilaufnahme, Sedimentologie

Die geologische Aufnahme beinhaltet die photographische Dokumentation, makroskopische Erfassung und Beschreibung der granulometrischen Parameter und der sedimentologischen Merkmale (u. a. Schichtungsmerkmale, Deformationsstrukturen, Einlagerungen, Bioturbation) der verschiedenen Schichten innerhalb von Vertikalprofilen, die vom liegenden Flöz II zum hangenden Flöz IV reichten. Die Profile wurden i. d. R. durchgängig beprobt unter Beachtung der im Aufschluß aushaltbaren lithologisch-sedimentologischen Einheiten.

Korngrößenbestimmung

Die Bestimmung der Korngröße erfolgte für die sandigen Sedimente mittels Siebanalyse (*Analysette 20 der Fa. Fritsch*). Die Korngröße der bindigen, schluffig-tonigen Sedimente wurde mittels Laserpartikelanalysator (*Analysette 22 der Fa. Fritsch*) bestimmt. Entsprechend der Korngrößenzusammensetzung der untersuchten Zwischenflöz-Sedimentfolgen gelangten zur Auswertung die Fraktionen Ton + Schluff (<63 µm), Feinsand (63–200 µm), Mittelsand (200–630 µm) und Grobsand 630–2000 µm). Bei den untersuchten bindigen Sedimenten war mit der Lasermethode eine Unterteilung der Feinstkornfraktion <63 µm in die Kornklassen Ton (<2 µm), Feinschluff (2–6,3 µm), Mittelschluff (6,3–20 µm) und Grobschluff (20–63 µm) möglich.

Haupt- und Spurenelemente

Die Konzentrationsbestimmung für die Hauptkomponenten Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, CaO, TiO₂, Fe₂O₃ und die Spurenelemente As, Ba, Br, Cd, Cr, Cu, Ga, Hg, Mn, Mo, Nb, Ni, Pb, Rb, S, Sb, Sr, Sn, Th, U, V, W, Y, Zn und Zr erfolgte mit der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA).

In Vorbereitung zur RFA wurde das vorher mittels einer Achatkugelmühle zerkleinerte Probenmaterial bei 105 °C getrocknet und anschließend mit 20% Hoechst-Wachs versetzt, homogenisiert und zu Pellets gepresst.

Um die Beeinflussung der Analysenergebnisse (speziell für die leichten Elemente) durch Korngrößen- und mineralogische Effekte zu minimieren, wurde zusätzlich ein Teil des Probepulvers mit Li₂B₄O₇ verdünnt (1 g Probe + 7 g Li₂B₄O₇) und 10 min in einem 95% Pt/5% Au-Tiegel bei 1200 °C zu Schmelzaufschlußproben verarbeitet.

Die analytischen Messungen wurden an einem wellenlängendispersiven Röntgenspektrometer (Siemens SRS 3000) durchgeführt. Dieser Spektrometertyp ist mit einer 3 kW Rh-Endfensterröhre (125 µm Be), einem 60 kV Röntgenerators und Kristallwechsler für acht Analysatorkristalle ausgerüstet. Für die Steuerung des Meßablaufes und die Datenauswertung wurde die Gerätesoftware SPECTRA 3000 benutzt.

Die Messungen erfolgten im Vakuum unter Verwendung der 34 mm Kollimatormaske und unter Einbeziehung der Analysatorkristalle OVO 55, Ge, LIF 200 und LIF 220.

Für die Ermittlung der matrixkorrigierten Fluoreszenzintensitäten wurde die Fundamentalparameter-Option von SPECTRA 3000 eingesetzt. Zur Justierung der entsprechenden Korrekturrechnungen sind die an internationalen Referenzmaterialien (GBW 07409-11; GBW 07309-12; SRM 2709-11, LKSD1-4, STSD1-4) gewonnenen Meßdaten in den Auswertalgorithmus einbezogen worden.

In Tabelle 1 sind die für die Spuren- und Hauptkomponenten ermittelten unteren Nachweisgrenzen zusammengestellt. Für die Spurenkomponenten wurden diese Werte aus den entsprechenden Kalibriergeraden abgeleitet und reflektieren demzufolge sowohl den Einfluß der Probenmatrix als auch der Probenpräparation auf die Nachweisgrenzen der einzelnen Analyte.

Für die auf der Basis von Schmelzaufschlußproben bestimmten Verbindungen Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, CaO, TiO₂ und Fe₂O₃ wurden die Nachweisgrenzen unter Berücksichtigung der Verdünnung der Probe durch das Aufschlußmittel (Verdünnungsfaktor VF ≈ 7,8) mittels der Leerwertmethode (DIN 32645) berechnet.

Tabelle 1
Nachweisgrenzen für die mittels RFA bestimmten Haupt- und Spurenkomponenten in silikatischer Matrix

Analyt	Nachweisgrenze [ppm]	Probenpräparation
Na ₂ O	90	Schmelzaufschluß 1 g Probe + 7 g Li ₂ B ₄ O ₇ Verdünnungsfaktor VF = 7 ... 8
MgO	70	
Al ₂ O ₃	50	
SiO ₂	60	
P ₂ O ₅	40	
K ₂ O	30	
CaO	30	
TiO ₂	25	
Fe ₂ O ₃	20	
S	200	Gehalt an organischen Substanzen Die Ermittlung des Gehalts an organischen Substanzen erfolgt durch Verbrennung im Sauerstoffstrom bei 1050 °C. 4 g Probe + 0,9 g Wachs
Ba, Cr, Mn	10	
Co, Ni, V	5	
Cu, Ga	3–5	
As, Br, Cd, Hg, Mo, Nb, Pb,	2–3	
Rb, Sb, Sn, Sr, Th, U, W, Y, Zn, Zr		

Tabelle 2
Absolute Messunsicherheiten u(i) der Hauptkomponenten in den für die jeweiligen Analyte typischen Konzentrationsbereichen C_i

C_{Al₂O₃}	~1%	~5%	~10%
u(Al ₂ O ₃) [%]	0,2	0,3	0,4
C_{SiO₂}	~50%	~70%	~90%
u(SiO ₂) [%]	1,0	1,3	1,7
C_{K₂O, CaO, TiO₂, Fe₂O₃}	~0,5%	~1%	~2%
u(K ₂ O) [%]	0,03	0,03	0,05
u(CaO) [%]	0,04	0,04	0,07
u(TiO ₂) [%]	0,05	0,05	0,08
u(Fe ₂ O ₃) [%]	0,08	0,09	0,10

Die absoluten Messunsicherheiten der Hauptkomponenten Al₂O₃, SiO₂, K₂O, CaO, TiO₂ und Fe₂O₃ wurden in Anlehnung an den Entwurf des EURACHEM/CITAC-Guide¹ bestimmt. In Tabelle 2 sind entsprechende Werte für typische Konzentrationsbereiche C_i der einzelnen Analyte angegeben.

Glühverlust

Der Glühverlust (GV) des Probenmaterials wurde einerseits im Rahmen der Präparation von Schmelzaufschlußproben für die RFA ermittelt. Für detailliertere Aussagen erfolgte zusätzlich die Bestimmung des Glühverlustes mittels Muffelofen mit geeichtem Temperaturregler. Dabei wurden neben dem Gesamtglühverlust (bis 1000 °C) die Gewichtsverluste in drei Aufheizstufen analysiert:

- 0 °C bis 300 °C;
- 300 °C bis 600 °C und
- 600 °C bis 1000 °C.

Die Temperaturabweichungen an den Grenzen der gewählten Intervalle betragen ca. 5%. Durch die Eichung und gleichartige Anwendung auf alle untersuchten Proben war die Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet.

¹) Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement, EURACHEM/CITAC (2nd Edition, Final Draft April 2000)

Unabhängig von der bekannten kontinuierlichen Wasserabgabe der verschiedenen Tonmineralphasen werden die Gewichtsverluste innerhalb der drei gewählten Temperaturintervalle durch mengenmäßig unterschiedliche Reaktionen bzw. Stufen der Mineralumbildung verursacht (RÖSLER & STARKE 1970). Der Gewichtsverlust im gewählten Temperaturintervall 0°C bis 300°C wird hauptsächlich durch die stufenweise Abgabe des Kristallschichtwassers des Montmorillonits bzw. der Montmorillonit-Illit-Wechsellagerungen (in der Regel zwischen 100°C und 200°C) und des Illits (bei ca. 100°C) verursacht. Darüber hinaus wird eine kontinuierliche Wasserabgabe des Illits im gewählten Temperaturintervall festgestellt. Der Gewichtsverlust im Temperaturintervall 300°C bis 600°C wird im wesentlichen durch die Hauptabgabe der Hydroxylionen des Kaolinites (in der Regel zwischen 530°C und 680°C), des Illits (in der Regel zwischen 350°C und 600°C), des Montmorillonits (in der Regel zwischen 520°C und 720°C), des Chlorits (in der Regel zwischen 500°C und 550°C) sowie der Montmorillonit-Illit-Wechsellagerungen verursacht. Weiterhin erfolgt in diesem Intervall die Hauptoxidation der organischen Substanz. Der Gewichtsverlust im Temperaturintervall oberhalb 600°C wird neben dem „Verschmiereffekt“ infolge der weiteren Abgabe von Hydroxylwasser (Kaolinit, Illit, Montmorillonit, Chlorit) hauptsächlich durch die thermische Zersetzung des Karbonats (ab ca. 750°C) bestimmt. Letztere Ursache ist auf Grund der Karbonatfreiheit des untersuchten Zwischenmittels zu vernachlässigen.

Gehalt an organischem Kohlenstoff, stabile Isotope

Die Ermittlung des Gehaltes an Gesamtkohlenstoff erfolgte mit einem CHN-Analyser (*LECO CHN-1000*) bei 1050°C. Auf Grund der Karbonatfreiheit der untersuchten Probenserien kann dieser dem Gehalt an organischem Kohlenstoff gleichgesetzt werden. Die Bestimmung des $\delta^{13}\text{C}$ -Isotopenwertes erfolgte aus dem bei der Verbrennung freigesetzten Meßgas CO_2 durch Kopplung des CHN-Analyzers mit einem *Massenspektrometer Delta-S der Fa. Finnigan Mat.*

Hauptmineralbestand, Schwerminerale

Die Bestimmung des Hauptmineralbestandes erfolgte mittels Röntgenanalyse an der abgesiebten Fraktion <63 µm ausgewählter Proben mit anschließender qualitativer Auswertung der Röntgendiffraktogramme.

Ebenfalls nur an ausgewählten Proben wurden die Schwerminerale abgetrennt und qualitativ bestimmt. Die Abtrennung und weitere Auftrennung der aus der Korngrößenfraktion 125–200 µm gewonnenen Schwermineralfraktion wurde durch eine Kombination von Schritten der Dichtentrennung mit Lithiumheteropolywolframat (Dichteschritt bei 2,85 g/cm³) und Diiodmethan (Dichteschritt bei 3,3 g/cm³) und der Magnetscheidung bei unterschiedlichen Stromstärken und Neigungswinkeln erreicht. Die qualitative Bestimmung der Schwerminerale erfolgte im Körnerpräparat unter dem Binokular unter Verwendung von Monobromnaphthalin. An einzelnen Fraktionen wurden zur Kontrolle des mikroskopisch bestimmten Mineralbestandes Röntgenphasenanalysen durchgeführt.

Kathodolumineszenzuntersuchungen an Quarzen

Die quantitative Analyse erfolgte mittels Kathodolumineszenz-Meßbildreihen und mikroskopischer Bildanalyse (MAGNUS 1998) an Quarzen der Fraktion 0,63–0,315 µm. Dazu war vorher die Herstellung von polierten Dünnschliffen der Quarzkörnerpräparate notwendig. Die Bildanalyse erfolgte mittels *KS-300 der Fa. Zeiss Vision.*

3. Ergebnisse der sedimentologisch-geochemischen Untersuchungen im Tagebau Espenhain

Im Zuge des fortschreitenden Kohleabbaus erfolgte mehrfach eine Beschreibung der zwischen dem Bornauer Hauptflöz (Flöz II) und dem Böhleener Oberflöz (Flöz IV) im Tagebau Böhlen-Espenhain entwickelten Zwischenflöz-Sedimentfolge. So besteht nach ETZOLD (in ROST 1933) das Zwischenmittel im *Tagebau Böhlen* „aus meist gleichmäßig feinkörnigen, bald reinen, bald mit Kaolin vermengten Quarzsanden. Sie sind gewöhnlich lose und nur bisweilen etwas knollenartig und bankweise verfestigt. Größere, nahezu kiesige Bänke schalten sich spärlich teils in Einzelgang, teils in Wechsellagerung mit den Sanden ein. Außerdem, und zwar der Menge nach die Sande überwiegend, treten weißliche, bläuliche und bräunliche Tone auf. Sie sind teils sehr rein, teils durch Sandbeimengung mager. In Horizontnähe der Flöze stellen sich durch Kohle- und Pflanzenfaserfragmente graue, braune und schwarze Farben im Material ein.“ Bei einer Durchschnittsmächtigkeit von ca. 2–6 m kann das Zwischenmittel in seiner Mächtigkeit bis auf 10 m anwachsen (ROST 1933). Nach HAAGE (1966) besteht das 7,10 m mächtige Zwischenmittel im Tagebau Böhlen über

Geologisches Normalprofil - Tagebau Espenhain

Geological reference profile - open-cast mine Espenhain

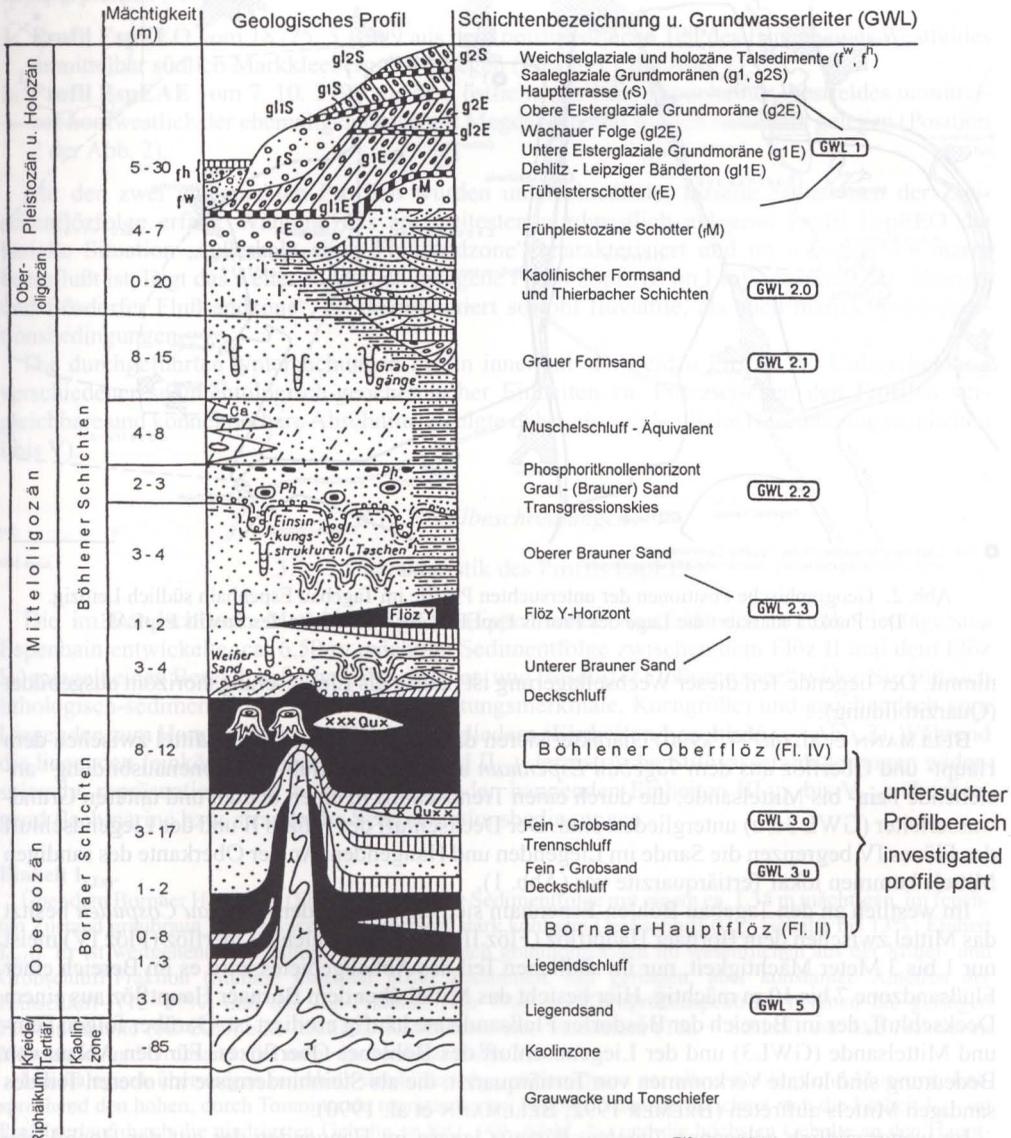


Abb. 1. Typusprofil der känozoischen Schichtenfolge im Tagebau Espenhain (nach EISSMANN/BELLMANN 1990, 1994).

dem Bornaer Hauptflöz aus einer 3,70 m mächtigen Wechsellagerung von kohligem Sand und Ton, darüber folgt eine 1,5 m mächtige, enge Wechsellagerung aus Ton und Sand, die von einem 1,30 m mächtigen kohligem Sand überlagert wird. Dieser bildet die Auflage für eine 0,6 m mächtige Wechsellagerung aus kohligem und weißem Sand, die die Basis des Böhleiner Oberflözes ein-

Tagebaue Zwenkau - Cospuden und Espenhain (mit Angaben zur Lage der Probenahmepunkte)
 Opencast mines Zwenkau - Cospuden and Espenhain (with positions of sampling points)

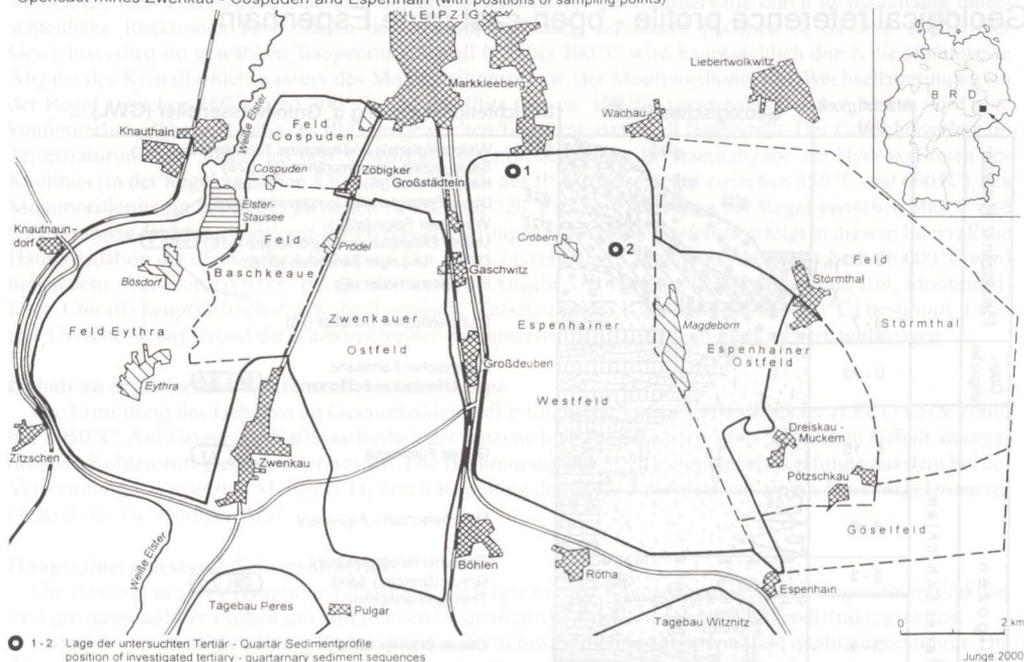


Abb. 2. Geographische Positionen der untersuchten Profile im Tagebau Espenhain südlich Leipzig.
 Der Punkt 1 markiert die Lage des Profils EspEEO, der Punkt 2 die des Profils EspEAE.

nimmt. Der liegende Teil dieser Wechsellagerung ist häufig als Einkieselungshorizont ausgebildet (Quarzitbildung).

BELLMANN et al. (1994, 1990) charakterisieren das 6 bis 10 m mächtige Mittel zwischen dem Haupt- und Oberflöz aus dem *Tagebau Espenhain* als in „Nebenfluß-Sandzonenausbildung“ anstehende Fein- bis Mittelsande, die durch einen Trennschluff in einen oberen und unteren Grundwasserleiter (GWL 3o/u) untergliedert sind. Der Deckschluff des Flözes II und der Liegendeschluff des Flözes IV begrenzen die Sande im Liegenden und Hangenden. An der Oberkante des sandigen Mittels kommen lokal Tertiärquarzite vor (Abb. 1).

Im westlich an den Tagebau Böhlen-Espenhain sich anschließenden *Tagebau Cospuden* besitzt das Mittel zwischen dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) und dem Böhlener Oberflöz (Flöz IV) meist nur 1 bis 3 Meter Mächtigkeit, nur im südlichen Teil des Abbaugbietes wird es im Bereich einer Flußsandzone 7 bis 10 m mächtig. Hier besteht das Mittel über dem Bornaer Hauptflöz aus einem Deckschluff, der im Bereich der Bösdorfer Flußsandzone häufig erodiert ist. Darüber folgen Fein- und Mittelsande (GWL3) und der Liegendeschluff des Böhlener Oberflözes. Für den Abbau von Bedeutung sind lokale Vorkommen von Tertiärquarzit, die als Steinhindernisse im oberen Teil des sandigen Mittels auftreten (BREMER 1992, BELLMANN et al. 1990).

Im weiter südlich gelegenen *Tagebau Witznitz* lagern im Hangenden des auf der Hochfläche unaufgespaltenen Flözes II ein Deckton und die Mittleren (Hainer) Flußsande (GWL3). Darüber folgen weitere Sand- und Tonhorizonte der Bornaer Folge C, die mit dem Haselbacher Ton abgeschlossen wird (BELLMANN et al. 1990). Von STANDKE (1997) durchgeführte sedimentologische Detailaufnahmen des Zwischenmittels im Tagebau Witznitz zeigten eine Gliederung der Abfolge in sieben sedimentologische Einheiten, wobei die unteren Einheiten durch hochenergetische fluviatile, schlecht klassierte Sande repräsentiert werden, die in Ästuarablagerungen übergehen (Schichten 1 bis 3). Getrennt durch ein sporadisch auftretendes und Vermoorungsprozesse anzeigendes geringmächtiges Flöz (Schicht 4) folgen darüber feinsandig-schluffige Sedimente, die flachmarine, strandnahe Verhältnisse widerspiegeln (Schichten 5 bis 7).

Kurz vor dem Beginn des im Rahmen der Restlochanierung des Braunkohlentagebaus Espenhain kontrollierten Grund- und Fremdwasseranstieges konnten 1999 noch zwei, das gesamte Mittel zwischen dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) im Liegenden und dem Böhlener Oberflöz (Flöz IV) im Hangenden erfassende Profile sedimentologisch aufgenommen und für Detailuntersuchungen beprobt werden (Abb. 2):

1. **Profil EspEEO** vom 18./25. 5. 1999 aus dem nordwestlichen Teil des Espenhainer Westfeldes unmittelbar südlich Markkleeberg-Ost gelegen (Position 1 der Abb. 2)
2. **Profil EspEAE** vom 7. 10. 1999 aus dem östlichen Teil des Espenhainer Westfeldes unmittelbar nordwestlich der ehemaligen Ortschaft Magdeborn und südlich Auenhain gelegen (Position 2 der Abb. 2).

Mit den zwei untersuchten Profilen wurden unterschiedliche fazielle Situationen der Zwischenflözfolge erfaßt. Während das am weitesten nordwestlich gelegene Profil EspEEO die fazielle Situation „außerhalb einer Flußsandzone“ charakterisiert und im wesentlichen marin beeinflusst ist, liegt das weiter südöstlich gelegene Profil EspEAE im Einflußbereich der „Hainer- und Bösdorfer Flußsandzone“. Es dokumentiert sowohl fluviatile, als auch marine Sedimentationsbedingungen.

Die durchgeführten Untersuchungen ließen innerhalb der beiden Profile die Unterscheidung verschiedener sedimentologisch-geochemischer Einheiten zu. Für zwischen den Profilen vergleichbare und konnektierbare Abschnitte erfolgte dabei eine einheitliche Bezeichnung (Einheiten I bis V).

3.1. Profilbeschreibungen

3.1.1. Charakteristik des Profils EspEEO²

Die im Randschlauch Markkleeberg-Ost (Espenhainer Westfeld) des Braunkohlentagebaus Espenhain entwickelte, ca. 6,50 m mächtige Sedimentfolge zwischen dem Flöz II und dem Flöz IV spiegelt einen Bereich außerhalb der „Hainer- und Bösdorfer Flußsandzone“ wider. Sie läßt sich lithologisch-sedimentologisch (Farbe, Schichtungsmerkmale, Korngröße) und geochemisch vom Liegenden zum Hangenden in fünf Einheiten gliedern (**Einheiten I_{EEO} bis V_{EEO}**; Abb. 3). Während die liegenden feinkörnigen Einheiten I_{EEO} und II_{EEO} terrestrische Stillwasserablagerungen widerspiegeln, repräsentieren die zu unterscheidenden hangenden Einheiten III_{EEO} bis V_{EEO} überwiegend flachmarine bzw. strandnahe Sedimentationsbedingungen.

Einheit I_{EEO}

Über dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) beginnt die Sedimentfolge mit einem ca. 1,35 m mächtigen, im feuchten Zustand graubraun bis schwarzgrau gefärbten, stark kohligen Deckschluff (C_{org}-Gehalte bis 13%; Einheit I_{EEO}). Er ist weitgehend schichtungslos und setzt sich granulometrisch im wesentlichen aus der Mittel- und Grobschluff-Fraktion (Summe maximal 80%) zusammen, mit geringen, aber konstanten Anteilen der Feinschluff- (12–17%) und der Ton-Fraktion (um 7%). Im Korngrößenspektrum nehmen die geringen Feinsandanteile (bis 20%) eine deutliche Konkurrenz zum Feinstkorn (Ton + Schluff) ein. Die Fraktionen Mittelsand- und Grobsand sind nicht nachweisbar (Abb. 3).

Mineralogisch überwiegen innerhalb der Einheit I_{EEO} neben Quarz vor allem Kaolinit und Muskovit. Entsprechend den hohen, durch Tonminerale repräsentierten Feinstkornanteilen zeichnet sich die Einheit I_{EEO} im Profilverlauf durch die niedrigsten Gehalte an SiO₂ (49–64 M.-%) und die höchsten Gehalte an den Hauptelementen Al₂O₃, MgO, CaO, K₂O, Na₂O, Fe₂O₃, TiO₂, P₂O₅, S und C_{org} aus.

Einheit II_{EEO}

Der Deckschluff der Einheit I_{EEO} geht zum Hangenden in einen mindestens 40 cm mächtigen tonigen Schluff über (Einheit II_{EEO}). Er weist bei hohen Anteilen des Feinstkorns (Ton + Schluff) um 96% gegenüber dem

²) Für Dokumentationszwecke wurde durch die Mitarbeiter Frau T. Leonhardt, Herrn F. Bach und Herrn K. Schubert ein die Einheiten III_{EEO}, IV_{EEO} und V_{EEO} umfassender Lackabzug des Profils EspEEO entnommen und in den Bestand der Geologisch-Paläontologischen Sammlung (Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Talstraße 35, 04103 Leipzig) eingefügt.

Deckschluff deutlich erhöhte Mittelschluffanteile (um 45%) auf. Der Feinsandanteil liegt unter 4%, Mittel- und Grobsand-Fraktion sind nicht nachweisbar. Der C_{org} -Gehalt liegt bei 6,6%.

Der SiO_2 -Gehalt ist mit 64 M.-% und der Al_2O_3 -Gehalt mit 15 M.-% gegenüber den Gehalten des Deckschluffes etwas erhöht; die anderen Hauptelemente weisen vergleichbare bzw. etwas niedrigere Werte im Vergleich zur Einheit I_{EEO} auf.

Einheit III_{EEO}

Über der Einheit II_{EEO} folgt mit einem deutlichen Wechsel in den sedimentologischen und geochemischen Charakteristika eine ca. 2,80 m mächtige Schluff-Feinsand-Abfolge (Einheit III_{EEO}). Diese besteht in ihrem unteren Teil aus einem ca. 75 cm mächtigen, ungeschichteten, stark feinsandigen Schluff (mit ungefähr gleichen Schluff + Ton- und Feinsand-Anteilen; Sub-Einheit IIIa_{EEO} ; Abb. 3) und in ihrem oberen Teil aus einer ca. 2 m mächtigen, deutlich gegliederten Feinsandabfolge (Sub-Einheit IIIb_{EEO} ; Abb. 3).

Der obere Teil der Sub-Einheit IIIb_{EEO} (Bild 1) entwickelt sich lithologisch aus einem ca. 70 cm mächtigen grünlich-grau gefärbten Feinsand, der zahlreiche Kohlebröckchen und feinverteilte, maximal bis 0,5 cm große Markasitkonkretionen enthält. Im Sediment häufig vorhandene, einzeln stehende, gekappte Rippelstrukturen, die durch feinkörniges Sedimentmaterial nachgezeichnet werden, verleihen dieser Abfolge ein flasriges Aussehen (Flaserschichtung). Ein deutlicher (sekundär durch Oxidation verursachter?) Farbwechsel im Sediment von grünlich-grau nach braungelb folgt im oberen Teil. Darüber sind drei horizontal aushaltende Rippelzonen entwickelt, die sich hinsichtlich ihrer Symmetrie und ihrer geometrischen Parameter (Rippelabstand: 6–8 cm; Rippelhöhe: 1–2 cm) als Wellenrippel zu erkennen geben. Sie sind jeweils mit einer dünnen Schicht aus Feinstkornmaterial (überwiegend Grob- und Mittelschluff) bedeckt und so granulometrisch, wie auch geochemisch innerhalb der untersuchten Abfolge fixiert. Oberhalb der drei Rippelzonen nimmt das flasrige Aussehen des Sedimentes in Folge des nur noch seltenen Auftretens einzeln stehender, gekappter Rippeln ab. Stattdessen überwiegen die Merkmale der Bioturbation durch das Vorhandensein zahlreicher röhrenförmiger, im Querschnitt runder bis ovaler Lebensspuren.

Innerhalb der gesamten Einheit III_{EEO} nimmt der Feinstkornanteil (Ton + Schluff) generell vom Liegenden zum Hangenden hin ab (von ca. 50–62% bis auf ca. 1–3%). Als konkurrierende Kornfraktion zum Ton + Schluff-Gehalt steigt der Feinsandanteil innerhalb der Abfolge auf Werte um ca. 90% an. Mit dem Einsetzen der zu diesen beiden Feinkornfraktionen in Konkurrenz stehenden Mittelsandfraktion (um 15%) im obersten Teil dieser Sedimenteinheit verschwindet der Feinstkornanteil (Ton + Schluff), und der Feinsandanteil geht ebenfalls zurück.

Mineralogisch überwiegt innerhalb der Einheit III_{EEO} der Quarz; im unteren Teil ist Kaolinit und Muskovit nachweisbar. Interessant ist das verstärkte Auftreten von wasserhaltigen Ca-Sulfaten (Gips, Bassanit?) vor allem im oberen Teil dieses Profilabschnittes.

Geochemisch ist die Einheit III_{EEO} durch eine relative Anreicherung gegenüber dem Mittelwert des Profils an den Hauptelementen SiO_2 , TiO_2 , P_2O_5 , Fe_2O_3 sowie an den Spurenelementen As, Ba, Co, Mn, S, Sn, Th, U, Y und Zr charakterisiert (Abb. 4). Die Sub-Einheit IIIb_{EEO} ist durch die höchsten Gehalte im Verlauf des Profils Esp_{EEO} an den Elementen Zr und Sn gekennzeichnet. Besonders an der Basis der Sub-Einheit IIIb_{EEO} ist ein sprunghafter Anstieg der Gehalte an den Spurenelementen Zr (bis 1592 ppm), Sn (bis 37 bzw. 45 ppm), Y (bis 49 ppm), W (bis 4 ppm), Th (bis 20 ppm), Uran (bis 10 ppm) und an der Hauptkomponente TiO_2 (bis 1,35%) auffällig. Diese durch mehrere Peaks gekennzeichnete Anreicherungszone reflektiert Lagen von Schwermineralanreicherungen im Sediment.

Die innerhalb der Sub-Einheit IIIb_{EEO} entwickelten drei horizontal aushaltenden und mit Feinstmaterial ausgefüllten Rippelzonen zeichnen sich geochemisch durch erhöhte, von dem Mittelwert dieser Sedimenteinheit abweichende Gehalte an den für Tonminerale charakteristischen Haupt- und Spurenelementen aus. Der mittlere C_{org} -Gehalt der Einheit III_{EEO} von ca. 1,9% ist ebenfalls innerhalb dieser Lagen bis auf das Vierfache erhöht.

Einheit IV_{EEO}

Mit einem Farbwechsel im Sediment von braungelb nach dunkelbraun bis schwarz und einer deutlichen Kornvergrößerung beginnt über der Einheit III_{EEO} eine ca. 1,20 m mächtige Mittelsandfolge (Einheit IV_{EEO} ; Abb. 3, Bild 1). Diese besteht im Mittel aus ca. 70% Mittelsand mit geringen, aber wechselnden Feinsand- (bis 20%) und Grobsandanteilen (bis ca. 10%). Im Korngrößenspektrum der Einheit IV_{EEO} stellen Feinsand und Mittelsand (bis auf wenige Ausnahmen) konkurrierende Kornfraktionen dar, während Mittelsand und Grobsand (ebenfalls bis auf wenige Ausnahmen) parallel verlaufen.

Makroskopisch setzt sich die Einheit IV_{EEO} aus mehreren (mindestens sieben) durch Korngrößengradierung gekennzeichneten Schrägschichtungskörpern zusammen. Die mit ca. 20° nach Süden einfallenden Schrägschichtungsblätter weisen auf eine allgemeine Schüttungsrichtung von Nord nach Süd hin. Im unteren Bereich überwiegen Schrägschichtungskörper mit fining-down-Strukturen (von fein nach grob), im oberen Bereich Schrägschichtungskörper mit fining-up-Strukturen (von grob nach fein). Die Korngrößengradierungszyklen umfassen feinsandigen Mittelsand bis grobsandigen Mittelsand.

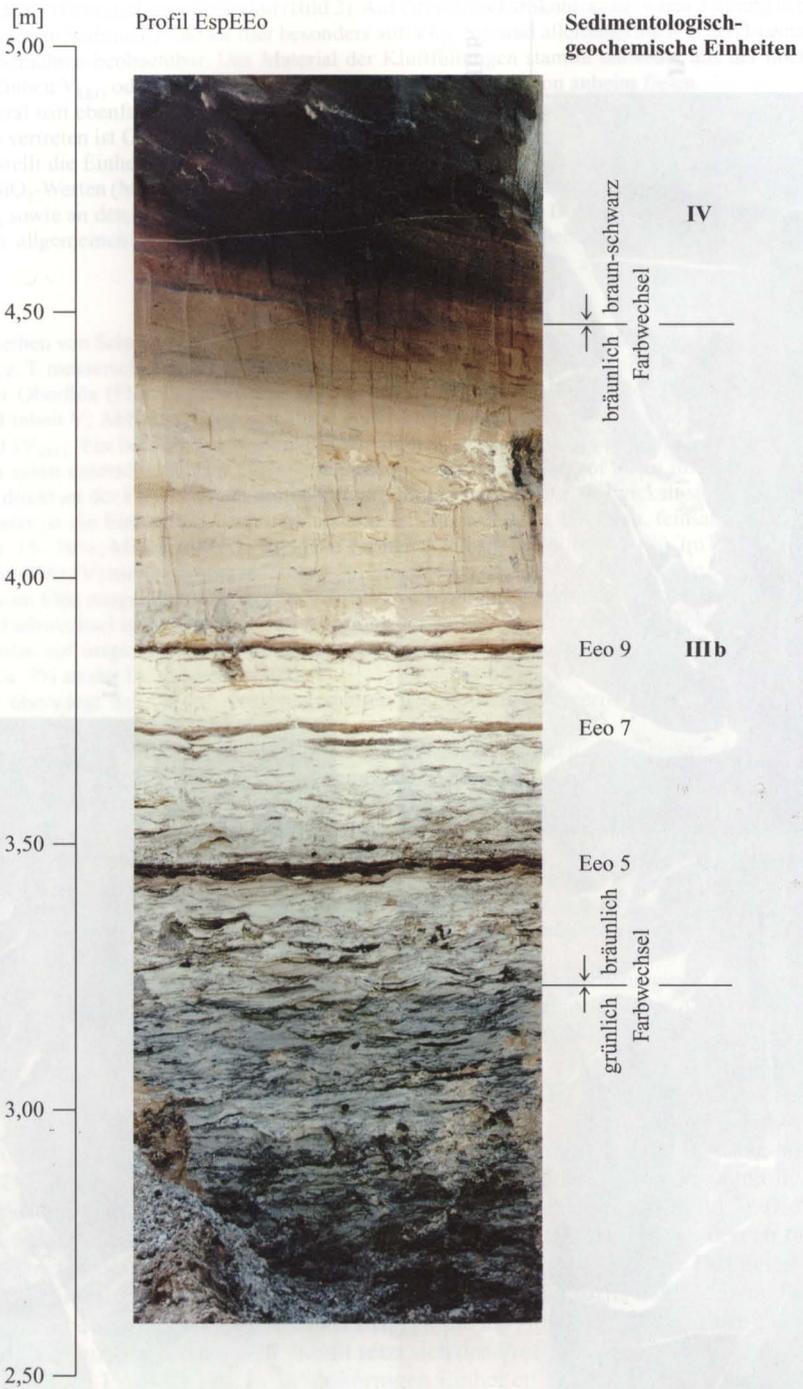


Bild 1. Ausschnitt aus der obereozän-unteroligozänen Sedimentfolge des Profils EspEEO mit den sedimentologisch-geochemischen Einheiten IIIb und IV

Sichtbares Merkmal der Einheit IV_{EEO} ist das Auftreten zahlreicher setzungsbedingter Klüfte, die mit weißem (gebleichtem?) Feinsand ausgefüllt sind (Bild 2). Auf Grund des Farbkontrastes (weiße Füllung in dunkelbraun bis schwarzem Sediment) sind sie hier besonders auffällig. Sie sind allerdings auch in den liegenden, heller gefärbten Schichten beobachtbar. Das Material der Kluffüllungen stammt entweder aus der noch zu beschreibenden Einheit V_{EEO} oder hangenden Schichten, die später der Erosion anheim fielen.

Als Hauptmineral tritt ebenfalls Quarz auf, daneben sind röntgenographisch Muskovit und Kaolinit nachweisbar. Deutlich vertreten ist Gips (Bassanit?).

Geochemisch stellt die Einheit IV_{EEO} den haupt- und spurenelementärmsten Bereich des Zwischenmittels dar: maximalen SiO_2 -Werten (Mittelwert: 96,51%) stehen niedrigste Gehalte an den Hauptkomponenten MgO , Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 sowie an den analysierten Spurenelementen gegenüber. Der mittlere C_{org} -Gehalt erweist sich trotz der im allgemeinen dunklen Färbung dieser Sedimenteinheit ebenfalls mit ca. 1,2% als recht niedrig.

Einheit V_{EEO}

Mit dem Ausbleiben von Schrägschichtungsmerkmalen und einer deutlichen Ausbleichungszone, die sich in einer plötzlichen, z. T. messerscharfen Hellfärbung der Sandabfolge äußert, beginnt die ca. 70 cm mächtige und bis zum Böhlener Oberflöz (Flöz IV) reichende oberste sedimentologische Einheit des Zwischenmittels im Profil EspEEO (Einheit V; Abb. 3). Lithologisch und geochemisch zeigt sie viele Gemeinsamkeiten mit der liegenden Einheit IV_{EEO} . Ein besonderes Merkmal dieser Einheit ist ihre häufig wechselnde Festigkeit, hervorgerufen durch einen unterschiedlichen Silifizierungsgrad. Auffällig ist, daß vor allem im oberen Bereich der Einheit V_{EEO} direkt an der Flöz IV-Basis brotlaibartige „Tertiärquarzitbänke“ entwickelt sind.

Zusammengesetzt ist die Einheit V_{EEO} in ihrem unteren Teil aus weißgrau gefärbten, feinsandigen Mittelsanden (Feinsand: 15–30%; Mittelsand: 55–63%) mit geringen Grobsandanteilen (<20%). Im Übergang zum Böhlener Oberflöz (Flöz IV) nimmt die Braunfärbung zu. Unmittelbar an der Flözbasis sind die Sande schwarz gefärbt und mit vom Flöz ausgehenden senkrecht stehenden Wurzelröhren gespickt (Wurzelboden). Mit dem kontinuierlichen Farbwechsel ist gleichzeitig eine Abnahme der Korngröße (Zunahme des Ton + Schluff- und des Feinsandanteiles auf insgesamt ca. 60%) und ein Anstieg des C_{org} -Gehaltes (von 0,2% in der Ausbleichungszone auf ca. 7% an der Flözbasis) verbunden.

Mineralogisch überwiegt der Quarz; röntgenographisch nachweisbar sind geringe Mengen an Kaolinit, Muskovit und im unteren Teil Gips (Bassanit?).

Geochemisch erweist sich die oberste Einheit des Zwischenmittels durch eine relative Anreicherung gegenüber dem Mittelwert des Profils an den Hauptelementen SiO_2 und TiO_2 , sowie an den Spurenelementen Cu, Nb, V und W. Ein deutlicher Peak in den Gehalten der Elemente TiO_2 (1,98%), P_2O_5 (300 ppm), Nb (133 ppm!), W (8 ppm), Zr (265 ppm) und V (124 ppm!) kennzeichnet die unmittelbare Basis der Einheit V_{EEO} . Dieser widerspiegelt eine weitere Anreicherungszone von Schwermineralen innerhalb des Profils EspEEO (Abb. 4). Von den innerhalb der Einheit III_{EEO} beobachteten Schwermineralanreicherungen, die sich in deutlichen Konzentrationserhöhungen besonders der Elemente Zr, Sn, Y ausweisen, unterscheidet sie sich durch die Betonung der Elemente V, Nb und TiO_2 . Dies wird als Hinweis auf ein möglicherweise unterschiedliches Schwermineralspektrum gewertet.

Im Ergebnis von postsedimentären Silifizierungs-, Ausbleichungs- und Abreicherungsprozessen zeichnet sich die Einheit V_{EEO} durch die geringsten Gehalte im Profilverlauf an den Hauptelementen Al_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O , CaO , Fe_2O_3 , C_{org} und S sowie an den Spurenelementen Ba, Co, Cr, Mn, Ni, Rb und U aus.

3.1.2. Charakteristik des Profils EspEAE

Ca. 2 km südöstlich des Profils EspEEO (siehe Abb. 2), südlich der Ortslage Wachau, konnte ebenfalls im Bereich des Espenhainer Westfeldes ein zweites Profil des obereozän-unteroligozänen Zwischenmittels (Profil EspEAE) detailliert beprobt und untersucht werden (Bild 3). Die hier bis maximal ca. 6,60 m mächtige Sedimentsequenz zeigt in ihrem Aufbau und in den zu unterscheidenden sedimentologischen Einheiten (I_{EAE} , II_{EAE} , III_{EAE} , IV_{EAE} , V_{EAE}) viele Parallelen zum Profil EspEEO. Im Gegensatz zu diesem Profil konnte innerhalb des Profils EspEAE eine fluviatile Sedimenteinheit beobachtet werden (Einheit I/II_{EAE}), die als Ausläufer der „Hainer und Bösdorfer Flußsandzone“ zu interpretieren ist. Somit setzt sich das Profil EspEAE, bei vergleichbarer Mächtigkeit zum Profil EspEEO, aus zwei feinkörnigen Einheiten terrestrischer Stillwasserablagerungen (Einheit I_{EAE} : Deckschluff; Einheit II_{EAE} : Kohleschluff bzw. stark schluffige Kohle) mit einer dazwischengeschalteten fluviatilen Sedimentsequenz (Einheit I/II_{EAE}) zusammen, sowie aus einer hangenden flachmarinen bzw. strandnahen Sedimentabfolge (Einheiten III_{EAE} , IV_{EAE} und V_{EAE}).

Profil EspEAE

Sedimentologisch-
geochemische Einheiten

III

II

I/II

I

Flöz II

Bild 3. Überblick über die obereozän-unteroligozäne Sedimentfolge des Profils EspEAE.

Einheit I_{EAE}

Der 1,10 m mächtige, Deckschluff (Einheit I_{EAE}) als charakteristische Basiseinheit des Zwischenmittels, besteht bei geringen Ton- und Feinschluffgehalten (Summe <20%) hauptsächlich aus wechselnden Anteilen der Mittelschluff- (25–47%) und Grobschluff-Fraktion (35–40%). Stark schwankende Feinsandgehalte auf niedrigem Niveau (0,7–21%) stehen in deutlicher Konkurrenz zum Feinstkorn. Anteile der Grobfractionen Mittelsand (max. bis 1,5%) und Grobsand sind unbedeutend bzw. nicht nachweisbar (Abb. 5). Hohe kohlige Bestandteile (C_{org}-Gehalte bis ca. 17%) verleihen der Basiseinheit eine grau bis bräunlichgraue Färbung.

Vergleichbar mit dem Deckschluff des Profils EspEEO weist sie als Ausdruck hoher Tonmineralanteile (Kaolinit, Muskovit) niedrige SiO₂-Gehalte (44–64%), hohe Al₂O₃- (13–20%) und erhöhte K₂O- (1,5–1,9), CaO- (0,4–1,6%) und Fe₂O₃-Gehalte (1,1–5,0%) auf. Bei den Spurenelementen sind im Vergleich zu den anderen Sedimenteinheiten des Profils erhöhte Gehalte an den Elementen As, Ba, Cr, Mn, Nb, Ni, Pb, Rb, Sr, V, Y und Zn besonders auffällig.

Einheit I/II_{EAE}

Mit einer deutlichen Erosionsdiskordanz beginnt über dem Deckschluff eine ca. 2,20 m mächtige vielgliedrige fluviatile Sedimentabfolge (Bild 3), die Bestandteil der „Hainer und Bösdorfer Flußsandzone“ ist. Diese fluviatile Abfolge besteht aus mehreren sich abscheidenden, flachen und wenige Meter breiten Rinnen (mit dem Profil EspEAE wurden sechs übereinanderliegende Rinnestrukturen erfaßt), die mit nach oben hin deutlich gröber werdendem Material (grobsandige Mittelsande) ausgefüllt sind (coarsing-up Strukturen; Abb. 5). Die Rinnenbasis wird in der Regel von Schluffen eingenommen (C_{org}-Gehalte bis ca. 26%). Diese sind reich an pflanzlichen Makroresten („Zeitler Florenbild“, MAI & WALTHER 2000). Darüber wechsellagern stark mittelsandige, bräunlich gefärbte Feinsande, die häufig eine Flaserschichtung zeigen und zahlreiche mit kohligem Material gefüllte Schmitzen aufweisen. Die Rinnen ausfüllenden, schrägschichteten stark grobsandigen Mittelsande widerspiegeln mehrere Schüttungszyklen und enthalten ebenfalls vielfach Pflanzendetritus (mitunter Stammreste) sowie zahlreiche Markasitknollen. Die Schrägschichtungsblätter fallen oft mit ca. 20° nach Norden ein, wodurch eine aus Süden kommende Schüttung angezeigt wird.

Der durch verschiedene Rinnenfüllungen (Schluff bis grobsandiger Mittelsand) gekennzeichnete differenzierte Aufbau der fluviatil geprägten Einheit I/II_{EAE} widerspiegelt sich geochemisch vor allem in einer größeren Variabilität der Elementkonzentrationen (Abb. 6). Bei den Hauptelementen betrifft dies vor allem die in Konkurrenz stehenden Parameter SiO₂ als Indikator für den Quarzgehalt (41–99%) und Al₂O₃ als Indikator für den Tonmineralgehalt (0,4–3,9%). Dabei ist der Al₂O₃-Gehalt der Einheit I/II_{EAE} auf Grund der erhöhten Anteile organischen Materials (pflanzliche Makroreste) in den feinkörnigen Bereichen der Rinnenfüllungen im Vergleich zum Deckschluff (Einheit I_{EAE}) besonders deutlich erniedrigt. Bei den Spurenelementen treten bei insgesamt sehr niedrigen Gehalten deutliche Peaks in den Konzentrationen der Elemente Zr (bis 986 ppm), Ba (bis 196 ppm), Cr (bis 99 ppm), Sn (bis 6,2 ppm), As (bis 43 ppm) und des Hauptelements P₂O₅ (bis 220 ppm) auf, die in der Regel mit den feinsandigen Bereichen korrelieren. Diese Peaks erreichen allerdings nie das Konzentrationsniveau in der noch zu beschreibenden hangenden Sub-Einheit IIIa_{EAE}. Sie sind auf Schwermineralanreicherungen zurückzuführen.

Insgesamt macht sich die Einheit I/II_{EAE} im Profilverlauf durch einen deutlichen Rückgang in allen Elementgehalten bemerkbar. Sowohl die hangenden, wie auch die liegenden Einheiten zeichnen sich bis auf wenige Ausnahmen (z. B. SiO₂) durch beträchtlich höhere Elementkonzentrationen aus. Besonders deutlich wird dieser Konzentrationsprung bei den Elementen Cu, Pb, Zn sowie Th, Y und P₂O₅.

Einheit II_{EAE}

Mit relativ scharfer Grenze folgt auf der fluviatil geprägten Einheit I/II_{EAE} ein ca. 30 cm mächtiger, stark kohligter Schluff. Er ist mit der Einheit II_{EEO} des Profils EspEEO parallelisierbar. Im Vergleich zur Einheit II_{EEO} des weiter nördlich gelegenen Profils EspEEO ist die Einheit II_{EAE} des Profils EspEAE durch eine höhere Feinkörnigkeit und höhere C_{org}- (um 17,5%), Schwefel- (um 4%) und Fe₂O₃-Gehalte (um 5%) ausgewiesen. Faziell werden damit flöznahe Sedimentationsbedingungen dokumentiert, die Ausdruck zunehmender Vermoorungsprozesse sind.

Die Einheit II_{EAE} besteht bei Feinstkornanteilen <63 µm um 100%, überwiegend aus Mittelschluff (ca. 51%) und Grobschluff (ca. 26%). Der Anteil der Tonfraktion liegt bei ca. 7%, der der Feinschluff-Fraktion bei ca. 16%. Der Feinsandgehalt liegt unter 1%. Mittel- und Grobsand sind nicht nachweisbar.

Der SiO₂-Gehalt von ca. 50 M.-% und der Al₂O₃-Gehalt um 16 M.-% stehen in Einklang mit der Lithologie. Bei den Spurenelementen ist die Einheit II_{EAE} trotz vergleichbarer Feinkörnigkeit durch vergleichbare oder niedrigere Gehalte als der Deckschluff ausgewiesen. Gegenüber der liegenden Einheit I/II_{EAE} zeigt sich bei allen analysierten Spurenelementen aber ein beträchtlicher Sprung zu höheren Gehalten.

Einheit III_{EAE}

Über dem Kohleschluff der Einheit II_{EAE} beginnt eine ca. 2,20 mächtige Schluff-Feinsand-Abfolge, die von ihren sedimentologisch-geochemischen Eigenschaften zweifelsfrei mit der Einheit III_{EEO} des Profils EspEEO

parallelisiert werden kann (Bild 4). Zusammengesetzt ist sie aus einer ca. 35 cm mächtigen unteren Feinsand-Schluff-Wechselagerung (Sub-Einheit IIIa_{EAE}) und einer ca. 1,85 m mächtigen oberen überwiegend hellbraunen Feinsandabfolge (Sub-Einheit IIIb_{EAE}).

Die im Mittel aus ca. 82% Schluff + Ton (davon ca. 50% Grobschluff) und ca. 17% Feinsand bestehende Sub-Einheit IIIa_{EAE} baut sich aus mindestens 10–15 Sedimentwechseln mit zum Hangenden zunehmender Korngröße auf.

Die Sub-Einheit IIIb_{EAE} entwickelt sich aus einem grünlichgrau gefärbtem feinsandigen Schluff (Ton + Schluff: 60–70%; Feinsand: 28–38%), der nach oben hin mit deutlichen Farbwechsel nach hellbraun und einer kontinuierlichen Kornvergrößerung in einen Feinsand (bis 93%) mit wechselnden Mittelsandanteilen übergeht. Auffälliges sedimentologisches Merkmal dieser Sub-Einheit ist das Vorhandensein einer wechselnden Flaserschichtung und das Auftreten zahlreicher mit kohligen Material gefüllter Schmitzen. Ein innerhalb der Sub-Einheit IIIb_{EAE} eingeschalteter feinsandiger Mittelsandkörper (bis 61% Mittelsand) zeigt eine deutliche Schrägschichtung (Bild 4).

Granulometrisch zeigt sich innerhalb der Einheit III_{EAE} eine kontinuierliche Kornvergrößerung (Abb. 5). Der hohe Feinstkornanteil (Ton + Schluff) an der Basis wird abgelöst von Feinsanden, wobei im oberen Bereich der Einheit III_{EAE} letztere von Mittelsanden abgelöst werden. Dieser Trend setzt sich mit dem Auftreten der Grobsandfraktion in der hangenden Einheit IV_{EAE} fort.

Geochemisch zeigt sich an der Basis der Sub-Einheit IIIb_{EAE}, wie schon in der Sub-Einheit IIIb_{EEO} des Profils EspEEO beobachtet, ein sprunghafter Anstieg zu maximalen Werten der überwiegend an die Schwermineralfraktion gebundenen Elemente (Abb. 6): Zr (bis 1 198 ppm), Sn (bis 18 ppm), Y (bis 53 ppm), W (bis 5 ppm), Nb (bis 26 ppm), Th (bis 19 ppm), U (bis 6 ppm), TiO₂ (bis 1,2 %) und P₂O₅ (bis 300 ppm). Diese zum Hangenden in ihrer Intensität abnehmenden mehrfachen (mindestens dreifachen) Elementanreicherungen widerspiegeln Zonen von Schwermineralanreicherungen (Seifen) im Sediment.

Einheit IV_{EAE}

Mit einem deutlichen Farbwechsel von hellbraun nach dunkelbraun bis schwarz und einer merklichen Kornvergrößerung (Mittelsandfraktion wird zur Hauptkornfraktion) beginnt die im Profil ca. 0,55 m mächtige Einheit IV_{EAE}. Sie ist hinsichtlich ihrer geologischen Position und ihrer sedimentologisch-geochemischen Merkmale mit der Einheit IV_{EEO} des Profils EspEEO konnektierbar. Innerhalb ihr treten zahlreiche röhrenförmige Lebensspuren auf, die z. T. mit weißem Sand (wahrscheinlich der hangenden Einheit V_{EAE} entstammend) oder auch mit braunem Schluff gefüllt sind. Die Korngröße nimmt innerhalb der Einheit IV_{EAE} vom Liegenden zum Hangenden zu. Im oberen Teil treten grobsandige Mittelsande auf, die zum Hangenden hin feinkiesige Anteile (bis 0,8%) führen. Gleichzeitig treten Schrägschichtungen im mm- bis cm-Bereich auf.

Geochemisch erweist sich die Einheit IV_{EAE} auf Grund ihres Quarzreichtums als haupt- und spurenelementverarmt: ihr mittlerer SiO₂-Gehalt beträgt 93 M.-%, ihr mittlerer Al₂O₃-Gehalt 0,6%. Trotz der Dunkelfärbung sind nur vergleichsweise geringe C_{org}-Gehalte zwischen 1,3 und 2,8% feststellbar.

Einheit V_{EAE}

Im Hangenden der Einheit IV_{EAE} treten wie im Profil EspEEO geringmächtige, hellgrau bis weiß gefärbte Sande auf, die bis zur Basis des Flöz IV reichten. Diese zeigten deutliche Silifizierungserscheinungen in Form unregelmäßiger Quarzitbänke. Eine Beprobung und detaillierte Untersuchung der Einheit V_{EAE} war im Profil EspEAE nicht möglich.

3.1.3. Erste Ergebnisse der Schwermineraluntersuchungen

Exemplarische Untersuchungen zur Schwermineralzusammensetzung und damit verbundene Aussagen zum Liefergebiet der eoän-unteroligozänen Zwischensedimente aus dem Weißelsterbecken und dem benachbarten Geiseltal liegen u. a. von ROST (1933), HAASE (1956), HUNDT (1958), HOPPE (1959), LUDWIG (1968, 1970), STEINMÜLLER & ORTMANN (1970), LOTSCH et al. (1979, 1971), LESCH (1987) vor. Die Ergebnisse zeigen für die Sedimente des Zwischenmittels ein stabiles Schwermineralspektrum mit hohen Anteilen an Zirkon, Turmalin, Topas, den Mineralen der Titangruppe (Rutil, Anatas, Brookit), Andalusit/Chiasolith, Disthen, Staurolith sowie mitunter Monazit. Charakteristisch sind dabei wechselnde Anteile der Schwerminerale am Gesamtspektrum, die auf eine heterogene Zusammensetzung der Zwischensedimente hinweisen und in unterschiedlichen Liefergebieten begründet sind. Sie machen die Ausgliederung verschiedener Schwermineralassoziationen möglich.

So können unterschieden werden eine Assoziation mit hohen Anteilen an Zirkon, Rutil, Turmalin bei geringen bis fehlenden Anteilen an metamorphen Mineralen. Diese im wesentlichen aus

Tabelle 3

Qualitative Schwermineralzusammensetzung und mittels Kathodolumineszenz bestimmte Anteile verschiedener genetischer Quarztypen von ausgewählten Proben der obereozän-unteroligozänen Sedimentfolge aus dem Tagebau Espenhain.

Sedimentologisch-geochemische Einheiten	Probe Nr.	SM-Anteil (in %)	Schwermineraluntersuchungen		Kathodolumineszenzuntersuchungen am Quarz			
			Qualitative Zusammensetzung	Anmerkungen	Anteile genetischer Quarztypen (in %)			
					metamorph	plutonisch	vulkanisch	hydrothermal
Einheit V	EEo31	0,54	Topas – Disthen – Anatas – Turmalin – Andalusit (Chiastolith)	Topas (wenig Überzüge)				
	EEo29	0,90	Topas – Anatas – Disthen – Zinnstein – Turmalin	Topas (mit Überzügen)				
Einheit IV	EAE2	0,52	Topas – (Zirkon) – Disthen – Turmalin	Topas (mit starken Überzügen)				
	EEo21	2,29	Topas – Disthen – Zinnstein – (Zirkon) – Turmalin	Topas (mit Überzügen)	50	45	0	5
	EEo13	2,19	Topas – Disthen – Turmalin – Rutil – Andalusit (Chiastolith)	Topas (mit Überzügen)				
Einheit III	EAE8	2,61	Zirkon – Topas – Disthen – Hellglimmer – Zinnstein – Turmalin – Rutil – Andalusit (Chiastolith) – Anatas	Topas (klar), Zirkon (idiomorph)				
	EEo10	0,38	Topas – Zirkon – Disthen – Anatas – Turmalin – Andalusit (Chiastolith) – Rutil	Topas (klar), Zirkon (idiomorph)	44	50	3	3
	EEo1	0,49	Zirkon – Topas – Disthen – Anatas – Rutil	Topas (klar), Zirkon (idiomorph)				
Einheit I/II	EAE27	1,32	Topas – Disthen – Rutil – Anatas – Zinnstein – Turmalin	Topas (klar)				
	EAE17				45	45	5	5
	EAE15	1,38	Topas – Disthen – Turmalin – Rutil – Andalusit (Chiastolith)	Topas (klar)				

Erläuterungen: Die Angaben zur Schwermineralzusammensetzung betreffen erste Bestimmungen der durchschnittlichen Hauptschwermineralphasen in den zwei Dichtefractionen: (1) >3,3 g/cm³ unmagnetisch, (2) >2,85 g/cm³ paramagnetisch. Häufig auftretende Mineralphasen sind fett markiert. Der angegebene Schwermineralanteil (SM-Anteil) betrifft den Gesamtschwermineralanteil (>2,85 g/cm³) an der Korngrößenfraktion 125–200 µm der Gesamtprobe.

der Abtragung des Buntsandsteins abgeleitete Schwermineralassoziation bestimmt die stratigraphisch tiefsten, tertiären Einheiten (Liegendsande) des Geiseltals und des Weißelsterbeckens (HAASE 1956, HOPPE 1959, LUDWIG 1968, 1970, STEINMÜLLER & ORTMANN 1970). Eine weitere vor allem Zirkon-Anatas betonte Assoziation mit geringeren Gehalten an Turmalin, Rutil und fehlenden metamorphen Schwermineralen wird aus der Abtragung von Rotliegendvulkaniten abgeleitet (HOPPE 1959).

Deutlich unterschieden durch das Auftreten der Minerale Topas-Turmalin-Zirkon-Andalusit-Rutil-Anatas und durch merkliche Anteile metamorpher Komponenten (Disthen, Staurolith, z. T. Sillimanit) erweist sich eine weitere Schwermineralassoziation. Sie ist typisch für die obereozän-unteroligozänen Zwischensedimente des Weißelsterbeckens (HUNDT 1958, STEINMÜLLER & ORTMANN 1970, ROST 1933, LUDWIG 1968, 1970, SCHRÖDER & PETEREK 2001) und die Hangendsande des Geiseltals (HOPPE 1959) und kann aus der Abtragung pneumatolytisch überprägter saurer Intrusiva einerseits und regional- und kontaktmetamorpher Einheiten andererseits abgeleitet werden. Dabei besitzt für das Weißelsterbecken, vermittelt durch die Schüttungen des „Zwickau-Altenburger Flusses“, das westliche Erzgebirge und das östliche Vogtland als Sedimentliefergebiet eine herausragende Bedeutung. Die festgestellten Schwermineralgesellschaften mit Andalusit, Turmalin und hohen Topasanteilen dürften dabei im wesentlichen dem Eibenstocker Granitmassiv und seiner westlichen Kontaktzone, die metamorphen Anteile (Disthen, Staurolith) dem Elstergebirge entstammen. Diese Ableitung wird sowohl durch zirkonstatistische Untersuchungen (LUDWIG 1968, 1970), als auch durch Quarzgeröll-Untersuchungen (BELLMANN 1969) gestützt.

Im Rahmen dieser Arbeiten wurden an 10 ausgewählten Proben die Schwerminerale abgetrennt (Tabelle 3). Der prozentuale Anteil der Schwermineralfraktion (Dichte $>2,85 \text{ g/cm}^3$) in den untersuchten Proben schwankte zwischen 0,5 M.-% bis 2,6 M.-%. Die untersuchten Proben zeigen nach erster Durchsicht ein qualitativ recht einheitliches Spektrum an magmatischen und metamorphen Schwermineralen. Als Hauptschwerminerale überwiegen durchgängig Topas, Turmalin, Disthen, Zirkon, Anatas, Andalusit (Chiasolith), weniger häufig Rutil und Zinnstein. Nach diesen ersten Ergebnissen ergeben sich gute Parallelen zu dem von LOTSCH et al. (1971, 1979) für die Domsener Sande bestimmten Schwermineralbestand. Zwischen den unterschiedenen sedimentologisch-geochemischen Einheiten deuten sich quantitative Unterschiede im Schwermineralbestand an. So sind die untersuchten Proben der Einheit III durch deutlich höhere Anteile an Zirkon ausgewiesen, die der Einheit V scheinen höhere Anteile an Ti-Mineralen (Anatas) aufzuweisen. **Insgesamt überwiegen in allen Proben Topas und Turmalin als magmatisch-pneumatolytische und Disthen als metamorphe Schwerminerale.** Damit wird eine aus dem westlichen Eibenstocker Granitmassiv und dem östlichen Vogtland abgeleitete Herkunft für die Sedimente des obereozän-unteroligozänen Zwischenmittels durch die vorliegenden ersten Ergebnisse gestützt.

3.1.4. Erste Ergebnisse von Kathodolumineszenzuntersuchungen an Quarzen

Quarze lumineszieren in Abhängigkeit von ihrer Genese in mehreren Lumineszenzfarben, wodurch sie für Aussagen zum Liefergebiet klastischer Sedimente und Sedimentite Anwendung finden. Eine Unterscheidung von Quarzen plutonischer, regionalmetamorpher, vulkanischer und hydrothermaler Abstammung ist möglich (GÖTZE 1996, MAGNUS 1998).

Wie die ersten Ergebnisse von Kathodolumineszenzuntersuchungen an drei Proben aus den Einheiten I/II, III und IV zeigen (Tabelle 3), **entstammen die klastischen Quarze des obereozän-unteroligozänen Zwischenmittels, zu fast gleichen Anteilen, sowohl regionalmetamorphen, als auch plutonischen (granitischen) Gesteinen.** Nur untergeordnet ($<5\%$) sind vulkanische und hydrothermale Quarze beteiligt. Dies steht in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Schwermineraluntersuchungen, die zeigen, daß als Sedimentliefergebiet sich das westliche Erzgebirge (Eibenstocker Granitmassiv) und das östliche Vogtland in der aus granitischen und metamorphen Schwermineralen zusammengesetzten Schwermineralassoziation widerspiegelt.

Beim Vergleich der sedimentologisch-geochemischen Einheiten untereinander deuten sich geringe Verschiebungen im Anteil metamorpher zu plutonischen Quarzen an: Einem höheren Anteil

plutonischer Quarze in der flachmarine Verhältnisse widerspiegelnden Einheit III stehen höhere metamorphe Quarzanteile in den fluviatile (Einheit I/II) bzw. strandnahe Sedimentationsbedingungen (Einheit IV) widerspiegelnden Einheiten gegenüber.

3.2. Profilkonnectierung und -gliederung

Die zwei untersuchten Profile lassen sich mit ihren sedimentologisch-geochemischen Einheiten ohne weiteres innerhalb des Tagebaus Espenhain konnectieren. Ebenfalls scheint einerseits eine Anbindung der Schichtenfolge an die von STANDKE (1997) erarbeitete Gliederung des obereozän-unteroligozänen Zwischenmittels aus dem Tagebau Witznitz möglich zu sein, andererseits sind deutliche Parallelen zu den Befunden von BREMER (1992) aus dem Tagebau Cospuden erkennbar.

Das Zwischenmittel beginnt im Tagebau Espenhain in beiden Profilen mit einem granulometrisch (Abbildungen 3 und 5), wie auch geochemisch (Abbildungen 4 und 6) noch weiter differenzierbaren Deckschluff (Einheiten I_{EEO} und I_{EAE}). Er entspricht dem von BELLMANN et al. (1994) ausgehaltenen Deck- bzw. Hangendschluff des Bornaer Hauptflözes. Nach den lithologisch-geochemischen Charakteristika ist er als terrestrische Stillwasserablagerung zu interpretieren.

Darüber schließt sich ein stark kohlgiger Schluff an (Einheiten II_{EEO} und II_{EAE}), der im weiter südlichen Bereich des Tagebaus in ein Flöz übergeht und von den Autoren als Äquivalent des obereozänen Thüringer Hauptflözes (Flöz III) angesehen wird. Er scheint im Tagebau Witznitz seine Entsprechung mit der von STANDKE (1997) ausgegliederten Schicht 4 zu finden, die durch Wurzelböden und durch eine geringmächtige Flözentwicklung gekennzeichnet ist. Diese könnte in der von SOMMERWERK (1990) im Tagebau Merseburg-Ost innerhalb des obereozänen Sandkomplexes GWL 93 beobachteten geringmächtigen Kohlebildung (Flöz Schkeuditz) seine Entsprechung finden.

Im Einflußbereich der „Flußsandzone“ (Profil EspEAE) schaltet sich mit deutlicher Erosionsdiskordanz zwischen den beiden Einheiten I und II eine granulometrisch-geochemisch stark differenzierte fluviatile Einheit ein (Einheit I/II_{EAE}). Sie setzt sich aus einer Wechselfolge von flachen Rinnen mit Schluff-Feinsand-Füllungen und von mittel- bis grobsandigen deltaartigen Schrägschichtungskörpern zusammen. Damit werden Bedingungen fluviatiler, hochenergetischer Schüttungen im ästuarinen Milieu dokumentiert. Eine Konnectierung dieser stark differenzierten Einheit mit den von STANDKE (1997) im Tagebau Witznitz ausgehaltenen Schichten 2 und 3 scheint möglich. Ebenfalls scheinen sich, nach den lithologischen Befunden von SOMMERWERK (1990), Parallelen zum Aufbau des liegenden Teils seines beschriebenen Zwischenmittels aus dem Tagebau Merseburg-Ost anzudeuten (Untere Bruckdorfer Sande, GWL 9.2 nach BLUMENSTENGEL & VOLLAND 1995: Abfolge aus Sand-Schluff-Wechsellagerungen und aus mit schräggeschichteten Mittel- bis Grobsanden gefüllten Rinnen).

Der sehr gut konnectierbare Hangenteil des Zwischenmittels (Einheiten III bis V), der zeitlich von den Autoren in den obereozän-unteroligozänen Übergangsbereich gestellt wird, zeigt in beiden untersuchten Profilen eine kontinuierliche Sedimentationsentwicklung an. Diese wird durch die vorliegenden granulometrischen und geochemischen Daten belegt und wird insbesondere durch eine mehr oder weniger stetige Korngrößenzunahme vom Liegenden zum Hangenden angezeigt (Abbildungen 3 und 5). Dabei geht die Entwicklung vom Schluff (Sub-Einheit IIIa) über Feinsand (Sub-Einheit IIIb), Mittelsand (Einheit IV) bis hin zum grobsandigen Mittelsand (im Übergang der Einheiten IV und V). Im Hangenden der durch Silifizierungsprozesse gekennzeichneten Einheit V ist dann eine erneute Abnahme der Korngröße zu beobachten. Der beobachtete Korngrößentrend innerhalb dieser Hangendabfolge findet sich ebenfalls in den geochemischen Daten reflektiert: durch eine kontinuierliche Zunahme des SiO_2 -Gehaltes als Quarz-Äquivalent und eine kontinuierliche Abnahme des Al_2O_3 -Gehaltes als Tonmineral-Äquivalent.

Ein weiteres Merkmal zur Konnectierung der Profile innerhalb des Tagebaus Espenhain bieten vor allem die an der Basis der Einheit III auftretenden Schwermineralanreicherungen, die sich in deutlichen Peaks in den Gehalten insbesondere der Elemente Zr (über 1 000 ppm), Y (bis 50 ppm), Sn, W, Th, U, TiO_2 zeigen (Abbildungen 4 und 6). Alle diese beschriebenen lithologisch-geo-

chemischen Trends sind in beiden untersuchten Profilen zu beobachten, wobei das nördlicher gelegene Profil EspEEO allerdings eine größere Auflösung zeigt.

Mit den Sedimenten der Einheiten III und IV werden flachmarine bis strandnahe Bedingungen widergespiegelt, wobei ein ausgeprägter Regressionstrend angezeigt wird. Dieser findet mit der Einheit IV seinen Höhepunkt. Innerhalb der Einheit V scheint sich mit der Zunahme der Korngröße und dem Auftreten von erneuten Schwermineralanreicherungen ein erneuter transgressiver Trend anzudeuten.

Auffällige Parallelen im lithologischen Aufbau der beschriebenen Hangendsequenz (Einheiten III, IV, V) finden sich nach eigenen Beobachtungen zur Domsener Folge aus dem Tagebau Profen. Ebenfalls können zahlreiche Gemeinsamkeiten in den lithologischen Eigenschaften und den sedimentologischen Merkmalen zwischen den Einheiten III, IV und den im Hangenden des Flöz Schkeuditz auftretenden Dunklen Deckensanden (SOMMERWERK 1990) bzw. dem Schkeuditz-Sand 2 (BLUMENSTENGEL et al. 1996) aus dem Tagebau Merseburg-Ost festgestellt werden. Sie lassen vergleichbare Sedimentationsbedingungen vermuten. Auf Grund der Beschreibungen des Mittels zwischen dem Bornaer Hauptflöz und dem Böhlener Oberflöz aus dem Tagebau Witznitz ist eine Parallelisierung der Einheit V mit der von STANDKE (1997) beschriebenen Schicht 7 hochwahrscheinlich. Deutliche Schwermineralanreicherungen werden von STANDKE (1997) innerhalb der Schicht 5 des Zwischenmittels aus dem Tagebau Witznitz erwähnt.

Untersuchungen des Zwischenmittels im benachbarten ehemaligen Tagebau Cospuden (BREMER 1992) zeigen in den aufgenommenen Vertikalprofilen eine deutliche Dreiteilung im Aufbau der „Bösdorfer Flußsandzone“, die problemlos Parallelen zum Aufbau der untersuchten Sedimentabfolge im Tagebau Espenhain erkennen läßt. Im Tagebau Cospuden folgen über kiesigen, häufig schräggeschichteten Grobsanden an der Basis immer feiner werdende Sande mit Parallellamination und Bioturbation (konnektierbar mit Einheit I/II des Zwischensedimentes im Tagebau Espenhain), bis schließlich bei einer Basishöhe von 3 m 1,5–2 m mächtige Tone mit geringen Schluff- und Feinsandanteilen und starker Durchwurzelung (Baumreste) auftreten. Diese als Auen-sumpfablagerung interpretierte und Stillwasserbedingungen widerspiegelnde Schicht ist mit der Einheit II des Zwischensedimentes im Tagebau Espenhain konnektierbar. Darüber lagert eine Schluff-Feinsand-Abfolge mit deutlichem Trend der Korngrößenzunahme, die vergleichbar mit der Hangendsequenz der Zwischenflözfolge im Tagebau Espenhain ist (Einheiten III, IV, V). Sie findet ihren Abschluß in einem fossilen Wurzelboden an der Basis des Böhlener Oberflözes (Flöz IV). An der Basis des Flözes IV auftretende, massig erscheinende, helle, weiße Sande zeigen häufig Silifizierungserscheinungen (Quarzitbildung).

Die vergleichenden Betrachtungen dokumentieren, daß innerhalb des Weißelsterbeckens gute Ansätze vorhanden sind für eine regionale Konnektierung der im Tagebau Espenhain ausgehaltenen sedimentologisch-geochemischen Einheiten des obereozän-unteroligozänen Zwischenmittels. **Dabei scheint der im Tagebau Espenhain beobachtete Aufbau der Sequenz typisch für das obereozän-unteroligozäne Zwischenmittel benachbarter Aufschlüsse im nördlichen Teil des Weiß-elsterbeckens zu sein (Tagebaue Witznitz, Zwenkau-Cospuden, Merseburg-Ost): die Gliederung in einen liegenden, überwiegend fluviatil geprägten Teil mit schwach marinen Einflüssen (Ästuarin), und einen hangenden Teil überwiegend marin geprägter Sedimente, wobei beide durch terrestrische Stillwasserablagerungen, die beginnende Vermoorungsprozesse anzeigen, getrennt sind.**

3.3. Genetische Interpretation

Die beobachteten sedimentologisch-lithologischen und geochemischen Merkmale der zwischen dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) und dem Böhlener Oberflöz (Flöz IV) im Tagebau Espenhain aufgeschlossenen obereozän-unteroligozänen Sedimentfolge sind in Tabelle 4 zusammengefaßt. Sie zeigen eine Untergliederung des Zwischensedimentes in sechs verschiedene Einheiten. Diese sind Ausdruck zyklisch wechselnder Sedimentationsbedingungen innerhalb des im Zeitraum Obereozän-Untertoligozän im terrestrisch-marinen Übergangsbereich gelegenen Weißelsterbeckens.

Tabelle 4

Zusammenfassung des Aufbaus und der Merkmale einschließlich genetischer Interpretation des obereozän-
unteroligozänen Zwischenmittels im Tagebau Espenhain

Unteroigozän	Gliederung nach (EISSMANN und BELLMANN 1990)	Sedimentologisch- geochemische Gliederung	Mächtigkeit in Meter	Lithologie	Sedimentologische Merkmale						
					Parallelschichtung	Schrägschichtung	Rippelschichtung	Rinnenkörper	Bioturbation, Lebensspuren	Pflanzliche Makroreste	
Böhlener Oberflöz (Flöz IV)											
Obereozän-Unteroigozäner Übergangszeitraum	Domsener Folge	Grundwasserleiter GWL 3o	Einheit V	0,0 – 0,7	Feinsandiger Mittelsand					+	
			Einheit IV	0,6 – 1,2	Mittelsand		++		+	+	
			IIIb Einheit III IIIa	2,2 – 2,8	Feinsand Feinsandiger Schluff	(+)		++		++	
Obereozän	Flöz III- Äquiv.	Trennschluff	Einheit II	0,3 – 0,4	Mittel- bis Grobschluff						+
	Hainer Folge	Grundwas- serleiter GWL 3u	Einheit I/II	0,0 – 2,2	Grobsandiger Mittelsand (z. T. FS bis Schluff)	+	++	(+)	++	+	++
		Deck- schluff	Einheit I	1,1 – 1,4	Mittel- bis Grobschluff						
Bornaer Hauptflöz (Flöz II)											

Die Sedimentation beginnt mit **limnisch-palustrischen Stillwasserablagerungen (Einheit I)**, die in Folge flächenhafter Überschwemmungen mit zunehmender klastischer Schluff- und Ton-sedimentation die Moorbildungsprozesse (Flöz II) ablösen.

Mit deutlicher Erosionsdiskordanz folgen darüber stark differenzierte Ablagerungen (**Einheit I/II**) eines im unmittelbaren terrestrisch-marinen Übergangsbereich sedimentierenden mäandrierenden Flußsystems (Hainer Fluß). Wechsellagerungen von

- (a) fluviatilen Deltasanden in Form schrägschichteter, grobsandiger Mittelsande, die eine deutliche Verarmung im Elementbestand aufweisen,

Sedimentol. Merkmale					Geochemische Merkmale		Erosionsdiskordanz	Genetische Deutung	Meeresspiegelschwankung	
Bodenbildung	Flözbildung	Fe ₂ -Kongretionen	Schwermineralanreicherung	Silizifizierung	Relative Elementanreicherung	Relative Elementabreicherung			niedrig	hoch
			++	++	Si Nb, Ti, V, P, Zr, W, (As)	Al, Fe, K, Na, Mg, Rb		Strandnahe Sedimente (mit äolischen Anteilen; Dünen?)	?HST3	
		+				(Mg, Na, K, Nb, W)	Litoral (Küstensand bzw. Sandbarren; mit hohen fluviatilen Anteilen)			
			++		Zr, Sn, Y, W, Th, U, Ti, S		Flachmarin (Übergangszone bis Vorstrand?)	HST2		
	++	(+)			C _{org} , (Al, K, Cr, Ni, Ga, Ba, Sr, Rb, Pb)		(?)	Limnisch-palustrische Stillwasserablagerung mit beginnender Moorbildung	?	
		++	+		(Zr, Y)	(Na, Mg, Ca, W)	Verzahnung fluviatiler Deltasande und ästuariner Sedimente	HST1		
		(+)			C _{org} , (Al, K, Cr, Ni, Ga, Ba, Sr, Rb, Pb, As)		Limnisch-palustrische Stillwasserablagerung			

(b) Schluffen mit Pflanzenhäcksel, die durch hohe Gehalte an organischem Kohlenstoff (bis 21%) gekennzeichnet sind und

(c) Feinsanden, häufig mit Merkmalen der Parallellamination, der Bioturbation und Schwermineralanreicherungen

weisen auf **ästuarine und küstennahe Sedimentationsbedingungen** hin. Letztere Sedimente belegen eine offenbar **mehrphasige(?) flächenhafte marine Überflutung des stark faziell** (u. a. aktive Rinnen mit fluviatilen Deltasanden, Totarme mit Stillwassersedimentation) **gegliederten Deltabereichs**. Sie zeigen, daß zu diesem Zeitpunkt das nördliche Weißeelsterbecken schon im

Einflußbereich der Nordsee gelegen war, wobei das Meer bei Flußniedrigwasserständen und/oder in Folge des Tidenhubs periodisch über den Deltabereich nach Süden übergriff. Der Nachweis ästuariner Sedimente im selben Niveau aus den Tagebauen Witznitz (STANDKE 1997), Cospuden (BREMER 1992) und Merseburg-Ost (SOMMERWERK 1990) kennzeichnet dabei den möglichen Küstenverlauf zu dieser Zeit.

In der Einheit I/II wird die **erste, zeitlich noch vor Absatz des obereozänen Thüringer Hauptflözes (Flöz III) einzuordnende, offenbar mehrphasige (?) Transgression der Nordsee in das Weißelsterbecken markiert (HST1 in Tabelle 4)**. Diese Transgression war im wesentlichen nur auf das nördliche Weißelsterbecken beschränkt. Im südlichen Weißelsterbecken herrschten zu diesem Zeitpunkt weitestgehend fluviatile (Ältere Zeitzer Flußsande) bzw. beginnende limnisch-palustrische (Luckenauer Ton und Flöz III-Bildung) Sedimentationsbedingungen vor.

Die weitere Entwicklung wird im Untersuchungsgebiet durch die erneute Ablagerung **limnisch-palustrischer Schluffe und Tone** charakterisiert (**Einheit II**). Flächenhaft nach Süden zunehmende Vermoorungsprozesse führen zur Entwicklung eines paralischen Küstensumpfes, der sedimentologisch durch das Auftreten eines Flözes gekennzeichnet ist, das sich faziell aus den Schluffen der Einheit II entwickelt. Trotz zahlreich in Bohrungen nachweisbarer Flözspaltungen (Autorenkollektiv 1975) ist dieses, schon im Südteil des Tagebau Espenhain vorhandene und die Einheit II kennzeichnende Flöz, **hochwahrscheinlich mit dem obereozänen Thüringer Hauptflöz (Flöz III) des südlichen Weißelsterbeckens zu parallelisieren**.

Transgressiv setzen im Hangenden der Einheit II marine Sedimente ein (**Einheiten III bis V**). Diese sind bis in das südliche Weißelsterbecken verfolgbar und **markieren die weiteste Ausdehnung der obereozän-unteroligozänen Nordsee innerhalb des Weißelsterbeckens vor der Rupel-Haupttransgression (HST2 in Tabelle 4)**. Nach den sedimentologisch-lithologischen und geochemischen Merkmalen zeigt die Sedimentabfolge dieser Einheiten einen **markanten regressiven Trend an, der bei fallendem Meeresspiegel unterschiedliche Faziesbereiche im Übergang Schelf – Küste markiert**. Diese sind durch rezente Untersuchungen belegt (REINECK & SINGH 1986: S. 382 ff., Fig. 534; FÜCHTBAUER 1988).

So reflektieren die schluffig-feinsandigen bis feinsandigen Sedimente der **Einheit III faziell den Bereich der Übergangszone („transition-zone“) mit Wassertiefen zwischen 6–15 m bis zum mittleren Vorstrand („middle shoreface“) mit Wassertiefen von 6–2 m**. Sie sind sedimentologisch durch starke Bioturbation, Rippelschichtung, Parallellamination und geochemisch durch Anreicherungen immobilierender und weitgehend an die Schwermineralfraktion gebundener Elemente (u. a. Zr, Sn, Y, W, Th, U, Ti) gekennzeichnet.

Die mittelsandigen, durch Schräg- und Kreuzschichtung, und geringe bis fehlende Bioturbation gekennzeichneten Sedimente der **Einheit IV** sind nach ihren Merkmalen **faziell in den Bereich des oberen Vorstrandes („upper shoreface“) mit Wassertiefen von 2–0 m bis zum Bereich des nassen Strandes („foreshore“) zu stellen**. Letzterer reicht von der mittleren Hochwasserlinie bis zur mittleren Niedrigwasserlinie, wobei er an Gezeitenküsten vom Trockenen Strand durch einen Strandwall bzw. ein Strandriff getrennt ist. Der Strandwall besteht luvseitig aus einer mit 5–15° gegen das Meer einfallenden Horizontalschichtung, während leeseitig durch das bei Flut überlaufende Wasser bis 30° steile, gegen das Land einfallende Vorschüttlagen abgesetzt werden (FÜCHTBAUER 1988: S. 908, Abb. 14–31).

Schrägschichtungsmessungen an den Sedimenten der Einheit IV weisen an vielen Stellen auf eine **mögliche Sedimentation im Bereich ehemaliger Strandwälle** hin. Sie belegen ein sowohl nach Norden (meerwärts gerichtetes), als auch ein nach Süden (landwärts gerichtetes), wechselseitiges Einfallen der Schichten. Insgesamt überwiegt aber ein nach Süden gerichtetes Schicht-einfallen mit Winkeln von ca. 20°.

Die Sedimente der Einheit IV enthalten einen hohen Anteil von dispers verteilter kohligter Substanz, der sich in einer Dunkelfärbung der Sande äußert („Schwarze Sande“ nach STANDKE 1997 bzw. Dunkle Deckensande nach SOMMERWERK 1990). Dieser ist möglicherweise auf die Aufarbeitung der im südlichen Hinterland zur damaligen Zeit freiliegenden Kohleflöze zurückzuführen. Ebenfalls weisen die engen geochemischen Beziehungen zwischen den Sedimenten der Einheiten I/II und IV auf hohe fluviatile Anteile in den Sedimenten dieser Einheit hin.

Mit den Sedimenten der **Einheit V** wird der beobachtete allgemeine regressive Trend fortgesetzt. Dieser wird u. a. dokumentiert durch einen häufig im unmittelbaren Übergang zum hangenden Flöz IV auftretenden Wurzelboden. Allerdings scheint sich innerhalb der Einheit V ein **erneuter kurzer Meeresspiegelanstieg anzudeuten (HST3 in Tabelle 4)**. Dafür sprechen die beobachtete Korngrößenabnahme, als auch die erneut auftretenden erhöhten Konzentrationen (Peaks) an immobilen und an die Schwermineralfraktion gebundenen Spurenelementen Nb, Ti, V, P, Zr, W und (As). Diese Beobachtungen können allerdings auch das Ergebnis von Prozessen der Elementmobilisierung sein, die zu den in der Einheit V beobachteten Silifizierungserscheinungen geführt haben: zum Beispiel in Folge von Prozessen der Feinstkornverlagerung aus dem Hangenden und der Porenwassermigration.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die Nordsee, noch zeitlich vor der Rupel-Haupttransgression, das nördliche Weißelsterbecken in mindestens zwei, wahrscheinlich auch in drei Transgressionsphasen erreichte (HST 1, HST2, HST3(?); Tabelle 4). Diese Schlußfolgerungen werden auch unterstützt durch die Ergebnisse von Untersuchungen der stabilen Isotope ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) der organischen Substanz der Zwischenflözfolge und der sie über- und unterlagernden Flöze.

An einem Kohletyp-Profil des obereozänen Bornaer Hauptflöz (Flöz II) aus dem Tagebau Schleenhain durchgeführte Isotopenuntersuchungen (MÜHLE et al. 1993) ergaben $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Werte von $-27,50\text{‰}$ bis $-25,95\text{‰}$ (Mittelwert: $-26,68 \pm 0,43$; $n = 30$). Sie entsprechen den aus der Literatur für Braunkohlen bekannten und von terrigener organischer Substanz (C3-Pflanzen) abgeleiteten Werten. Vergleichbare $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Isotopensignaturen ergaben sich für die limnisch-palustrischen Stillwasserablagerungen der Einheiten I (Deckschluff) und II (Trennschluff bzw. Flöz III-Äquivalent) des obereozän-unteroligozänen Zwischenmittels. Sowohl für die ästuarine Sedimentationsbedingungen widerspiegelnde Einheit I/II, als auch für die oberen weitgehend marinen Einheiten III bis V wurden kontinuierliche Trends zunehmender $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Werte festgestellt (Einheit I/II: von $-26,10\text{‰}$ auf $-24,95\text{‰}$; Einheiten III bis V: von $-25,95\text{‰}$ auf $-24,90\text{‰}$). Sie widerspiegeln höhere Anteile organischer Substanz mariner Abstammung ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Werte zwischen -19‰ und -22‰ ; MÜLLER 1998). Dabei werden die innerhalb der Einheiten beobachteten Trends in den Isotopenwerten durch eine mit der Meerestransgression verbundene verstärkte Zumischung marinen Planktons in das Sediment verursacht. Der Übergang von ästuarinen bzw. marinen zu erneuten limnisch-palustrischen Sedimentationsbedingungen ist in den Isotopenkurven der obereozän-unteroligozänen Sedimentfolge mit einer sprunghaften Abnahme der $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ -Werte verbunden.

4. Geochemische Kennwerte der obereozän-unteroligozänen Zwischenflözfolge

Den Hauptanteil der Oberfläche Sachsens nehmen mit etwa 43% der Fläche die Lockersedimente des Känozoikums ein. Trotz ihres großen Flächenanteils ist die vorhandene geochemische Datenbasis für die Hauptsedimenttypen des känozoischen Lockergebirgsstockwerkes sehr spärlich. Erkenntnisse zwischen geochemischem Stoffbestand der Hauptsedimenttypen und ihrer stratigraphischen Position fehlen weitestgehend, darüberhinaus sind die vorliegenden Daten sehr heterogen zusammengesetzt (KARDEL et al. 1996). Die systematisch durchgeführten Untersuchungen an der obereozän-unteroligozänen Sedimentfolge des Tagebaus Espenhain geben die Möglichkeit für diese petrogeochemische Einheit sedimentologisch-lithologisch fundierte geochemische Basisdaten zu erarbeiten.

Zu diesem Zweck wurden statistische Maßzahlen der untersuchten Haupt- und Spurenelementen sowie der granulometrischen Kenngrößen ermittelt. Diese sind für die gesamte eozän-unteroligozäne Zwischenflöz-Sedimentfolge in der Tabelle 5 zusammengefaßt. Angegeben sind: die Anzahl der Stichproben (n), das arithmetische Mittel (X), der Median (M), der Minimalwert (x_{Min}), der Maximalwert (x_{Max}), die Spanne (Sp) und die Standardabweichung (St). Die Charakteristik der einzelnen zu unterscheidenden lithologisch-geochemischen Einheiten ist aus der Tabelle 6 und den Abbildungen 7 und 8 ersichtlich.

Insgesamt ist die obereozän-unteroligozäne Zwischenflöz-Sedimentfolge durch eine generelle Haupt- und Spurenelementarmut im Vergleich zum Clarke (WEDEPOHL 1995), zum Tonmineral-

Tabelle 5

Statistische Maßzahlen der granulometrischen und geochemischen Kenngrößen der die Flöze II und IV im Tagebau Espenhain trennenden obereozän-untereroligozänen Sedimentfolge

	n	x_{\min}	x_{\max}	X_{Mittel}	s	P 90	M = P 50
Granulometrie (Angaben in Masse-%):							
Ton + Schluff	94	0,14	99,98	23,54	33,77	86,00	4,56
Feinsand	94	0,02	97,24	39,56	31,13	88,31	28,36
Mittelsand	94	0,00	85,25	29,17	28,27	67,09	20,76
Grobsand	94	0,00	51,16	7,25	12,46	25,92	0,59
Feinkies	94	0,00	4,00	0,40	0,86	0,98	0,00
Hauptelemente (Angaben in Masse-%):							
SiO ₂	94	41,02	99,78	87,03	15,78	98,31	94,54
Al ₂ O ₃	94	0,11	19,98	3,06	4,68	12,53	0,91
MgO	94	0,00	0,55	0,07	0,14	0,31	0,01
K ₂ O	94	0,01	1,93	0,36	0,48	1,38	0,14
Na ₂ O	94	0,00	0,14	0,03	0,03	0,10	0,02
CaO	94	0,01	2,52	0,31	0,45	0,84	0,16
Fe ₂ O ₃	94	0,09	6,98	0,73	1,05	1,72	0,34
TiO ₂	94	0,02	1,98	0,55	0,52	1,51	0,32
P ₂ O ₅ (ppm)	94	30	520	156	142	420	90
¹⁾ GV _{REA (1100°C)}	93	0,00	48,53	7,21	9,94	25,79	3,37
²⁾ GV _{0-1000°C}	94	0,20	43,40	8,68	13,73	27,67	3,70
³⁾ GV _{0-600°C}	94	0,20	42,90	7,21	9,40	23,10	3,45
⁴⁾ GV _{0-300°C}	94	0,10	40,50	6,12	8,15	19,50	3,00
C _{org}	68	0,11	25,78	3,41	5,32	11,44	1,17
S	94	0,02	8,50	0,97	1,28	2,62	0,57
Spurenelemente (Angaben in ppm):							
As	94	<2	77	8,6	13	18	4,0
Ba	94	16	459	121	100	287	78
Cr	94	<10	150	53	37	116	38
Cu	94	<3	22	6,0	4,1	13	4,0
Ga	94	<3	33	6,6	7,6	20	3,0
Mn	94	<10	185	42	38	99	30
Nb	94	<2	133	13	16	33	8,0
Ni	94	<5	41	11	7,8	24	8,0
Pb	94	<2	42	9,3	9,3	28	6,0
Rb	94	<2	107	19	28	80	6,0
Sn	94	<2	45	9,8	8,1	21	8,5
Sr	94	3,0	169	32	40	81	17
Th	94	<2	20	6,3	5,3	14	4,0
U	94	<2	10	2,2	1,8	5,0	<2
V	94	5,0	124	27	28	79	17
W	94	<2	8,0	2,2	1,8	5,0	<2
Y	94	2,0	58	18	15	41	12
Zn	94	3,0	80	13	17	27	6,0
Zr	94	29	1592	405	369	960	298
Stabile Isotope (Angaben in ‰):							
δ ¹³ C _{org}	68	-26,36	-24,86	-25,57	0,39	-25,07	-25,54

Erläuterungen: n ... Anzahl der Stichproben; x_{\min} ... Minimalwert; x_{\max} ... Maximalwert; X_{Mittel} ... arithmetisches Mittel; s ... Standardabweichung; P 90 ... 90. Perzentilwert; P 50 = M ... 50. Perzentilwert (Median); ¹⁾ ... bei RFA-Analyse bestimmter Glühverlust bei 1100°C; ^{2), 3), 4)} ... mit Muffelofen und geeichtem Temperaturregler bei den Temperaturstufen 300°C, 600°C und 1000°C bestimmter Glühverlust.

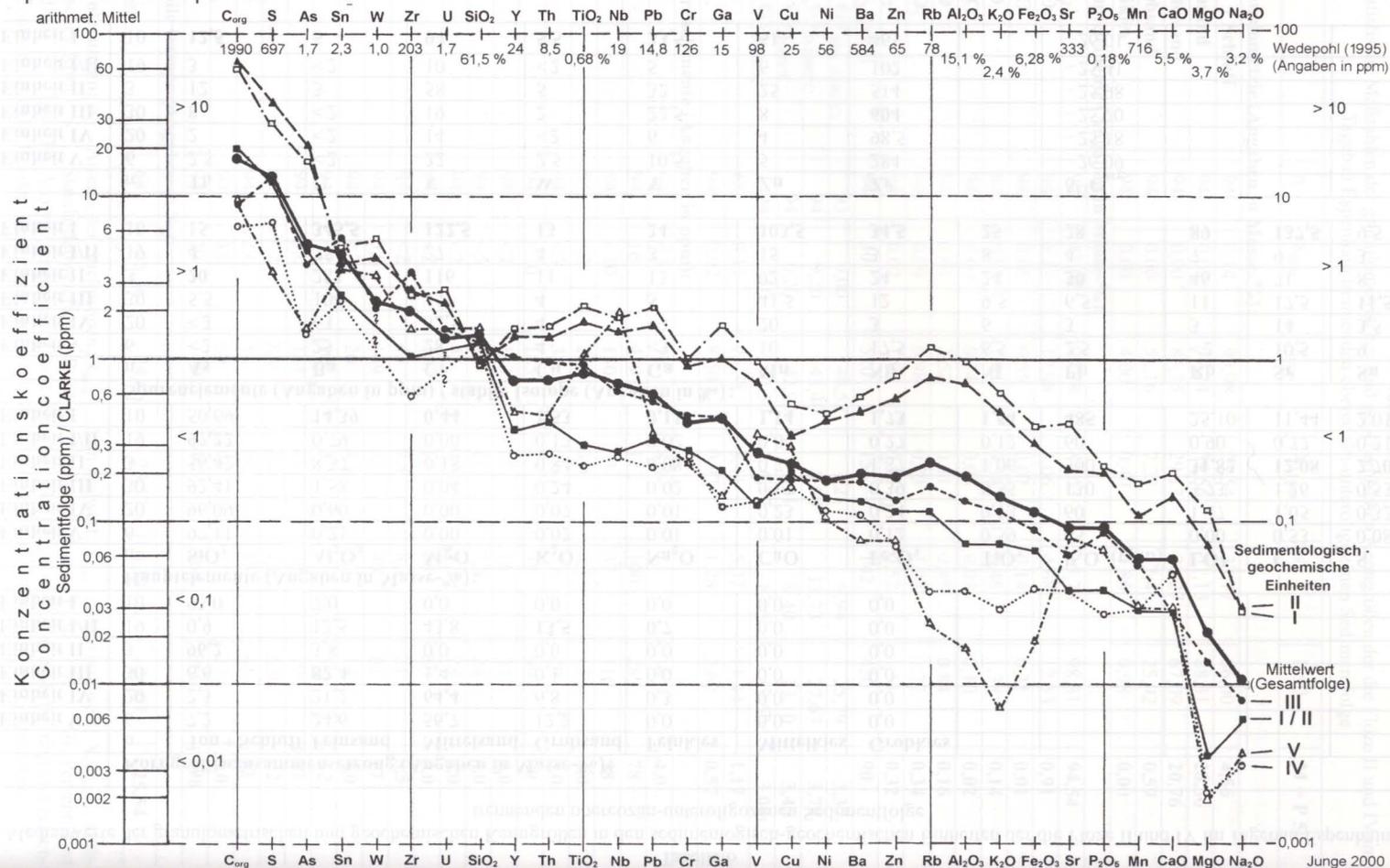
Tabelle 6

Medianwerte der granulometrischen und geochemischen Kenngrößen in den sedimentologisch-geochemischen Einheiten der die Flöze II und IV im Tagebau Espenhain trennenden obereozän-unteroligozänen Sedimentfolge

Korngrößenzusammensetzung (Angaben in Masse-%):													
	n	Ton + Schluff	Feinsand	Mittelsand	Grobsand	Feinkies	Mittelkies	Grobkies					
Einheit V	6	7,2	24,6	56,7	12,2	0,0	0,0	0,0					
Einheit IV	20	2,3	21,2	64,4	6,8	0,3	0,0	0,0					
Einheit III	30	6,6	82,4	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0					
Einheit II	3	96,2	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Einheit I/II	19	0,9	12,5	43,8	13,5	0,7	0,0	0,0					
Einheit I	10	93,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					
Hauptelemente (Angaben in Masse-%):													
	n	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅ (ppm)	LOI	C _{org}	S
Einheit V	6	97,11	0,21	0,00	0,02	0,01	0,01	0,12	0,59	65	0,00	0,53	0,08
Einheit IV	20	96,09	0,60	0,00	0,07	0,01	0,23	0,24	0,13	60	1,47	1,05	0,32
Einheit III	30	92,41	1,58	0,04	0,24	0,02	0,13	0,39	0,55	130	3,73	1,26	0,53
Einheit II	3	56,42	8,37	0,18	0,84	0,08	0,74	1,37	1,06	300	31,82	12,08	2,70
Einheit I/II	19	97,22	0,79	0,00	0,17	0,02	0,04	0,27	0,12	60	0,90	0,77	0,21
Einheit I	10	50,69	14,39	0,44	1,53	0,11	1,14	1,73	1,54	485	25,10	11,44	2,01
Spurenelemente (Angaben in ppm) / stabile Isotope (Angaben in ‰):													
	n	As	Ba	Cr	Cu	Ga	Mn	Nb	Ni	Pb	Rb	Sr	Sn
Einheit V	6	<2	25	28	4	<3	10	17,5	6,5	2,5	<2	10,5	9
Einheit IV	20	<2	63	32,5	4	<3	20	3	6	3	3	14	3,5
Einheit III	30	5,5	104	45	4	5	41,5	12	9,5	6,5	11	17,5	11,5
Einheit II	3	20	283	116	11	13	92	24	24	30	46	71	8
Einheit I/II	19	4	75	27	4	3	15	3	8	4	7	9	3
Einheit I	10	15	345,5	122,5	13	24	103,5	34,5	25	28	89	137,5	9,5
	n	Th	U	V	W	Y	Zn	Zr		δ ¹³ C _{org}			
Einheit V	6	2,5	<2	22	2,5	10,5	5	284		-26,09			
Einheit IV	20	2	<2	14	<2	6	4	98,5		-25,18			
Einheit III	30	8	<2	19	2	22,5	8	604		-25,70			
Einheit II	3	12	3	58	5	32	25	514		-25,98			
Einheit I/II	19	3	<2	10	<2	5	6	102		-25,41			
Einheit I	10	12,5	5	94	5,5	33,5	51	465		-26,01			

Erläuterungen: n ... Anzahl der Stichproben. Die sedimentologisch-geochemischen Einheiten mit den höchsten Gehalten sind hervorgehoben.

Geochemical comparison of the upper eocene - lower oligocene sediment sequence with the CLARKE after WEDEPOHL (1995) opencast mine Espenhain



standard (TUREKIAN & WEDEPOHL 1961) und zu regionalen geogenen Hintergrundswerten (MÜLLER et al. 1998) gekennzeichnet:

Gegenüber dem Clarkwert nach WEDEPOHL (1995) zeigen nur die Elemente C_{org} , S (Anreicherungsfaktor >10) und As, Sn, W, Zr, U, SiO_2 (Anreicherungsfaktor >1) höhere Konzentrationen (Abb. 7). An allen anderen analysierten Elementen erweist sich das Zwischenmittel als verarmt, und dies unabhängig von den unterschiedenen sedimentologisch-geochemischen Einheiten und ihrer mineralogischen und granulometrischen Zusammensetzung. Die größte Abreicherung gegenüber dem Clarkwert zeigen dabei die Elemente Mg, Na, Ca, Mn, Sr und P (Konzentrationskoeffizient $<0,1$). Aber auch die Konzentrationen an den Elementen Fe, K, Rb und Al sind gegenüber dem Clarkwert deutlich erniedrigt. Die allgemeine Elementarmut der Sedimentfolge gegenüber dem Clarke ist das Ergebnis intensiver chemischer Verwitterungsprozesse, in deren Folge vor allem die Feldspäte (Alkalifeldspäte, Plagioklase) sowie die mafischen Minerale (Pyroxene, Hornblende) zu Tonmineralen umgewandelt und weggeführt wurden. Als Rückstände verblieben quarzreiche (Si-reiche) Sedimente mit erhöhten Konzentrationen an immobilem, überwiegend an die Schwermineralfraktion gebundenem Elementbestand (As, Sn, W, Zr).

Bei Einbeziehung der unterschiedenen sedimentologisch-geochemischen Einheiten des Zwischenmittels ergibt sich eine sichtbare **Abhängigkeit der ermittelten Konzentrationskoeffizienten von der Korngröße** (Abb. 7). Diese äußert sich in einem vergleichbaren Kurvenverlauf und einer Gruppierung geochemisch ähnlicher Einheiten: Die höchsten Elementgehalte und vergleichbare Kurvenverläufe weisen die schluffig-tonigen Einheiten I (Deckschluff) und II (Flöz III-Äquivalent) auf. Die niedrigsten Elementgehalte bilden sich in den vergleichbaren Kurvenverläufen der fluviatilen Einheit I/II und der strandnahe Verhältnisse widerspiegelnden Einheit IV ab (überwiegend Mittelsande). Die weitgehend durch Feinsande charakterisierten, marin geprägten Einheiten III und V bilden die dritte Gruppe. Ihre Kurvenverläufe der Konzentrationskoeffizienten bewegen sich im Vergleich zu den anderen Einheiten auf einem mittleren Elementgehaltsniveau.

Die durch intensive Silifizierungserscheinungen (Tertiärquarzitbildung) gekennzeichnete Einheit V zeigt in ihrem Kurvenverlauf der Konzentrationskoeffizienten gegenüber dem Clarke eine **auffällige Depression (Abnahme) in den Gehalten der Elemente K, Al, Fe, Rb, sowie Na und Mg** (Abb. 7). Diese Depression weist auf Elementmigrationen hin, die offenbar im direkten Zusammenhang stehen mit den Prozessen, die zur Silifizierung dieser Einheit Anlaß gaben. Möglicherweise führte insbesondere in dem alkalischen Milieu stattgefundenen Umwandlung der schichtigen Feldspäte und Glimmerminerale zur Bereitstellung des für die Quarzitbildung notwendigen Kieselsäureangebotes. Geochemische Barrieren, z. B. Eh-pH-Veränderungen durch Zutritt huminsäurereicher Lösungen aus dem Hangenden, verursachten nach nur kurzen Migrationswegen eine Wiederausfällung der Kieselsäure und führten damit zu einer Trennung, Migration und Abfuhr des weiteren Lösungsinhaltes. Diese Annahme wird durch die in der Einheit V nachgewiesenen erhöhten SiO_2 -Gehalte gestützt.

Gegenüber allen anderen sedimentologisch-geochemischen Einheiten der Zwischenflözfolge weist die **Einheit V eine ausgeprägte positive Anomalie im Kurvenverlauf der Konzentrationskoeffizienten gegenüber dem Clarke bei den Elementen TiO_2 , Nb, V und Cu** auf (Abb. 7). Diese Anreicherung kann auf die von LOTSCH et al. (1971) innerhalb der Domsener Folge beschriebenen Schwermineralassoziationen zurückgeführt werden.

Eine mit dem Clarkwert vergleichbare Elementgruppierung ergibt sich ebenfalls bei Ermittlung der Konzentrationskoeffizienten gegenüber dem Tongesteinsstandard nach TUREKIAN & WEDEPOHL (aus RÖSLER & LANGE 1975). Hier weisen auch nur die überwiegend an die Schwermineralfraktion gebundenen, oft als Komplexbildner auftretenden, immobilen Spurenelemente Zr, Sn, Nb, W eine relative Anreicherung im Zwischenmittel auf. Dabei ergibt sich die folgende Reihenfolge der Konzentrationsquotienten (Quotient aus Gehalt in Zwischenflöz-Sedimentfolge und Tongesteinsstandard) für die untersuchten Spurenelemente (alle Proben):

Zr (2,5) > Sn (1,8) > Nb (1,4) > W (1,2) > Y (0,7) > U (0,6) > Cr, Th, Ba (0,5) > Pb (0,4) > Ba, As, Ga (0,3) > Co, V (0,2) > Zn, Ni, Cu, Rb, Sr, Mn (0,1)

Bei Einbeziehung nur der schluffig-tonigen Sedimentabschnitte des Zwischenmittels (Einheiten I, II) in den Vergleich zum Tongesteinsstandard nach TÜREKIAN & WEDEPOHL (1961) ergeben sich ähnliche Verhältnisse in den An- und Abreicherungs Faktoren:

Zr (3,6) > Nb (3,1) > W (2,8) > Sn (1,6) > Y (1,5) > U, Pb, Cr (1,4) > Th (1,2) > Ga (1,1)
 > As (0,9) > Zn, V, Co (0,7) > Rb (0,6) > Sr (0,5) > Ni (0,3) > Cu (0,2) > Mn (0,1)

Gegenüber den von MÜLLER et al. (1998) publizierten regionalen Spurenelementdaten des geogenen Hintergrundes aus dem Elstergebiet, repräsentiert durch feinkörnige fluviatile Sedimente des Holozäns (Auelehme), ergeben sich die folgenden An- und Abreicherungs Faktoren (Quotient aus Gehalt in Zwischenflöz-Sedimentfolge und regionalem Hintergrundwert) für alle untersuchten Proben des Zwischenmittels:

W (12,9) > Sn (3,7) > Y, Sr (0,7) > U, Cr (0,6) > Th (0,5) > V, Pb, Ga (0,4) > Rb, Cu, Co, As (0,2) > Zn, Ni, Mn (0,1)

Alle diese Vergleiche bestätigen eine generelle Elementarmut der obereozän-unteroligozänen Sedimentfolge, die nur erhöhte Elementkonzentrationen an weitgehend immobilis und von an die Schwermineralfraktion gebundenen Elementen aufweist.

Erste multivariatstatistische Auswertungen der granulometrischen und geochemischen Daten zeigen für die gesamte Zwischenflöz-Sedimentfolge die folgenden interessanten Abhängigkeiten:

1. Der **SiO₂-Gehalt** als Quarzäquivalent weist signifikante **positive Korrelationen nur zu den Grobkornfraktionen (vor allen des Mittelsandes: r = +0,56)** auf. Zu allen anderen Kenngrößen bestehen entweder keine oder nur signifikante negative Korrelationen.
2. Eine Vielzahl von Elementen weisen signifikante, **hohe positive Korrelationen zum Feinstkorn (Ton + Schluff)** auf (r > +0,80) und dokumentieren damit ihre strukturelle oder adsorptive Bindungen an Tonminerale. Zu ihnen zählen (mit fallendem Korrelationskoeffizienten) die Elemente: **Na₂O, Ba, Cr, K₂O, Rb, Al₂O₃, Ga, P₂O₅, Pb, Ni, TiO₂, Sr, Mn.**
3. Die vor allem **an die Schwermineralfraktion gebundenen Elemente** sind durch **hohe positive Korrelationen (r > +0,60) zum Zirkonium** (Zirkon als Trägermineral) ausgewiesen: **Y (+0,90), Sn (+0,87), Th (+0,83), U (+0,69), TiO₂ (+0,63).** Dabei besteht in vielen Fällen eine Bindung an die Feinsandfraktion.
4. Das weitverbreitete Auftreten von Markasit und seiner Zersetzungsprodukte (Sulfatbildung) innerhalb des Zwischensedimentes äußert sich in den beobachteten **Korrelationen zum Schwefel: Fe (+0,87), Ca (+0,52), Cu (+0,52), Cr (+0,51), As (+0,48).**
5. Bei weitgehender Bindung an das Feinstkorn (Ton + Schluff) zeigen die folgenden Elemente eine hohe **Affinität zum organischen Kohlenstoff (r > +0,50): Ga, As, Cu, Rb, Ni, Pb, P₂O₅, S, Zn.**

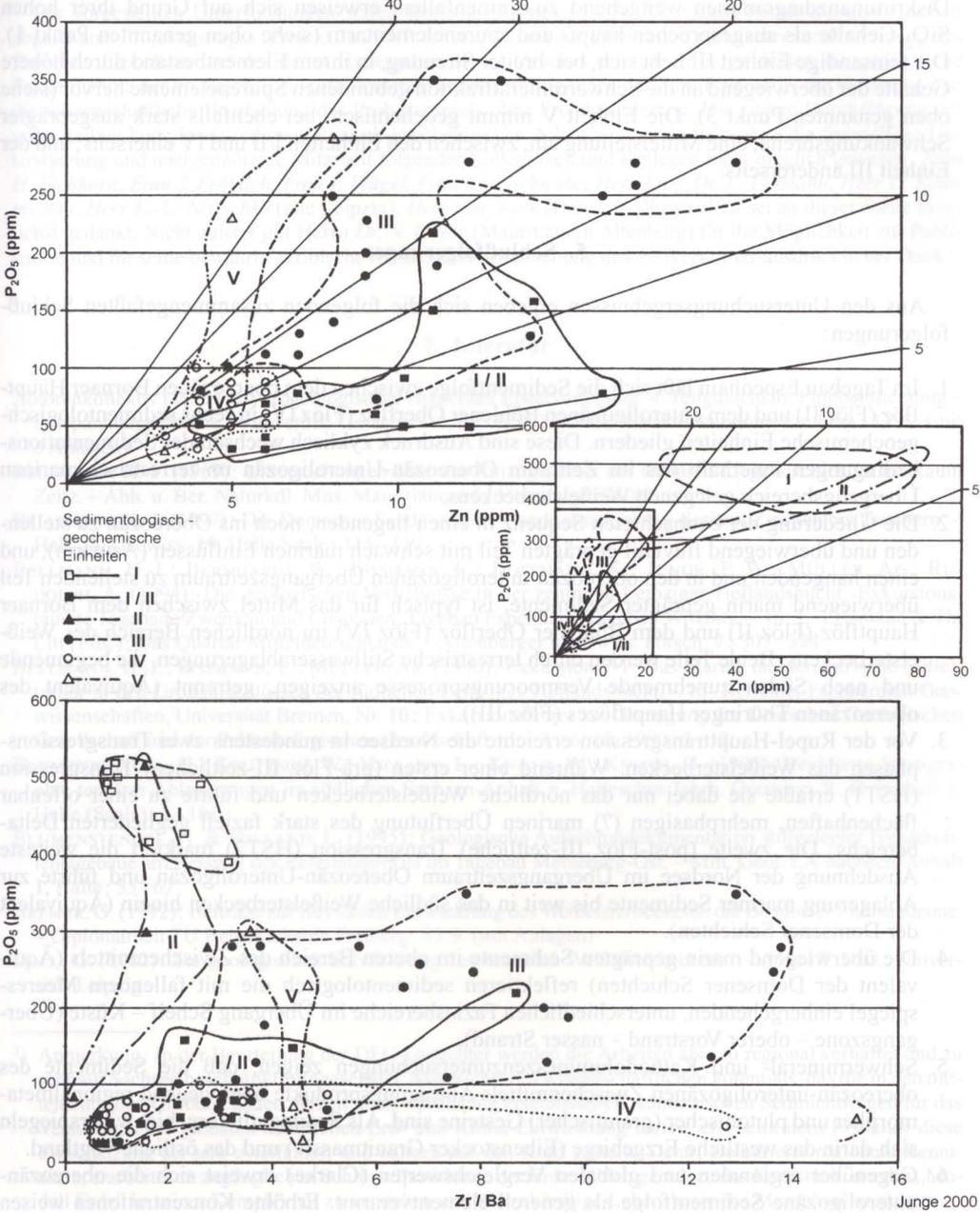
Abb. 8. Diskriminanzdiagramme zur Abgrenzung der innerhalb des obereozän-unteroligozänen Zwischenmittels unterschiedenen sedimentologisch-geochemischen Einheiten: P₂O₅ – Zn (oben) und P₂O₅ – Zr/Ba (unten).

P₂O₅ – Zn – *Diskriminanzdiagramm* (oben): P₂O₅ und Zn zeigen hohe Affinitäten zum sich im Feinstkorn (Ton + Schluff) widerspiegelnden Tonmineralgehalt und zum Gehalt an organischem Kohlenstoff. Auf Grund dieser, vor allem über adsorptive Bindungen realisierten Affinitäten, ist innerhalb des P₂O₅ – Zn – Diskriminanzdiagramms eine deutliche Abtrennung der durch hohe Schluff- und Tonanteile gekennzeichneten Einheiten I und II von den fein- bis mittelsandigen Einheiten I/II, III und IV möglich. Darüberhinaus werden die überwiegend marin geprägten Einheiten (Mittelwerte der Einheiten III, IV, V: 16; 15; 13) gegenüber den mehr terrestrisch (limnisch-fluviatil) geprägten Einheiten (Mittelwerte der Einheiten I, I/II, II: 9; 10; 12) durch höhere P₂O₅/Zn-Verhältnisse ausgewiesen.

P₂O₅ – Zr/Ba – *Diskriminanzdiagramm* (unten): Die überwiegend terrestrisch (limnisch-fluviatil) geprägten Einheiten sind im Diskriminanzdiagramm bei mit der Korngröße variierenden P₂O₅-Gehalten durch niedrige Zr/Ba-Quotienten gekennzeichnet (Mittelwerte der Einheiten I, I/II, II: 1,3; 1,4; 1,8). Die überwiegend marin geprägten Einheiten weisen bei ebenfalls durch den Feinstkornanteil kontrollierten P₂O₅-Gehalten eine größere Variabilität und deutlich höhere Zr/Ba-Quotienten auf (Mittelwerte der Einheiten III, IV, V: 5,8; 1,6; 11).

Die sedimentologisch-geochemischen Einheiten des Zwischenmittels (I, I/II, II, III, IV und V) nehmen innerhalb verschiedener geochemischer Diskriminanzdiagramme (z. B. $P_2O_5 - Zn$; $P_2O_5 - Zr/Ba$; $Ni - Zr$; $C_{org} - S$; Abb. 8) voneinander weitgehend getrennte Felder ein. Diese werden durch Unterschiede in der Korngröße, des Mineralbestandes (Tonminerale, Schwermineral) und des Gehaltes an Sulfidschwefel und organischem Kohlenstoff verursacht und lassen innerhalb die-

Geochemische Diskriminanzdiagramme
Geochemical discrimination diagrams



ser Diagramme eine geochemische Abtrennung und genetische Deutung der verschiedenen Einheiten des Zwischenmittels zu. In den Diskriminanzdiagrammen ergeben sich vergleichbare Felder und somit **geochemische Ähnlichkeiten zwischen den Einheiten I und II, den Einheiten I/II und IV, sowie mit Einschränkungen zwischen den Einheiten III und V.** Die darin häufig ein gemeinsames und von den anderen Einheiten gut abgetrenntes Verbreitungsfeld einnehmenden Einheiten I und II sind auf Grund ihrer hohen Ton + Schluffanteile, hoher Tonmineral-, C_{org} - und Schwefelgehalte durch hohe Gehalte der an die Feinstkornfraktion, an den organischen Kohlenstoff und an den Sulfidschwefel gebundenen Elemente ausgewiesen (siehe oben genannte Punkte 2, 4, 5). Die grobkörnigen Einheiten I/II und IV des Zwischenmittels, deren Positionen in den Diskriminanzdiagrammen weitgehend zusammenfallen, erweisen sich auf Grund ihrer hohen SiO_2 -Gehalte als ausgesprochen haupt- und spurenelementarm (siehe oben genannten Punkt 1). Die feinsandige Einheit III hebt sich, bei breiter Streuung, in ihrem Elementbestand durch höhere Gehalte der überwiegend an die Schwermineralfraktion gebundenen Spurenelemente hervor (siehe oben genannten Punkt 3). Die Einheit V nimmt geochemisch, bei ebenfalls stark ausgeprägter Schwankungsbreite, eine Mittelstellung ein, zwischen den Einheiten I/II und IV einerseits, und der Einheit III andererseits.

5. Schlußfolgerungen

Aus den Untersuchungsergebnissen ergeben sich die folgenden zusammengefaßten Schlußfolgerungen:

1. Im Tagebau Espenhain läßt sich die Sedimentfolge zwischen dem obereozänen Bornaer Hauptflöz (Flöz II) und dem unteroligozänen Böhlener Oberflöz (Flöz IV) in sechs sedimentologisch-geochemische Einheiten gliedern. Diese sind Ausdruck zyklisch wechselnder Sedimentationsbedingungen innerhalb des im Zeitraum Obereozän-Unteroligozän im terrestrisch-marinen Übergangsbereich gelegenen Weißelsterbeckens.
2. Die Gliederung der beobachteten Sequenz in einen liegenden, noch ins Obereozän zu stellenden und überwiegend fluviatil geprägten Teil mit schwach marinen Einflüssen (Ästuarin), und einen hangenden und in den obereozän-unteroligozänen Übergangszeitraum zu stellenden Teil überwiegend marin geprägter Sedimente, ist typisch für das Mittel zwischen dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) und dem Böhlener Oberflöz (Flöz IV) im nördlichen Bereich des Weißelsterbeckens. Beide Teile werden durch terrestrische Stillwasserablagerungen, die beginnende und nach Süden zunehmende Vermoorungsprozesse anzeigen, getrennt (Äquivalent des obereozänen Thüringer Hauptflözes (Flöz III)).
3. Vor der Rupel-Haupttransgression erreichte die Nordsee in mindestens zwei Transgressionsphasen das Weißelsterbecken. Während einer ersten (prä-Flöz III-zeitlichen) Transgression (HST1) erfaßte sie dabei nur das nördliche Weißelsterbecken und führte zu einer offenbar flächenhaften, mehrphasigen (?) marinen Überflutung des stark faziell gegliederten Delta-bereichs. Die zweite (post-Flöz III-zeitliche) Transgression (HST2) markiert die weiteste Ausdehnung der Nordsee im Übergangszeitraum Obereozän-Unteroligozän und führte zur Ablagerung mariner Sedimente bis weit in das südliche Weißelsterbecken hinein (Äquivalent der Domsener Schichten).
4. Die überwiegend marin geprägten Sedimente im oberen Bereich des Zwischenmittels (Äquivalent der Domsener Schichten) reflektieren sedimentologisch die mit fallendem Meeresspiegel einhergehenden, unterschiedlichen Faziesbereiche im Übergang Schelf – Küste (Übergangszone – oberer Vorstrand – nasser Strand).
5. Schwermineral- und Kathodolumineszenzuntersuchungen zeigen, daß die Sedimente des obereozän-unteroligozänen Zwischenmittels Abtragungsprodukte überwiegend regionalmetamorpher und plutonischer (granitischer) Gesteine sind. Als Sedimentliefergebiet widerspiegeln sich darin das westliche Erzgebirge (Eibenstocker Granitmassiv) und das östliche Vogtland.
6. Gegenüber regionalen und globalen Vergleichswerten (Clarke) erweist sich die obereozän-unteroligozäne Sedimentfolge als generell elementverarmt. Erhöhte Konzentrationen weisen

neben C und S nur die weitgehend immobilen und überwiegend an die Schwermineralfraktion gebundenen Elemente As, Sn, W, Zr, U, SiO₂ auf. Die beobachteten Transgressionsphasen der Nordsee in das Weißelsterbecken werden innerhalb der Sedimentfolge geochemisch durch eine überproportionale Anreicherung der vorwiegend an die Schwermineralfraktion gebundenen Elemente As, Zr, Y, Sn, W und untergeordnet TiO₂, P₂O₅, Nb, Th und U fixiert.

6. Danksagung

Die vorgestellten Untersuchungen waren Bestandteil eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft abgelehnten Projektantrages (Projekt Ju 297/7-1)³. Auf Grund der 1999 rasant voranschreitenden Flutung des Tagebaus Espenhain und des damit einhergehenden Zeitdruckes erfolgte in Folge dessen die geologische Feldaufnahme der im Tagebau aufgeschlossenen unwiederbringlichen tertiären Typprofile, die Sicherung und die wissenschaftliche Bearbeitung des Probenmaterials ohne Projektförderung. Die zügige Durchführung der vorgestellten komplexen sedimentologisch-geochemischen Arbeiten wäre deshalb ohne die freundliche Unterstützung und uneigennützigte Mitarbeit folgender Kolleginnen und Kollegen nicht möglich gewesen: Frau H. Eichhorn, Frau J. Fröhlich, Frau I. Flügel, Frau Chr. Schwabe, Herr Prof. Dr. L. Eißmann, Herr G. Komnichau, Herr K.-U. Nitzschke (alle Leipzig), Herr Chr. Tonk (Dresden). Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Nicht zuletzt gilt Herrn Dr. N. Höser (Mauritanium Altenburg) für die Möglichkeit zur Publikation und für seine bewährte akribische redaktionelle Bearbeitung des Artikels unser ausdrücklicher Dank.

7. Literatur

- Autorenkollektiv (1975): Hydrogeologisches Gutachten Elsterverlegung. 4. Teilgutachten: Flußbett-dichtung – Spannungsschlitze. – unveröff. Gutachten v. 31. 3. 1975, VEB Geol. Erkundung Freiberg: 17 S. (mit 5 Anlagen)
- BELLMANN, H.-J. (1969): Untersuchungen über das Einzugsgebiet der tertiären Liegendschichten im Raum Zeitz. – Abh. u. Ber. Naturkd. Mus. Mauritianum **6**, Altenburg: 37–48
- BELLMANN, H.-J. (1997): Die Domsener Sande und die Funde von *Limulus decheni* Zincken bei Teuchern. – Hall. Jb. Geowiss. **19**, Halle/Saale: 115–119
- BELLMANN, H.-J.; BERNHARDT, W.; EISSMANN, L.; HOFFMANN, K.; JUNGE, F. W.; MÜLLER, AR.; RUDOLPH, A. (1994): Die geologischen Verhältnisse in der zentralen Leipziger Tieflandsbucht: Exkursionspunkte Tagebaue Zwenkau und Cospuden, Tagebau Espenhain, Tagebau Witznitz. – In: L. Eissmann & Th. Litt (Eds.): Das Quartär Mitteldeutschlands. – Altenburger naturwiss. Forsch. **7**: 307–324
- BELLMANN, H.-J.; EISSMANN, L.; MÜLLER, AR. (1990): Exkursion V-1: Das Marine und terrestrische Mitteltertiär in den Großaufschlüssen der südlichen Leipziger Tieflandsbucht. – In: Berichte, Fachbereich Geowissenschaften, Universität Bremen, Nr. **10**: Exkursionsführer zur Geotagung der Deutschen Geologischen Gesellschaft und der Paläontologischen Gesellschaft vom 3.–6. 10. 1990: 2–12
- BLUMENSTENGEL, H.; KRUTZSCH, W.; VOLLAND, L.; KNOTH, W.; KNUTH, G. (1996): Revidierte Stratigraphie tertiärer Ablagerungen im südlichen Sachsen-Anhalt. – Hallesches Jahrb. Geowiss., R. B, Beiheft 1, Halle (Saale): 1–101
- BLUMENSTENGEL, H. & VOLLAND, L. (1995): Geologische Aufschlußdokumentation stillgelegter Braunkohlentagebaue am Beispiel des Referenzprofils im Tagebau Merseburg-Ost. – Mitt. Geol. LA Sachsen-Anhalt **1**, Halle: 55–67
- BREMER, G. (1992): Beiträge zur fluviatilen Entwicklung des Weißelsterbeckens: die Bösdorfer Flußsandzone. – Diplomarbeit TU Bergakademie Freiberg: 83 S. (mit Anlagen)
- DOLL, G. (1982): Zur geologischen Entwicklung des zentralen Weißelsterbeckens. – unveröff. Diss., Universität Leipzig

³) Anmerkung: In der Beurteilung der DFG-Gutachter werden die Arbeiten als „zu regional verhaftet und zu sehr auf Sachsen beschränkt“ eingeschätzt. Angesichts des wissenschaftlichen Potentials, das die in den mitteleuropäischen Großtagebauen derzeit noch weitflächig erschlossenen, känozoischen Sedimentfolgen für das Verständnis der globalen natürlichen Erd- und Klima-Entwicklung bieten, erscheint dem Erstautor diese Einschätzung als sehr zweifelhaft und nahezu auf den Kopf gestellt. Denn: Detaillierte regionale Kenntnisse, erarbeitet an zugänglichen Schlüsselpositionen der Erde, bilden geradezu das Kernstück, um das „Modell Erde“ in seiner Komplexität zu verstehen und die zukünftige Lebensbasis des Menschen zu sichern.

- DOLL, G. (1984): Zur zyklischen Ausbildung des Tertiärs im Zentrum des Weißelsterbeckens. – Z. geol. Wiss. **12**, Berlin: 575–583
- EISSMANN, L. (1968): Überblick über die Entwicklung des Tertiärs in der Leipziger Tieflandsbucht (Nordwestsachsen). – Sächs. Heimatbl. **14**, Dresden: 25–37
- EISSMANN, L. (1994): Leitfaden der Geologie des Prätertiärs im Saale-Elbe-Gebiet. – In: L. Eissmann & Th. Litt (Eds.): Das Quartär Mitteldeutschlands. – Altenburger naturwiss. Forsch. **7**: 11–46
- ETZOLD, F. (1912): Die Braunkohlenformation NW-Sachsens. – Erl. Z. geol. Spezialkarte von Sachsen, Leipzig
- FÜCHTBAUER, H. (1988): Kapitel 14. Sedimentäre Ablagerungsräume. – In: H. FÜCHTBAUER (Hrsg.): Sediment-Petrologie Teil II: Sedimente und Sedimentgesteine. – Schweizerbart Stuttgart: 865–960
- GÖTZE, J. (1996): Kathodolumineszenz von Quarz – Grundlagen und Anwendung in den Geowissenschaften. – Aufschluß **47**: 215–223
- HAAGE, R. (1966): Beitrag zur Petrographie und Genese des Tertiärquarzits von Böhlen-Espenhain bei Leipzig. – Ber. Deutsch. Ges. geol. Wiss., B, Miner. Lagerstättenf. **11**, 2: 229–237
- HAASE, E. (1956): Zur Kenntnis der Tertiärsande in der Gegend von Halle. – Wiss. Zeitschr. Univ. Halle, math.-nat. R., Halle **5**, 6: 1159–1178
- HALFAR, J. (1994): Faziesarchitektur und Sedimentologie eines paläogenen fluviatilen Systems im Tagebau Schleenhain bei Leipzig. – Diplomarbeit, Institut u. Museum für Geologie und Paläontologie der Georg-August-Universität zu Göttingen
- HALFAR, J.; RIEGEL, W. (1995): Faziesarchitektur und Sedimentologie eines paläogenen fluviatilen Systems im Tagebau Schleenhain bei Leipzig. – Abh. Staatl. Mus. Min. Geol. Dresden **41**: 53–72
- HALFAR, J.; RIEGEL, W.; WALTHER, H. (1998): Facies architecture and sedimentology of a meandering fluvial system: a Palaeogene example from the Weisselester Basin, Germany. – Sedimentology **45**: 1–17
- HOPPE, G. (1959): Die Schwerminerale der tertiären Sande des Geiseltales. – Geologie **8**, 6: 612–624
- HUNDT, U. (1958): Schwermineralanalytische Untersuchungen an tertiären Sanden aus dem Zeitz-Weißenfelder Braunkohlenrevier. – Diplomarbeit Univ. Halle, Mineral. Institut
- KARDEL, K.; RANK, G.; PÄLCHEN, W. (1996): Geochemischer Atlas des Freistaates Sachsen. Teil 1: Spurenelemente in Gesteinen. – Materialien zum Bodenschutz 1996, Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul
- 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 Biostratigraphien – paläobotanisch-ökologische Klimastratigraphie – Evolutions-Stratigraphie der Vertebraten). – N. Jb. Geol. Paläont. Abh. **186**, 1–2, Stuttgart: 137–253
- LESCH, L. (1987): Untersuchung und Bewertung der Schwermineralführung im Objekt Braunkohlenerkundung Merseburg-Ost. – unveröff. Bericht Inst. f. Rohstofforschung und Lagerstättenwirtschaft IfR Dresden
- LOTSCH, D.; RHODE, G.; FISCHER (1979): Informationsbericht Regionale Geologie tieferliegender Flöze einschließlich Begleitschichten – Schwermineralseifen Profen-Domsen (Meßtischbl. 4839). – unveröff. Bericht Zentr. Geol. Inst., Berlin: 20 S. (mit 19 Anlagen)
- LOTSCH, D.; STEINKE, K.; WAHLICH, G.; LAUER, D.; LIEBSCHER, W.; MÜHLMANN, R.; WEIHRACH, F. (1971): Bericht über das Vorkommen tertiärer Monazit-Zirkon-Rutil-Seifen, Zirkon-Titanmineral-Seifen und von Quarzsanden in den Tagebaufeldern Profen-Südflügel und Profen-Förderbrückenfeld des BKK „Erich Weinert“ Deuben. – unveröff. Bericht ZGI Berlin und GFE Halle: 33 S. (mit 11 Anlagen)
- LUDWIG, G. (1968): Untersuchungen über Schwermineralführung und Zirkonmorphologie im Tertiär des östlichen Weißelster-Beckens. – unveröff. Diss., Univ. Greifswald
- LUDWIG, G. (1970): Zirkone aus dem Braunkohlentertiär – Zur Herkunft der Sedimente des östlichen Weißelsterbeckens. – Ber. Deutsch. Ges. geol. Wiss., B, Miner. Lagerstättenf., **15**, 2, Berlin: 149–166
- MAGNUS, M. (1998): Mikroskopische Phasen- und Kornformanalyse klastischer Sedimentite mittels Bildanalyse am Beispiel des Unterturons der Elbezone. – unveröff. Diss., TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geologie: 118 S. (mit Anhang)
- MAI, D. H.; WALTHER, H. (1978): Die Floren der Haselbacher Serie im Weißelsterbecken (Bezirk Leipzig). – Abh. Staatl. Mus. Miner. Geol. Dresden **28**, Leipzig: 1–200
- MAI, D. H.; WALTHER, H. (1985): Die obereozänen Floren des Weißelsterbeckens und seiner Randgebiete. – Abh. Staatl. Mus. Miner. Geol. Dresden **33**, Leipzig: 1–176
- MAI, D. H.; WALTHER, H. (1991): Die oligozänen und untermiozänen Floren NW-Sachsens und des Bitterfelder Raumes. – Abh. Staatl. Mus. Miner. Geol. Dresden **38**, Dresden: 1–230
- MAI, D. H.; WALTHER, H. (2000): Die Fundstellen eoziäner Floren des Weißelster-Beckens und seiner Randgebiete. – Altenburger naturwiss. Forsch. **13**: 1–59
- MÜHLE, K.; BRÄUER, K.; JUNGE, F. W.; VOLKMANN, N. (1993): Ergebnisse isotopengeochemischer, mikropetrographischer und kohlenogenetischer (-fazieller) Untersuchungen an ausgewählten Weichbraunkohlen-

proben des Typ-Profiles Schleenhain (Bornaer Hauptflöz). – unveröff. Ergebnisbericht, WIP-Arbeitsgruppen Isotopengeochemie und Paläoklimatologie, Universität Leipzig und Institut für Geologie, TU Bergakademie Freiberg

- MÜHLMANN, R. (1982): Zu Problemen der paläogeographischen Entwicklung des prätertiärs und Tertiärs im südwestlichen Weißelsterbecken (Mtbl. Pegau und Hohenmölsen) und zu Beziehungen zwischen Prätertiär und Tertiär. – unveröff. Diss. KMU Leipzig, WB Geophysik: 129 S. (mit Anlagen)
- MÜLLER, A. (1998): Zur postglazialen Sedimentationsgeschichte des Großen Jasmunder Boddens, südliche Ostsee. – *Eiszeitalter und Gegenwart* **48**, Hannover: 118–132
- MÜLLER, AN.; HANISCH, CHR.; ZERLING, L.; LOHSE, M.; WALTHER, A. (1998): Schwermetalle im Gewässersystem der Weißen Elster. – *Abh. Sächs. Akad. Wiss. zu Leipzig* **58**, H. 6: 199 S.
- PIETZSCH, K. (1925): *Die Braunkohlen Deutschlands*. – Verlag Borntraeger, Berlin
- REINECK, H.-E.; SINGH, I. B. (1986): *Depositional Sedimentary Environments*. – Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York, 2. Auflage: 551 S.
- RICHTER, H. (1963): Das Vorland des Erzgebirges. Die Landformung während des Tertiärs. – *Wiss. Veröff. Dtsch. Inst. f. Länderkunde, N.F.* 19/20, Leipzig
- RÖSLER, H. J.; LANGE H. (1975): *Geochemische Tabellen*. – VEB Dtsch. Verlag f. Grundstoffindustrie Leipzig, 2. Aufl.: 700 S.
- RÖSLER, H. J.; STARKE, R. (1970): *Einführung in die Tonmineralogie*. – 2./3. Lehrbrief, Bergakademie Freiberg: 144 S.
- ROST, M. (1933): Zur Geologie und Paläogeographie des Leipziger Tertiärs. Einleitende Studien über seinen Aufbau nach Schwermineralbestandstypen nebst prinzipiellen Bemerkungen zur Schwermineralanalyse. – *Jb. Hall. Verb.* **12**: 5–34
- SCHRÖDER, B.; PETEREK, A. (2001): Känozoische Hebungs- und Abtragungsgeschichte im Umfeld des westlichen Egergrabens. – *Z. geol. Wiss.: im Druck*
- SOMMERWERK, K. (1990): Untersuchungen an primären Sedimentgefügen und die Auswirkungen fazieller Wechsel auf hydrogeologische Parameter im obereozänen Hangendgrundwasserleiter ‚93‘ der Braunkohlenlagerstätte Merseburg-Ost. – Diplomarbeit Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald: 44 S. (mit 2 Tab., 7 Abb., 16 Bildern, 8 Anlagen)
- STANDKE, G. (1997): Die Hainer Sande im Tagebau Witznitz. Ergebnisse der geologischen Aufschlußdokumentation stillgelegter Braunkohlentagebaue in Sachsen. – *Mauritiana (Altenburg)* **16**, 2: 241–259
- STEINMÜLLER, A.; ORTMANN, R. (1970): Sedimentologische und stratigraphische Untersuchungen im Tertiär Ostthüringens. – *Geologie* **19**, 2: 178–205
- TUREKIAN, K. K.; WEDEPOHL, K. H. (1961): Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. – *Bull. Geol. Soc. Am.* **72**: 175–192
- WEDEPOHL, K. H. (1995): The composition of the continental crust. – *Geochim. Cosmochim. acta* **59**, 7: 1217–1232
- ZINCKEN, C. (1862): *Limulus Decheni* aus dem Braunkohlensandstein von Teuchern. – *Z. ges. Naturwiss.* **19**, Berlin: 329–331

Eingegangen am 10. 1. 2001

PD Dr. habil. FRANK W. JUNGE, Am Bahnhof 32a, D-04425 Taucha OT Pönitz, Deutschland

Dr. WILLY DUCKHEIM, Am Klingsacker 20, D-64295 Darmstadt, Deutschland

Dr. PETER MORGENSTERN, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Sektion Analytik, Permoserstraße 15, D-04303 Leipzig, Deutschland

Dr. MICHAEL MAGNUS, Institut für Geologie, TU Bergakademie Freiberg, Bernhard-von-Cotta-Straße 2, D-09596 Freiberg, Deutschland