

Brandenburg. geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	13 (2006), 1/2	S. 67-88	20 Abb., 3 Tab., 24 Lit.
------------------------------	--------------	----------------	----------	--------------------------

Geologisch-sedimentologische Untersuchungen des Sedimentmittels zwischen dem Bornaer und dem Thüringer Hauptflöz im Restloch Groitzscher Dreieck

Geologic-sedimentological investigations of the sedimentary interbed between the Borna and Thüringen main seam in the abandoned strip coal mine Groitzscher Dreieck

ANSELM KÜHL, FRANK-W. JUNGE, TIM STEINBERG & REINER STANGE

1. Einleitung

Seit einigen Jahren wird durch den Ko-Autor dieses Beitrages, PD Dr. habil. Junge, das BMBF-Forschungsthema „Klimavariabilität in Warmzeit-Kaltzeit-Übergängen“ im Rahmen des DECLIM-Förderprogramms bearbeitet. In diesem Rahmen wurden und werden geologische Kartierungsarbeiten von tertiären und pleistozänen Schichtfolgen in Mitteleuropa (Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen) durchgeführt mit anschließender geologisch-sedimentologischer Bearbeitung auf der Grundlage granulometrischer, geochemischer und isotopegeochemischer Daten (JUNGE 2000, JUNGE et al. 2001, 2002, 2005, EISSMANN 2004, MIERSCH & KÜHL 2002, 2003 sowie NESTMANN, KÜHL & JUNGE 2004).

Eine wichtige geologische Typuslokalität stellt das Restloch des ehemaligen Braunkohlentagebaus Groitzscher Dreieck dar, in welchem die Sedimentfolge zwischen dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) und dem Thüringer Hauptflöz (Flöz III) aufgeschlossen ist und feinstratigraphisch-sedimentologisch aufgenommen wurde.

Im Einzelnen beinhaltet die Spezialkartierung

- die Abgrenzung und Erfassung des lithologischen Inventars der Schichten bis in den Zentimeterbereich in Schlitzprofilen an den Endböschungen des Restlochs
- Messungen von Schichtneigungen an einzelnen fluviatilen Schichtkörpern
- Messungen an den in der fluviatilen Schichtserie eingelagerten Baumstämmen: Stamm-länge und -durchmesser, relative Höhenlage im Profil sowie deren räumliche Orientierung
- Probenentnahme lithologisch differenzierter Einheiten.

Die Hauptziele der vorgestellten Arbeit bestanden

- in der Erarbeitung eines lithostratigraphischen Gesamtprofils,
- in der Differenzierung, Zusammenfassung und Charakterisierung übergeordneter li-

thogenetischer Schichteinheiten mit Hilfe der Sequenzanalyse ausschließlich auf der Grundlage unscharfer Objektinformationen aus der Schichtenaufnahme und -dokumentation,

- in der lithogenetischen Interpretation auf der Grundlage der Korngrößen und des Korngrößenwechsels sowie der Raumlagedaten der Baumstämme in der fluviatilen Schichteinheit.

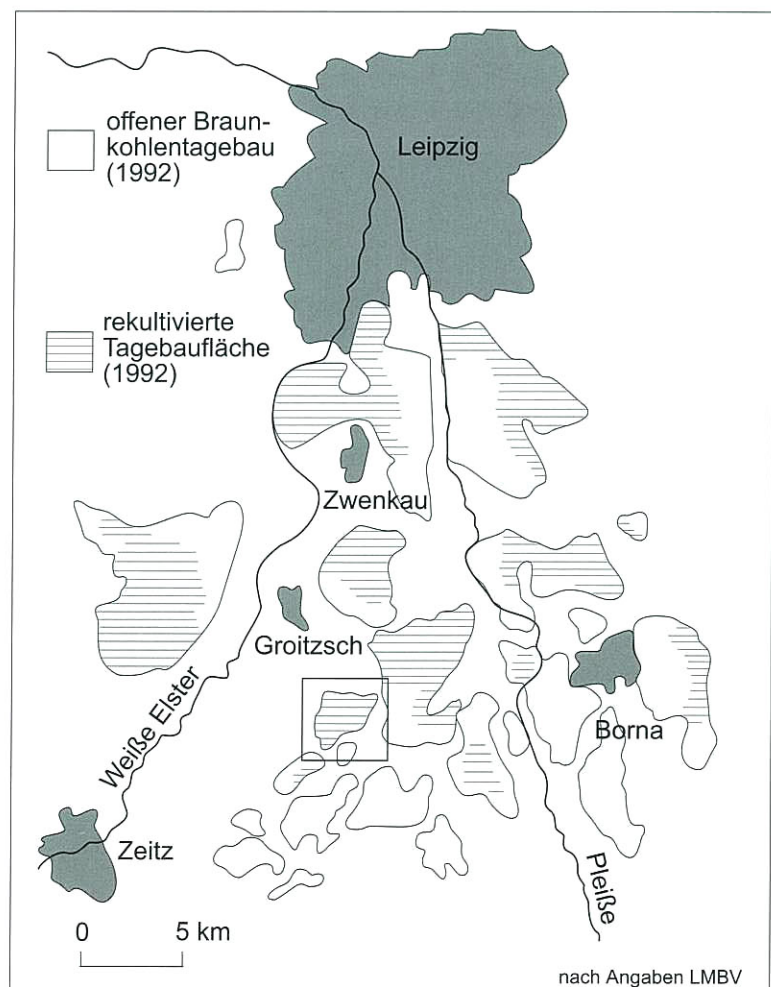


Abb. 1 Lage des Untersuchungsgebiets Restloch Groitzscher Dreieck
Fig. 1 Position of the studied area

2. Lage und geologische Situation des Kartierungsgebiets

Das Kartierungsgebiet befindet sich südlich der Stadt Groitzsch, westlich der Ortschaften Hohendorf und Lucka im Restloch des Tagebaus Groitzscher Dreieck im südlichen Weißelsterbecken (Topographische Karte 1 : 25 000, Blatt 4839 Groitzsch, bzw. Blatt 4840 Borna des Landesvermessungsamts Sachsen) (Abb. 1). Der kartierte Bereich liegt in der nordöstlichsten Ecke des Tagebaus (Abb. 2).

Das Weißelsterbecken markiert das heute von der Weißen Elster durchflossene Verbreitungsgebiet der eozän-unteroligozänen Braunkohlenflöze (Sächsisch-Thüringisches Unterflöz, Bornaer und Thüringer Hauptflöz, Böhlener Oberflöz) und liegt in der südlichen und mittleren Leipziger Bucht bis zur Halleschen Störung im Nordwesten und dem Flözrand nördlich von Leipzig. Es umgrenzt einen schon im Prätertiär angelegten, nach Norden offenen, hufeisenförmigen Senkungsraum.

Dieser entwickelte sich spätestens im frühen Eozän zur Hauptentwässerungs-Passage für die aus dem südlichen Hinterland (Böhmen, Thüringen, Nordbayern) kommenden und nach Norden durch die heutige Leipziger Bucht entwässernden Flüsse. Die Flüsse aus dem Südosten und Südwesten erreichten den Senkungsraum bei Altenburg (Zwickau-Altenburger-Flusssystem) und östlich von Zeit (Vogtländisch-Thüringisches Flusssystem).

Spätestens im Mitteliozän erfolgte eine großräumige Absenkung des gesamten Gebiets unter das Erosionsniveau, womit eine flächenhafte weitgehend lückenlose Sedimentation bis in das Untermiozän begann (EISSMANN 2004). Durch die Meeresüberflutung (Rupeltransgression) im Unteroligozän erhielt das Weißelsterbecken seinen vollständigen

Anschluß an die Norddeutsche Tertiärsenke der Ur-nordsee (MÜLLER 1983). Dadurch verlor es endgültig seinen bis zu diesem Zeitpunkt überwiegenden Charakter als Binnen-senke.

Vor seinem endgültigen Anschluß an die Norddeutsche Tertiärsenke im Unteroligozän fand seit dem Mitteliozän in mehreren Phasen eine zunehmende marin-ästuarine Beeinflussung des Senkungsraums durch die Ur-nordsee statt. Der ältere, in das Mitteliozän einzustufende Flözzyklus (Sächsisch-Thüringisches Unterflöz) ist noch durch einen Wechsel fluviatiler und limnischer Sedimente charakterisiert. Demgegenüber zeigen sich im zentralen Weißelsterbecken erste marin-ästuarine Einflüsse während der Hauptflöz-Bildungszeit (Oberes Mitteliozän bis Obereozän; Zwischenmittel zwischen Bornaer und Thüringer Hauptflöz und dann deutlich vor Beginn der Ablagerung des unteroligozänen Böhlener Oberflözes (obereozän-unteroligozäner Übergangszeitraum mit den Domsen Schichten; STANDKE 2001, JUNGE et al. 2001, 2002, 2005).

Die Zwischenmittel dokumentieren insgesamt das wiederholte Vordringen von Salz- und Brackwasser, zuerst in die Buchten der stark gegliederten Küstenlandschaft, später bis weit in das Hinterland hinein. Ursachen dafür waren die geringen Reliefunterschiede bzw. das geringe Gefälle und das niedrige Meeresspiegelniveau. Diese bewirkten bei nur geringen Meeresspiegelschwankungen deutliche Fazieswechsel zwischen Süßwasser- und Salzwassersedimenten. Allerdings sind die wiederholten Meeresvorstöße nicht vergleichbar mit der dauerhaften Überflutung und der Ausbildung mariner Faziesbereiche im Weißelsterbecken während der Rupeltransgression.

Die tertiäre Sedimentation beginnt im Weißelsterbecken über einem Paläokarstgebirge aus zechsteinzeitlichen Schichten mit dem durch subrosive Prozesse (Kesselbil-

dung) beeinflussten ersten Flözzyklus (Sächsisch-Thüringisches Unterflöz bzw. Flöz I). Getrennt durch fluviatile Ablagerungen, folgt darüber der Hauptflözzyklus, der die beiden, z. T. durch ein Sandzwischenmittel getrennten Hauptflöze (Thüringer und Bornaer Hauptflöz) beinhaltet.

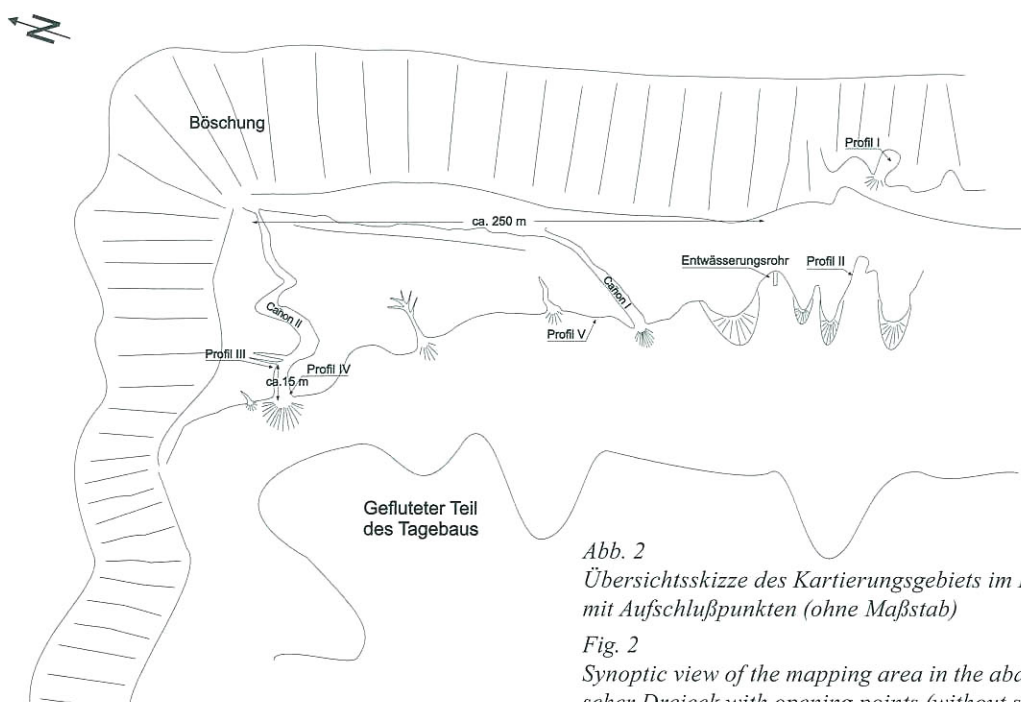


Abb. 2
Übersichtsskizze des Kartierungsgebiets im Restloch Groitzscher Dreieck mit Aufschlußpunkten (ohne Maßstab)

Fig. 2
Synoptic view of the mapping area in the abandoned strip mine Groitzscher Dreieck with opening points (without scale)

Innerhalb dieses fluviatilen Sandzwischenmittels sind die ersten marin-ästuarinen Beeinflussungen im zentralen Weißelsterbecken nachweisbar. Über dem Hauptflözkomplex liegt eine faziell stark differenzierte Folge, welche aus fluviatilen und limnischen Sedimenten (Haselbacher Ton) sowie flachmarinen Sedimenten (Domsen Schichten) besteht. Mit dem darüber entwickelten unteroligozänen Böhler Oberflöz (Flöz IV) findet die Sedimentation des Älteren Flözkomplexes (Bornaer Schichten nach EISSMANN 2004; Borna-Formation nach DSK 2002) ihren Abschluß. Faziell differenzierte, vollmarine Sedimente der Rupeltransgression bestimmen die Sedimentation im Weißelsterbecken während des Oligozäns. Hebungsprozesse im Oberoligozän führten zu bedeutenden fluviatilen Einschnitten (Thierbacher Erosionsdiskordanz) mit lückenhafter Sedimentation.

Darüber beginnt die zyklische Abfolge des im Untermiozän beginnenden Jüngeren Flözkomplexes mit den Flözen der Bitterfelder und Dübener Schichten (Cottbus-, Spremberg- und unterer Teil der Brieske-Formation). Eine weitflächige Erosionsdiskordanz, welche auf eine Schichtlücke wahrscheinlich vom Oberen Untermiozän bis in das ältere Pleistozän hinweist, schneidet die tertiäre Sedimentation im Untersuchungsgebiet ab.

Die Sedimentation im Zeitraum Obereozän bis Unteroligozän war im Weißelsterbecken durch die Akkumulation der innerhalb der Borna Schichten auftretenden, bergbaulich bedeutenden Flöze des Älteren Nordwestsächsischen Flözkomplexes (Flöze I bis IV) gekennzeichnet. Die Überlagerung von epirogenen und subrosiven Bewegungen sowie auch von klimatisch und eustatisch verursachten 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 Akkumulation. Dabei ist die Akkumulation durch den wechselnden Absatz sowohl limnisch-fluviatiler, als auch ästuariner und mariner Sedimente gekennzeichnet. Diese trennen als Zwischensedimente die einzelnen Flöze und ihre Begleiter voneinander ab. Die ins Mittel- bis Obereozän zu stellenden Flöze I und II (Sächsisch-Thüringisches Unterflöz, Bornaer Hauptflöz) sind überwiegend durch fluviatile und limnische Ablagerungen eines mehrfachen aufgeschütteten Schwemmfächers getrennt (Älterer Nordwestsächsischer Schwemmfächer, Borna Schichten). Demgegenüber machen sich im höheren, obereozänen bis unteroligozänen Übergangszeitraum erste marine Beeinflussungen bemerkbar. Diese erreichen mit den weit im Süden des Weißelsterbeckens verbreiteten Domsen Schichten – im Liegenden des schon ins Unteroligozän zu stellenden Flözes IV (Böhler Oberflöz) – ihren ersten Höhepunkt. Mit der Rupel-Haupttransgression der Nordsee und dem Absatz der Böhlen Schichten im Hangenden des Böhler Oberflözes wurde die Flözakкумуляtion innerhalb des Weißelsterbeckens weitgehend beendet (EISSMANN 2004, BELLMANN et al. 1981, DOLL 1984, 1982).

Südlich Leipzig wird die klastische Sedimentfolge zwischen den Flözen II und IV in ihrem liegenden Teil überwiegend durch die Ablagerung eines die Leipziger Tieflandsbucht in SW-NE-Richtung querenden mäandrierenden Flusssystems (Zwickau-Altenburger Fluß) mit zahlreichen Nebenarmen (z. B. Hainer und Bösdorfer Flusssande) gebildet (JUNGE et al. 2001).

3. Geologische Feldarbeiten

Bedingt durch die Aufschlußverhältnisse an den schon seit Jahrzehnten hangerodierten Endböschungen im Restloch Groitzscher Dreieck konnte kein durchgängiges Profil der Schichtserie zwischen den beiden begrenzenden Braunkohlenflözen kartiert werden. Vielmehr musste das Gesamtprofil der Schichten aus den lithostratigraphisch aufgenommenen Teilprofilen I, II, III und IV zusammengestellt werden (Abb. 2 und 3).

Wegen der Monotonität der Schichtfolgen bei meist fehlenden Leithorizonten und einer deutlichen Fa-



Abb. 3

Blick auf das Kartierungsgebiet Restloch Groitzscher Dreieck mit rezenten Cañons (Foto: Steinberg 2001)

Fig. 3

View on the mapping area in the abandoned strip mine Groitzscher Dreieck (photo: Steinberg 2001)

ziesverzahnung sollten die Teilprofile möglichst geringe Distanzen untereinander aufweisen und sich überlappen. Beides war auf Grund der Aufschlußverhältnisse (z. T. extreme Überdeckung der Böschungen durch Hangschutt) nicht zu realisieren. Deswegen wurden in die Erarbeitung des Gesamtprofils die Profilaufnahmen von JUNGE et al. (2001, 2002) von stratigraphisch gleichen, faziell teilweise unterschiedlichen Schichten aus den benachbarten Braunkohlentagebauen, mit meist mehreren km Distanzen zu den Aufschlüssen, einbezogen.

Dementsprechend ergeben sich Lücken im Gesamtprofil zwischen Profil I und II von etwa 2 m, zwischen Profil II und III von etwa 2 m und zwischen Profil II und IV von etwa 1 m, welche durch die als äquivalent angenommenen Profilintervalle von JUNGE et al. (2001, 2002) für das stratigraphische Gesamtprofil komplettiert wurden.

Die geologisch-lithologische Aufnahme beinhaltet die Beschreibung der makroskopisch erkennbaren sedimentologischen Merkmale, wie Korngröße, Kornverband, Gefüge und Schichtungsmerkmale (u. a. Schräg- oder/und Kreuzschichtung, Gradierung des Kornspektrums, Rippelmarken, Bioturbationen, Ausbildung der Schichtgrenzen), Glimmerführung, Fremdmaterial-Einschlüsse (u. a. Kohle-Ton-schmitzen), Farbe, das vermutete Bildungsmilieu und die Mächtigkeit der Straten.

Im Folgenden wird das im Restloch Groitzscher Dreieck aus den Teilprofilen I bis IV erarbeitete Gesamtprofil kurz beschrieben, woran sich die Ergebnisse der sequenza-

nalytischen und statistischen Untersuchungen der Schichtneigungen und räumlichen Orientierung der in der fluvialen Serie eingelagerten Baumstämme anschließen. Die Profilbeschreibung beginnt mit einer Kurzcharakteristik des Gesamtprofils vom Hangenden zum Liegenden.

4. Profilbeschreibungen

Profil I (Abb. 4)

Das Hangende der Schichtfolge stellt das Thüringer Hauptflöz (Flöz III) dar, welches hier als 5,5–6,0 m mächtige kurzbrüchige, extrem quergeklüftete, schwarze Braunkohle mit rostbraunen Anlauffarben und mm-mächtigen Dopplerit-Einschlüssen) ausgebildet ist.

Unter dem Flöz folgt ein schwarzbrauner schwach feinsandiger und feinglimmiger Ton mit Kohlebröckchen, Markasitknollen und Alaunkristallen, der so genannte Liegendton, mit einer Mächtigkeit von 0,1–0,15 m.

Der Ton wird unterlagert von einer Wechsellagerung von weißen und braunen Feinsanden und schluffigen Feinsanden (entspricht Einheit I/IIo in JUNGE et al. 2005) mit extrem schwankenden Einzelmächtigkeiten der 25 Schichten zwischen 0,01 m und 0,48 m (durchschnittlich 0,15 m mit einer Standardabweichung von 0,14 m). Sie werden als marine Sande identifiziert und sind charakterisiert durch eine meist sölhlige Lagerung, stark wechselnde Feinglimmergehalte, vereinzelte Pflanzenreste sowie sich farblich deutlich abzeichnende Rippelmarken und Bioturbation. Die Wellenrippeln erreichen eine Höhe von bis zu 10 cm. Die

durchschnittliche maximale Mächtigkeit der marinen Schichtfolgen beträgt ohne den hangenden (Liegend-)Ton in diesem Profil 3,64 m (maximal 3,72 m).

Profil II (Abb. 5)

Hier setzen sich die marinen monotonen Einheiten mit den oben erwähnten Merkmalen fort. Die Zahl der Schichten beträgt 31 mit Einzelmächtigkeiten zwischen 0,015 m und 0,63 m (durchschnittlich 0,14 m mit einer Standardabweichung von 0,14 m). Diese erreichen in diesem Teilprofil eine durchschnittliche Gesamtmächtigkeit von 4,3 m (maximal 4,36 m). Darunter folgt als Grenzschicht eine 0,2 m mächtige Braunkohlenlage mit Gipsrosen, welche



Abb. 4

Die marine Serie, links mit hangendem Flöz III, rechts Detailausschnitt

(Foto: Steinberg 2001)

Fig. 4

Marine series, on the left: With hanging seam III, on the right: Detailed section (photo: Steinberg 2001)

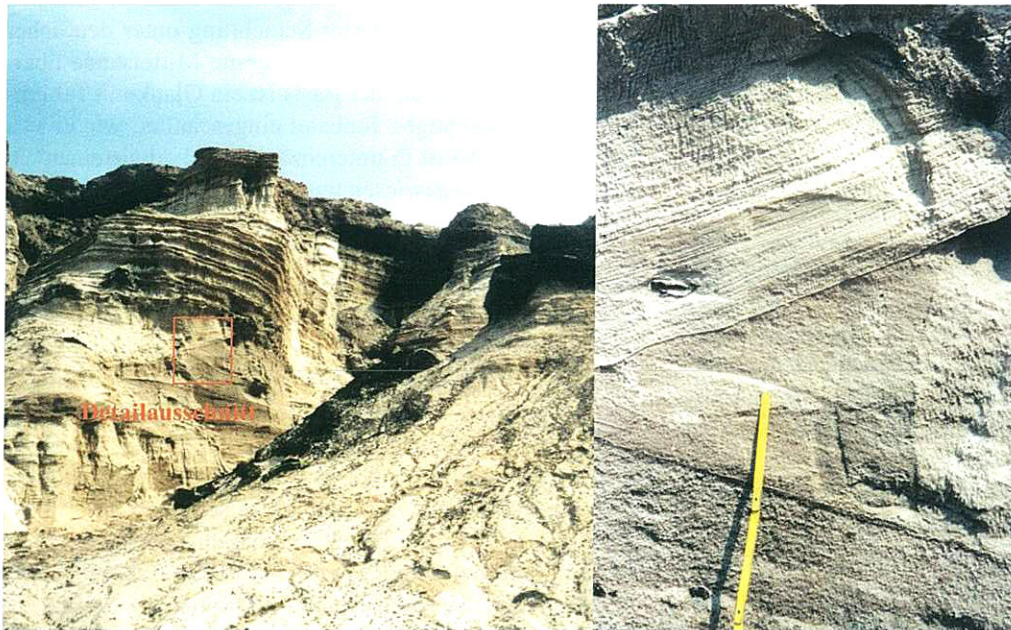


Abb. 5
Gesamtansicht von Profil II: Hangende marine Einheiten und liegende fluviatile Einheiten;
rechts: Detailausschnitt
(Foto: Steinberg 2001)

Fig. 5
Total view of profile II: Hanging marine series and underlying fluvial series; on the right:
Detailed section
(photo: Steinberg 2001)



Abb. 6
Profil III: Die fluviatile Serie mit verschiedenen Rinnensystemen
(Foto: Steinberg 2001)

Fig. 6
Profile III: Fluvial series with different channel systems
(photo: Steinberg 2001)

die marine Serie von der fluviatilen Serie trennt, die allerdings nicht durchgängig ausgebildet ist.

Die Zahl der Schichten beträgt 21 mit Einzelmächtigkeiten zwischen 0,025 m und 0,44 m (durchschnittlich 0,20 m

Die Braunkohlenlage wird unterlagert von einem 0,4 m mächtigen schräggeschichteten Feinsand, welcher durch Schlufflagen und -schmitzen feinlaminiert ist und eine ausgeprägte Schrägschichtung aufweist ($130^\circ/15^\circ\text{SE}$). Der Feinsand ist charakterisiert durch bis dm - große kohlige Reste sowie hohe Schwermineralanteile und markiert den faziellen Wechsel von der fluviatilen Serie zu der marinen Serie. Er wird noch der fluviatilen Serie zugeordnet.

Die unterlagernde fluviatile Serie (entspricht Einheit I/IIu in JUNGE et al. 2005) besteht aus einer Wechselfolge von graubraunen, seltener dunkelgraubraunen bzw. weißgrauen Fein- bis Mittelsanden, mit gelegentlich cm-mächtige Grobsandlagen, kohligen Resten, Feinglimmerführung, nur wenige cm-mächtigen, matrixgestützten Feinkiesbändern und zwei eingeschalteten, nur wenige cm mächtige, schluffige bis tonige Feinsandbändern.

Für die Fein- und Mittelsande bis Feinkiese ist ihre Schräg- bis Kreuzschichtung und eine deutlich erkennbare gradierte Schichtung bei einzelnen Schichten typisch. Bei der in diesem Profil aufgeschlossenen fluviatilen Serie wird eine generelle Zunahme der Korngrößen vom Liegenden zum Hangenden festgestellt.

mit einer Standardabweichung von 0,17 m). Sie erreichen in diesem Teilprofil eine durchschnittliche Gesamtmächtigkeit von 4,16 m (maximal 5,13 m).

Profil III (Abb. 6)

In diesem Teilprofil setzt sich die fluviatile Schichtserie fort als Wechsellagerung von weißen und hellbraunen, schräg- und kreuzgeschichteten, feinglimmrigen Fein-, Mittel- und Grobsanden, mitunter mit kohligen Schmitzen und tonigen Knollen, im Feinkornbereich selten mit schwacher Bioturbation, allerdings ohne Kieslagen, aber mit zwei eingeschalteten wenige cm-mächtigen, schwarzbraunen, feinglimmrigen Schluffbändern, die teilweise mm-mächtige kohlige Lagen führen.

Bei einer Schichtanzahl von 23 liegen die Einzelmächtigkeiten zwischen 0,02 m und 0,35 m (durchschnittlich 0,16 m mit einer Standardabweichung von 0,10 m). Sie erreichen in diesem Teilprofil eine durchschnittliche Gesamtmächtigkeit von 3,70 m (maximal 4,17 m).

Profil IV (Abb. 7)

Das Teilprofil IV setzt sich zusammen vom Hangenden zum Liegenden aus durchschnittlich 0,45 m mächtigen, fluviatilen Mittelsanden bis Feinkiesen, dem 1,04 m mächtigen, so genannten Deckschluff und 1,0 m mächtiger basaler Braunkohle des Bornaer Hauptflözes.

Die 0,4 m bis 0,5 m mächtigen fluviatilen Schichten bestehen an der Basis aus feinglimmrigen schwarzen Fein-

kiesen, welche mit gradiert Schichtung unter deutlicher Kornverkleinerung in braune bis graue Mittelsande übergehen. 0,25 m oberhalb der Basis ist ein Glaukonit führendes 0,005 m mächtiges Tonband eingeschaltet, wie er von KÜHL (1962) gehäuft in untereozänen „Scherbelsteinen“ in der Kühlung nachgewiesen wurde.

Sie werden von einem 0,11 m mächtigen, dunkelbraunen bis schwarzen fetten Ton unterlagert mit ungerichtet eingelagerten, kohligen Resten und in etwa sählig verlaufenden Harnischflächen. Darunter folgt ein 0,52 m mächtiger, beigebrauner bis beige-grauer fatter Ton mit mm-mächtigen Kohleschmitzen. Darunter liegt ein 0,42 m mächtiger teilweise fatter Ton, welcher sich vom Liegenden aus einer Folge von vier 0,06 m bis 0,2 m mächtigen schwarzbraunen, schwarzen und beigefarbenen Einzelschichten mit wechselnd hohen, kohligen Anteilen zusammensetzt.

Diese im bergfeuchten Zustand meist schwarzbraunen, bei Verwitterung und Austrocknung hellgrauen bis weißen Tone werden stratigraphisch als Deckschluff (entspricht Einheit I in JUNGE et al. 2005) zusammengefasst.

Die Basis des Deckschluffs bildet das Bornaer Hauptflöz, welches hier als schwarzbraune Braunkohle ausgebildet ist mit z. T. zu Limonit verwitterten Pyritknollen, Schwefel ausblühungen und Gipsrosen.

Das *Teilprofil V* befindet sich auf Grund seiner Höhenlage in der stratigraphischen Position des Bornaer Hauptflözes. Einmal deswegen, zum anderen wegen des Auftretens von zwei separaten 0,5 m bis 1,0 m mächtigen Braunkohlenflözen, welche durch ein nur etwa 3 m mächtiges schluffiges, feinsandiges, untergeordnet mittelsandiges Zwischenmittel voneinander getrennt sind, wird das Profil V als fazielle Sonderentwicklung angesehen.

Gesamtprofil (Abb. 8)

Das Gesamtprofil wurde aus den Profilen I bis V zusammengefügt und hat im Durchschnitt eine Mächtigkeit von 24,34 m (maximal 26,29 m). Es besteht vom Hangenden zum Liegenden aus

- der mit durchschnittlich 5,5 m bis 6,0 m Mächtigkeit aufgeschlossenen Braunkohle des Thüringer Hauptflözes,
- den durchschnittlich 8,27 m (maximal 8,43 m) mächtigen Feinsanden, schluffigen Feinsanden und Schluffen der marinen Serie einschließlich des 0,13 m mächtigen Liegendtons des Thüringer Hauptflözes und einer 0,2



Abb. 7

Profil IV mit liegendem Bornaer Hauptflöz, überlagerndem Deckschluff und hangender fluviatiler Serie.

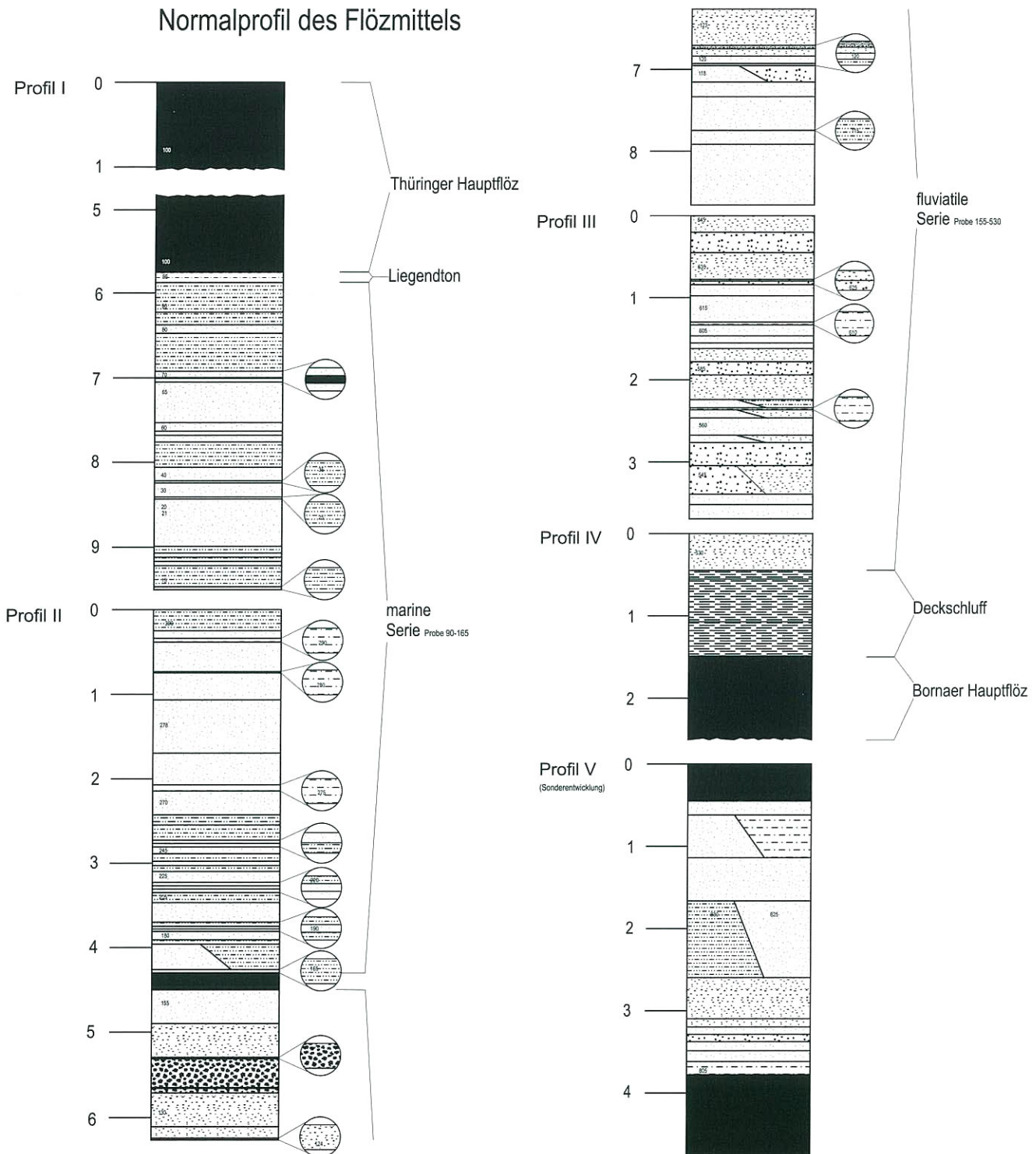
(Foto: Steinberg 2001)

Fig. 7

Profile IV with underlying Bornaer main seam, superimposed cover silt and hanging fluviale series.

(photo: Steinberg 2001)

Normalprofil des Flözmittels



Bearbeitung und Zusammenstellung: Tim Steinberg

Abb. 8

Gesamtprofil des Zwischenmittels zwischen Bornaer und Thüringer Hauptflöz: Marine und fluviale Serie der Profile I-V

Fig. 8

Total profile of the interbed between the Bornaer and Thüringer main seam: Marine and fluvial series of the profile I-V

m mächtigen, nicht durchgängig ausgebildeten basalen Braunkohlenlage,

- den durchschnittlich 8,31 m (maximal 9,8 m) mächtigen Fein-, Mittel- und Grobsanden der fluviatilen Serie,
- den durchschnittlich 1,04 m mächtigen fetten, stark kohligten Tonen, dem so genannten Deckschluff, und
- der mit 1,0 m Mächtigkeit aufgeschlossenen Braunkohle des Bornaer Hauptflözes.

Unter Einbeziehung der geschätzten Aufschlußlücken zwischen den fünf Teilprofilen (s. o.) von insgesamt 5,0 m ergeben sich folgende Mächtigkeiten für

- die marine Serie von 10,27 m (maximal 10,43 m)
- die fluviatile Serie von 11,31 m (maximal 12,80 m) und
- das gesamte Sediment-Zwischenmittel zwischen dem Bornaer und Thüringer Hauptflöz von 22,62 m (maximal 24,29 m).

5. Differenzierung der marinen und fluviatilen Serie mittels Statistik und Sequenzanalyse

Bei der wissenschaftlichen Auswertung feldgeologischer Dokumentationen, insbesondere von Stoßaufnahmen, ist es von großem Interesse, ob auch ohne kosten- und zeitaufwändige Laborarbeiten eine verbesserte Charakteristik sowie eine möglichst objektive und verifizierbare Differenzierung von monotonen Schichtfolgen möglich ist. Das betrifft im Unterschied zur industriellen Lagerstättenforschung mit ihren Massendaten primär Objekte der geologischen Grundlagenforschung.

Bei der Felddokumentation überwiegen naturgemäß deskriptive (nominale) Informationen in Form der lithologischen Beschreibung, während numerische (metrische) Daten fast ausschließlich als Mächtigkeitsangaben vorliegen. Für die Unterscheidung der marinen und der fluviatilen Serie wurde ein Streuungs- und Mittelwertvergleich der durchschnittlichen Einzelmächtigkeiten des Gesamtprofils durchgeführt:

- Marine Serie: $n = 55$ Schichten, Durchschnittsmächtigkeit $\bar{M} = 14,15$ cm, Standardabweichung $s_M = 13,72$ cm
- Fluviatile Serie: $n = 45$ Schichten, Durchschnittsmächtigkeit $\bar{M} = 18,45$ cm, Standardabweichung $s_M = 14,06$ cm.

Im Ergebnis des Streuungsvergleichs mit dem F-Test wird bei minimaler Irrtumswahrscheinlichkeit ($\alpha < 0,005$) Gleichheit der Streuungen beider Faziesseinheiten festgestellt.

Mit Hilfe des Mittelwertvergleichs von zwei voneinander unabhängigen Stichproben mit dem doppelten t-Test wird hingegen festgestellt, dass die durchschnittliche Einzelmächtigkeiten der fluviatilen Serie mit 0,18 m hochsignifikant größer sind als jene der marinen Serie mit 0,14 m (mit $\alpha < 0,001$).

Die Sequenzanalyse wurde mit dem Ziel durchgeführt, aus den monotonen Abfolgen von pelitischen, psammitischen

und psephitischen, meist geringmächtigen Straten Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich ihres allgemeinen Charakters und die daraus abzuleitenden Energieniveaus dieser Sedimente zu erkennen.

Im Unterschied zur statistischen Datenanalyse werden für die Sequenzanalyse wichtige bzw. charakteristische, beschreibende Merkmale der geologisch-lithologischen Dokumentation für eine Typisierung von Schichtfolgen als Ganzes ausgewählt und in ihrer Abfolge im geologischen Körper bewertet. Primärmerkmale sind naturgemäß die ausgewiesenen Korngrößen als Träger des substanziellen Inventars einer Schicht, während die Schichtmächtigkeit aus folgenden Gründen unberücksichtigt bleibt:

- Die differenzierten Einzelschichten stellen unterschiedliche, stofflich-substanzielle Einheiten (Elementarkörper) in ihrer gegenseitigen Abgrenzung dar, die genetisch als relativ homogene zeitlich-räumliche Zustandsformen postuliert werden.
- Die unterschiedlichen Mächtigkeiten dieser geologischen Elementarkörper sind in diesem Zusammenhang von völlig untergeordneter Bedeutung.

Bei der Sequenzanalyse wird im Sinne von MARSAL (1979) und KÜHL (1983, 2006) die Korngrößen-Differenzierung zwischen den Straten der Feldansprache (= Elementarkörper) entsprechend ihrer granulometrischen Ähnlichkeit als gleiche bzw. unterschiedliche Buchstaben kodiert und in ihrer vertikalen (stratigraphischen) Abfolge aufgelistet. Die linear angeordnete (profilbezogene) Abfolge der Buchstaben (= inhomogener Zustand) wird dann nach Ähnlichkeitskriterien unterteilt

- in Sequenzen (= Ketten) als eine kurze, in sich gleichartige, periodisch wiederkehrende Abfolge verschiedener Buchstaben, z. B. {ababab} und
- Iterationen (= Teilketten) aus jeweils nur gleichen Buchstaben, z. B. {aaaa}.

Die Gesamtabfolge wurde nach ihrem statistischen Zustand (= Ordnungsgrad der Abfolge) klassifiziert, statistisch untersucht und lithogenetisch bewertet.

Auf Grund der geologischen Vorkenntnisse konnten a priori die marine und die fluviatile Serie getrennt untersucht werden.

5.1 Marine Serie

Die marine Serie (entspricht Einheit I/IIo in JUNGE et al. 2005) besteht aus 55 Straten ohne die basale Braunkohlenlage und das hangende Thüringer Flöz (Abb. 9). Zudem befindet sich inmitten der Schichtserie als Schicht 9 ein 1 cm mächtiges eingeschwemmtes Braunkohlenband in einem schluffigen Feinsand.

Die Korngröße der Straten variiert zwischen Schluff, feinsandigem Schluff, einer extrem feinschichtigen Wechsellagerung von Grobschluff und Feinsand, schluffigem Feinsand und Feinsand.

Die solcherart differenzierten einzelnen lithologischen Einheiten werden als in sich homogen und damit als kleinste Elemente (Elementarkörper) der Sequenzanalyse betrachtet.

Die lithologischen Einheiten wurden wie folgt mit Buchstaben kodiert und entsprechend ihrer Abfolge vom Hangenden zum Liegenden angeordnet:

- Braunkohle x
- Schluff b
- feinsandiger Schluff b_1
- Wechsellagerung aus Grobschluff/Feinsand b_2
- schluffiger Feinsand c_1
- Feinsand c .

In einem ersten Schritt wurden mit zunehmender Korngröße die Pelite und Psammite mit den Buchstaben b, b₁, b₂, c₁ und c festgeschrieben. Da der feinsandige Schluff (b₁) und die Wechsellagerung von Grobschluff und Feinsand (b₂) zu

- Reduziert man die Schichtserie auf zwei Energieniveaus, niedrig mit Schluff und schluffigem Feinsand sowie hoch mit Feinsand, und berücksichtigt deren Häufung in der Abfolge, so kann man diese in vier Abschnitte untergliedern: Schluffige Feinsande, Schluffe und untergeordnet Feinsande mit Mächtigkeiten zwischen 0,95 m und 2,5 m (A1, A2, A3 und A4) sowie drei Abschnitte von Feinsanden mit Mächtigkeiten von 0,08 m bis 1,32 m (B1, B2, B3) (siehe Abb. 9).
- Betrachtet man hingegen die Anordnung der häufigsten Buchstaben-Kombinationen (= festgeschriebene Sequenzen) in der Schichtserie, so kann man zwei Grundtypen extrahieren, Sedimentationstyp 1 {b c, c}

[illegible]

Abb. 9 Sequenzabfolge der marinen Serie

Fig. 9 Stratigraphic sequence of the marine series

selten auftraten, wurden sie dem Schluff (b) zugeordnet. Hieraus resultieren für die Sequenzanalyse die drei Elementarkörper Schluff (mit b , b_1 und b_2), schluffiger Feinsand (c_1) und Feinsand (c). Die eingeschwemmte Braunkohlenlage (Schicht 9), eingebettet in einen schluffigen Feinsand, wurde diesem als (c.) zugeordnet.

Anschließend wurden die Buchstaben (= kodierte Straten) b, c₁ und c hinsichtlich genereller Häufigkeit sowie Wechsel und Häufung untersucht.

Für diese wurden die Teilkettenlängen bestimmt, d. h. die Anzahl gleicher, aufeinander folgender Buchstaben (=Iterationen), welche sich für den jeweiligen Elementarkörper wiederholen.

Wenn z. B. auf $b c_i$ oder c folgen, dann hätten die Teilketten dieser Elementarkörper jeweils eine Teilkettenlänge von $l = 1$. Wenn sich jedoch das Element b zweimal oder n -mal wiederholt, würden die Teilkettenlängen für b $l = 2$ bzw. $l = n$ betragen.

Im Ergebnis dieser Operationen werden folgende Feststellungen getroffen:

- Der Schluff (b) tritt insgesamt 7-mal auf ($n(b) = 12,7\%$), dabei ausschließlich mit einer Teilkettenlänge $l = 1$;
- der schluffige Feinsand (c_1) insgesamt 21-mal ($n(c_1) = 38,2\%$), davon 19-mal mit einer Teilkettenlänge $l = 1$ und einmal mit einer Teilkettenlänge $l = 2$;
- der Feinsand (c) insgesamt 27-mal ($n(c) = 49,1\%$), davon 16-mal mit einer Teilkettenlänge $l = 1$, dreimal mit einer Teilkettenlänge $l = 2$ und einmal mit einer Teilkettenlänge $l = 5$.
- In der Summe über alle drei Elementarkörper (b, c_1 , c) dominiert die Teilkettenlänge $l = 1$ mit 42 von 55 Elementen, gleich einem Gesamtanteil von 76,4% unter allen möglichen Teilketten (Iterationen). Schon hier deutet sich an, dass die marine Serie vorrangig aus kurzkettingen Iterationen (mit einer Teilkettenlänge $l = 1$) von Schluff, schluffigem Feinsand und Feinsand besteht.

und Sedimentationstyp 2 {c₁ c}. Im Unterschied zur Darstellung und Erläuterung der Gesamtserie werden beide Sedimentationstypen (lithogenetisch) vom Liegenden zum Hangenden interpretiert.

- Berücksichtigt man deren Lage in der Schichtenfolge, so untergliedert sich die marine Schichtserie in vier Abschnitte der Typen 1(u) und 1(o) sowie 2(u) und 2(o), die sich jeweils abwechseln.

Für eine tiefergründigere Untersuchung der Schichtserie soll jetzt ihr Ordnungsgrad betrachtet werden. Dabei wird die gesamte Schichtfolge als fastperiodische (Ausgangs-) Sequenz betrachtet, d. h. als eine relativ ungeordnete Abfolge der Buchstaben, z. B. {aabcabbc}. Sie wird mit einer geordneten Sequenz (Kette) verglichen. Diese ist dadurch charakterisiert, dass über die ganze Schichtserie streng gesetzmäßig immer die gleichen Buchstabenkombinationen aufeinander folgen, z. B. {ababab} oder {abcabcabc}. Dabei soll nach MARSAL (1979) der geordnete Zustand durch den statistischen Zustand der fastperiodischen Sequenz „durchschimmern“.

In praxi stellt man die fastperiodische Sequenz und die geordnete Sequenz mit gleicher Anzahl der Elemente (Buchstaben) übereinander und bestimmt zwischen beiden die Abweichungssequenz (als Differenz der übereinander angeordneten Elemente). Stimmen die Elemente zwischen Ausgangssequenz und geordneter Sequenz überein, so ist das Element der Abweichungssequenz Null, andernfalls Eins. Angewendet auf die marine Serie (Abb. 9), zeigte sich nach mehrmaligen Versuchen mit bester Näherung: Die geordnete Sequenz besteht aus zwei relativ unabhängigen Elementarzellen mit ungleicher Elementanzahl:

- Sedimentationstyp 1 {b c₁ c₂}, gleichzusetzen einer Schichtfolge, die vorwiegend aus diesen Sequenzen besteht mit der Kornverfeinerung vom Liegenden zum Hangenden: Schluff, schluffiger Feinsand und Feinsand, analog einem degressiven Trend im Sinne von KÜHL (1983) und

- Sedimentationstyp 2: {c₁ c}, gleichzusetzen mit einem ständigen Wechsel von schluffigem Feinsand, analog sedimentärer Oszillationen im Sinne von KÜHL (1983).

Diese beiden Typen werden unter Berücksichtigung ihrer Lage in der marinen Serie (Abb. 9) der Ausgangssequenz zugeordnet: Typ 1 den Schichten 2 bis 14 und 26 bis 36, Typ 2 den Schichten 15 bis 25 und 37 bis 56. Die Abweichungssequenzen sind: Für den Typ 1 {0011001001101} und {01001111011} sowie für den Typ 2 {00000000000} und {00000000001000000010}.

Mit der Aufspaltung der Ausgangssequenz in eine geordnete Sequenz und ihre Abweichungssequenzen wird das Ziel verfolgt, den Ordnungsgrad der Ausgangssequenz mit Hilfe des Abweichungskoeffizienten A zu ermitteln: A = Anzahl der Abweichungen mit dem Code 1 der Abweichungssequenzen, dividiert durch die Gesamtzahl aller Elemente. Der Ordnungsgrad der Ausgangssequenz ist ihr kleinster Abweichungskoeffizient A_{min}. Bei A_{min} = 0 liegt eine geordnete Ausgangssequenz vor; mit wachsender Unordnung geht A_{min} gegen Eins.

Für die gesamte marine Serie (Abb. 10) errechnet sich ein Abweichungskoeffizient von A = 0,27, welcher für diese einen relativ hohen Ordnungsgrad ausweist. Demgegenüber sind die Abweichungskoeffizienten, getrennt für die beiden Sedimentationstypen, sehr unterschiedlich:

- Sedimentationstyp 1: {b c₁ c}: A = 0,54 mit einem hohen Grad an Unordnung und
- Sedimentationstyp 2: {c₁ c}: A = 0,06 mit einem Höchstmaß an Ordnung.

Des Weiteren wird die Ausgangssequenz hinsichtlich ihres statistischen Zustands beschrieben. Es wird dabei zwischen idealstatistischem, langkettigem und kurzketzigem Zustand unterschieden. Die Berechnung erfolgt mit Hilfe der empirischen mittleren Längen der einzelnen Elemente der Ausgangssequenz ($\bar{l}_x$). Dabei werden die empirischen mittleren Längen mit den mittleren Längen der jeweiligen idealstatistischen Anordnung der Gesamtverteilung ($\bar{l}_{x^{*id}}$) in folgenden Berechnungsschritten verglichen:

- ($\bar{l}_x$) als jeweiliger Quotient der Anzahl der Elemente (Buchstaben) und der Anzahl der Iterationen:

$$\begin{aligned} - \bar{l}_b &= n(b) / n(b\text{-Iterationen}) = 7/7 = 1,0 \\ - \bar{l}_{c_1} &= n(c_1) / n(c_1\text{-Iterationen}) = 21/20 = 1,05 \\ - \bar{l}_c &= n(c) / n(c\text{-Iterationen}) = 27/20 = 1,35 \end{aligned}$$

- ($\bar{l}_{x^{*id}}$) als Normgröße zwischen der Summe aller Elemente, bezogen auf die Summe der Elemente ohne das jeweilig Erfragte:

$$\begin{aligned} - \bar{l}_{b^{*id}} &= (n(b) + n(c_1) + n(c)) / (n(c_1) + n(c) + 2) = 55/50 = 1,1 \\ - \bar{l}_{c_1^{*id}} &= (n(c_1) + n(b) + n(c)) / (n(b) + n(c) + 2) = 55/36 = 1,53 \end{aligned}$$

$$- \bar{l}_{c^{*id}} = (n(c) + n(b) + n(c_1)) / (n(b) + n(c_1) + 2) = 55/27 = 2,04$$

- Sequenzenindizes ($\bar{l}$) als Normmaße für die Abweichung des empirischen statistischen vom idealstatistischen Zustand werden berechnet als die Differenz zwischen der mittleren empirischen Länge der Elemente und der mittleren Länge der jeweiligen idealstatistischen Verteilung der Elemente und dividiert durch Letztere:

$$\begin{aligned} - \bar{l}(b) &= (l_b - l_{b^{*id}}) / l_{b^{*id}} = (1,0 - 1,1) / 1,1 = -0,09 \\ - \bar{l}(c_1) &= (l_{c_1} - l_{c_1^{*id}}) / l_{c_1^{*id}} = (1,05 - 1,53) / 1,53 = -0,31 \\ - \bar{l}(c) &= (l_c - l_{c^{*id}}) / l_{c^{*id}} = (1,35 - 2,04) / 2,04 = -0,34 \end{aligned}$$

Eine statistische Sequenz gilt als langkettig, wenn $|\bar{l}| > 1$ ist, und kurzketzig, wenn $|\bar{l}| < 1$ ist. Die durchgeführten Berechnungen zeigen, dass die Elemente Schluff (b), schluffiger Feinsand (c₁) und Feinsand (c) deutlich kurzketzig sind, darunter der Schluff extrem kurzketzig.

Geologische Interpretation

- Die durchschnittlich 8,3 m mächtige marine Serie (entspricht Einheit I/Ilo in JUNGE et al. 2005) setzt sich zusammen aus dominierenden Feinsanden (49%) und schluffigen Feinsanden (38%) sowie untergeordnet Schluff (13%).
- Die 55 relativ geringmächtigen Schichten weisen eine Durchschnittsmächtigkeit von 0,14 m auf. Die Schichten werden als relativ homogene Zustandsformen in einem generell dynamischen Ablagerungssystem behandelt, wie es Schelfbildungen darstellen.
- Die Schichtfolge untergliedert sich in vier Abschnitte (A1, A2, A3 und A4), welche aus Wechselfolgen von schluffigen Feinsanden und Schluffen bestehen und in einem niedrigen Energieniveau abgelagert wurden sowie in drei Abschnitte (B1, B2 und B3), welche aus zwei- bis mehrfach aufeinander folgenden Feinsanden bestehen und in einem höheren Energieniveau abgelagert wurden.
- Mit Hilfe der Sequenzanalyse wurde nachgewiesen, dass sich die Schichtfolge aus zwei Sedimentationstypen aufbaut, welche einander mit unterschiedlichen Mächtigkeiten abwechseln:
 - Sedimentationstyp 1 weist eine graduierte Kornverfeinerung (Trend) vom Liegenden zum Hangenden auf mit den Elementen Schluff, schluffiger Feinsand, Feinsand {b c₁ c}. Er tritt in zwei Komplexen auf: Typ 1 (u), Straten 26 bis 36, mit einer Mächtigkeit von 2,59 m und Typ 1 (o), Straten 2 bis 14, mit einer Mächtigkeit von 2,02 m. Die Durchschnittsmächtigkeit der Kleintrends in den Komplexen beträgt 0,45 m. Der Ordnungsgrad in der Abfolge ihrer Ele-

mente ist sehr gering, bedingt durch das sporadische Auftreten des Schluffs.

- Sedimentationstyp 2 besteht nur aus den Elementen schluffiger Feinsand und Feinsand {c1 c}. Er tritt in zwei Komplexen auf: Typ 2 (u), Straten 37 bis 56, mit einer Mächtigkeit von 1,75 m und Typ 2 (o), Straten 15 bis 25, mit einer Mächtigkeit von 1,72 m. Bei einer signifikant niedrigeren Durchschnittsmächtigkeit der Elementarzelle von 0,22 m weist sie einen sehr hohen Ordnungsgrad auf und markiert kurzfristige Oszillationen zwischen zwei Energieniveaus.
- Die marine Serie besteht generell aus kurzketigen Sequenzen der drei Elemente (b, c1 und c), unter welchen der Schluff als Marker des niedrigsten Energieniveaus die geringste Auftretenswahrscheinlichkeit (Stabilität) im küstennahen Bereich aufweist.

Einen ersten Überblick gewinnt man durch Sortierung und Abstufung der einzelnen Straten nach diesen Korngrößenklassen in einem Histogramm unter Zusammenfassung folgender Kornfraktionen (Abb. 11):

- Mittelkorn in zwei Kornklassen mit den Fraktionen Feinsand und schluffiger Feinsand sowie Mittelsand und Wechsellagen von Fein- und Mittelsand
- Grobkorn in zwei Kornklassen mit den Fraktionen Grobsand und Wechsellagen von Mittel- und Grobsand sowie von Fein- und Mittelkies.

Aus der Häufigkeitsverteilung lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

- Das nach diesen Kornklassen geordnete Kornspektrum hat als Ganzes einen deutlich logarithmisch degressiven Verlauf mit einer positiven Schiefe zu den Grobkornfraktionen hin.

Strate	Hangendes																																																Liegendes																																															
Code	X c d f f g g d d d d d d c c c d c c c c c d e d d e c c c b c c c d e d c b d c d e e c c d a a a																																																																																															
Ketten	c d f d c e c d e d e c b c d e d c b d c d e c d b																																																																																															
Mächtigkeit	100 cm 153 cm 182 cm 84 cm 78 cm 114 cm 242 cm																																																																																															
Komplex	G F E D C B A																																																																																															
Kleintrends	β α α β α β α																																																																																															

Abb. 10 Sequenzabfolge der fluviatilen Serie

Fig. 10 Stratigraphic sequence of the fluviale series

5.2 Fluviatile Serie

Im Gegensatz zur marinen Serie ist die fluviatile Serie (entspricht Einheit I/IIu in: JUNGE et al. 2005) durch ein generell gröberes und wesentlich breiteres Kornspektrum charakterisiert, das vom basalen Ton bis zum hangenden Mittelkies reicht (Abb. 10).

Die fluviatile Serie beginnt mit einem basalen Tonkomplex, dem so genannten Deckschluff, der das Bornaer Hauptflöz überlagert. Über dieser Schichteinheit wechseln die Korngrößen der 45 Schichten ständig zwischen Schluff, Feinsand, Mittelsand, Grobsand, Feinkies bis zum Mittelkies (Abb.10).

- In der Schichtserie dominiert das Mittelkorn mit einem Mengenanteil von 66,7% aller Straten. Dabei setzt sich das Mittelkorn zu genäht gleichen Anteilen zusammen aus Feinsand und untergeordnet aus schluffigem Feinsand mit einem Mengenanteil an den Straten von 35,4% und Mittelsand, Wechsellagerung von dünn-schichtigem Fein- und Mittelsand und untergeordnet schluffigem Mittelsand mit einem Mengenanteil von 31,3%.
- Das Grobkorn weist mit einem Mengenanteil von 20,8% aller Straten etwa ein Drittel der Menge des Mittelkorns auf. Es setzt sich zusammen aus Grob-

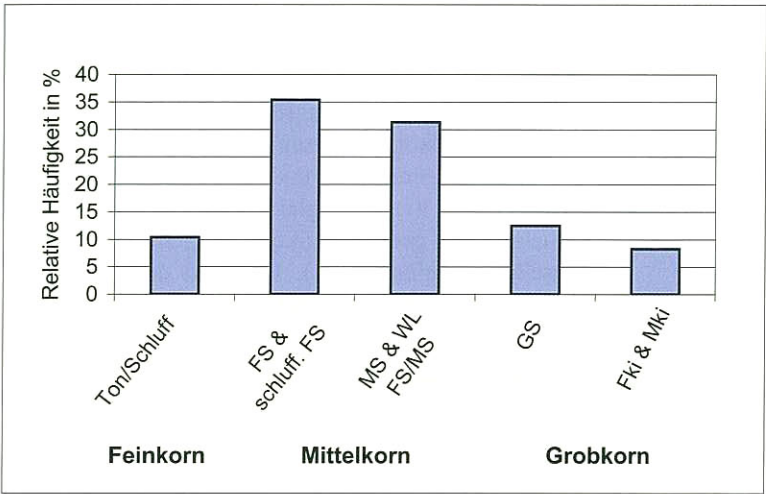


Abb. 11 Histogramm des Kornspektrums der fluviatilen Serie nach Feldansprache

Fig. 11 Histogram of the grain-size distribution of the fluvial series by geologic field work

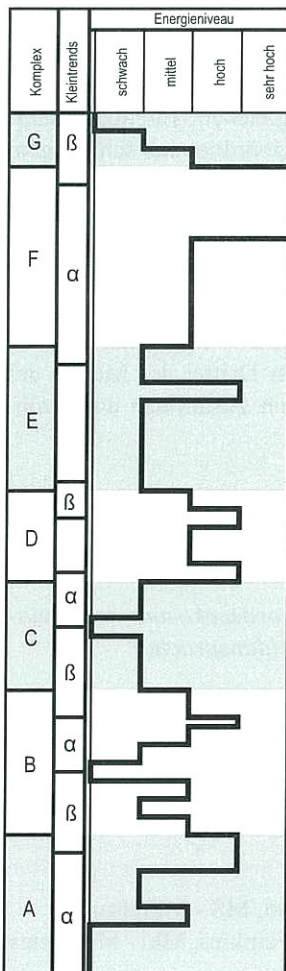
Legende: FS - Feinsand, MS - Mittelsand, GS - Grobsand, Fki - Feinkies, Mki - Mittelkies, WL - Wechsellagerung

sand und Wechsellagen von Mittel- und Grobsand mit einem Mengenanteil von 12,5% sowie untergeordnet aus Feinkies und Mittelkies mit einem Mengenanteil von 8,3%.

- Das Feinkorn mit Ton und Schluff besitzt nur einen Mengenanteil von 10,4% aller Straten.

Auch in dieser Serie werden den lithologischen Elementen Buchstaben zugewiesen und entsprechend ihrer Teufenlage angeordnet (Abb. 10):

- Braunkohle x
- Ton a
- Schluff b
- feinsandiger Schluff b_1
- Wechsellagerung aus Grobschluff/Feinsand b_2
- schluffiger Feinsand c_1
- Feinsand c
- Mittelsand d
- schluffiger Mittelsand d_1
- Wechsellagerung aus Feinsand/Mittelsand d_2
- Wechsellagerung aus Feinsand/Grobsand d_3
- Grobsand e
- Wechsellagerung aus Mittelsand/Grobsand e_1
- Feinkies f
- Mittelkies g.



Analysiert man die Abfolge nach den Teilkettenlängen der 5 Korngrößenklassen (Abb. 10 und 11), ergibt sich folgende Differenzierung der lithologischen Einheiten:

Abb. 12
Fluviatile Serie:
Schematisierte Abfolge nach Energieniveaus (Kleintrends)

Fig. 12
Fluvial series:
Schematized sequence by power spectrum (minor trends)

- Eine deutliche Häufung großer Teilkettenlängen in den Korngrößenklassen des Feinkorns (c) mit einer Iteration der Teilkettenlänge 3 und vier Iterationen mit der Teilkettenlänge 2 sowie des
- Mittelkorns (d) mit einer Iteration der Teilkettenlänge 4 und einer Iteration mit der Teilkettenlänge 2.
- Demgegenüber weisen die beiden Grobkornklassen (e und f) jeweils nur eine Iteration mit der Teilkettenlänge 2 auf. Es ist deutlich erkennbar, dass im dominanten Fein- und Mittelkorn gleiche Straten wesentlich häufiger aufeinander folgen als jene des Grobkornspektrums.

Auch hier wurde versucht, die fluviatile Serie zunächst mittels starker Glättung auf zwei unterschiedliche Energieniveaus niedrig und hoch zu reduzieren. Dabei werden Einzelschichten unterdrückt, um zu einer Zusammenfassung von und zu einer Differenzierung mit größeren Schichteinheiten zu kommen, die in sich relativ konsistent, untereinander jedoch möglichst unterschiedlich sein sollen.

Im Ergebnis untergliedert sich die fluviatile Serie in 7 größere Schichtkomplexe A, B, C, D, E, F und G, bei denen sich vom Liegenden zum Hangenden Komplexe mit einem relativ niedrigen Energieniveau mit solchen Komplexen abwechseln, welche ein relativ hohes Energieniveau aufweisen (Abb. 11):

- Niedriges Energieniveau mit Fein- bis Mittelkorn: Komplex A (2,42 m mächtig) über dem Deckschluff mit vorherrschenden Fein- und Mittelsanden, Komplex C (0,78 m mächtig) mit Feinsanden und Schluff, Komplex E (1,82 m mächtig) mit Feinsanden und schluffigen Feinsanden und Komplex G (0,8 m mächtig) mit Mittel- und Feinsand bis zur hangenden Braunkohlenlage.
- Hohes Energieniveau mit Mittel- bis Grobkorn: Komplex B (1,14 m mächtig) über dem Deckschluff mit vorherrschenden Mittel- bis Grobsanden, Komplex D (0,84 m mächtig) mit Mittel- bis Grobsanden, Komplex F (1,53 m mächtig) mit Mittelsanden, Fein- und Mittelkiesen.

Analysiert man die fluviatile Serie hinsichtlich gerichteter Veränderungen (Trends) in der Abfolge ihrer Straten, kommt man zu folgenden Feststellungen:

- In den Komplexen A, B, D, im oberen Bereich von F und G wechseln sich ständig progressive und degressive Kleintrends ab. Diese Kleintrends bestehen bei progressiven Trends (α) aus diskontinuierlichen Korngrößenzunahmen und bei degressiven Trends (β) aus diskontinuierlichen Korngrößenabnahmen im Feinkorn- bis Grobkornspektrum.
- In den Komplexen C, E, und im unteren Bereich von F dominieren hingegen gleiche aufeinander folgende Schichten mit großen Teilkettenlängen von Fein- bis Mittelkorn: Feinsand (C), Feinsand und schluffiger Feinsand (E) und Mittelsand (F).

Geologische Interpretation

Im Vergleich zur marinen Serie ist die fluviatile Serie (entspricht Einheit I/IIu in JUNGE et al. 2005) charakterisiert

durch ein generell gröberes Kornspektrum. Die durchschnittliche Schichtenmächtigkeit ist mit 0,18 m signifikant höher als in der marinen Serie.

Auf Grund eines wesentlich krasser Korngrößenwechsel zwischen Fein-, Mittel- und Grobkorn besitzt diese Schichtenfolge ein wesentlich höheres Energieniveau als es für ein fluviatiles Medium typisch ist. Das äußert sich unter anderem in dem progressiven Materialwechsel innerhalb des Komplexes A vom Ton bis zu dem Grobsand, innerhalb der Komplexe B und C im mehrmaligen Materialwechsel vom Grobsand zum Schluff und wieder vom Schluff zum Grobsand, im Komplex E in der Grobsandeinschaltung im Feinsand, im Komplex F der progressive Trend vom Feinsand bis zum Feinkies und im Komplex G der degressive Trend vom Feinkies zum Feinsand (Abb. 12).

Man kann also schlußfolgern, dass das Sedimentationsgeschehen im fluviatilen Milieu wesentlich unruhiger und in einem wesentlich höheren Energieniveau, d. h. unter stark wechselnden Materialschüben erfolgte im Gegensatz zur marinen Serie mit ihrem wesentlich niedrigeren Energieniveau und unter wesentlich ruhigeren Sedimentationsbedingungen.

6. Lagerungsverhältnisse der marinen und fluviatilen Serie

6.1 Marine Serie

In den Profilschnitten 1, 2 und 5 wurden in den marinen Feinsanden und schluffigen Feinsanden einschließlich des hangenden Thüringer Hauptflözes und der basalen Braunkohlenlage insgesamt 29 Fallrichtungen und Fallwinkel gemessen. Die Werte wurden in einem Diagramm mit den Flächennormalen der Fallazimute (in der Lagenkugelprojektion, Schmidtsches Netz) dargestellt (Abb. 13).

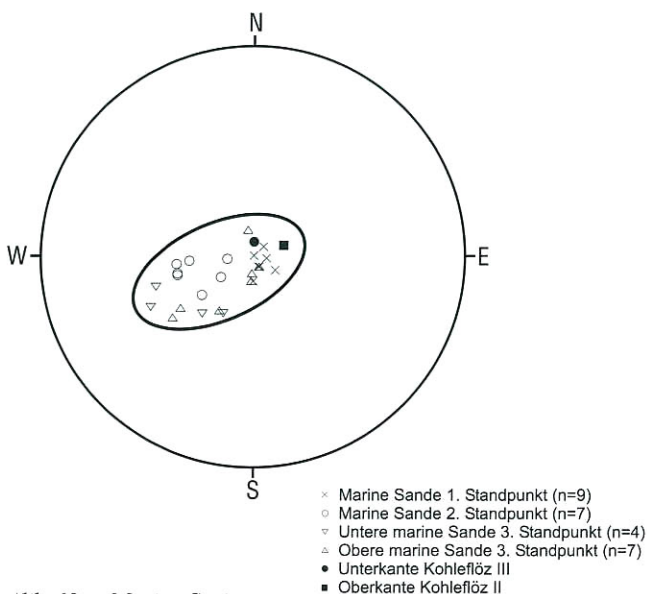


Abb. 13 Marine Serie:
Flächennormalen der Fallazimute (Lagenkugelprojektion im Schmidtschen Netz) (n=29)

Fig. 13 Marine series:
Normals to the surface of the azimuth of dip (sphere diagram) (n=29)

Es ist erkennbar, dass die Flächennormalen in einem engen Punktkluster SW-NE orientiert sind. Dabei weisen die steileren Einfallswinkel in NE-Richtung. Die einzelnen Profile weisen folgende Abstände auf: I/II 65 m mit NNE-SSW-Orientierung, II/V 130 m mit ENE-WSW-Orientierung und I/V 171 m in NE-SW-Orientierung (Abb. 3). Deswegen wurden – getrennt für jedes Profil – die wichtigsten statistischen Maßzahlen berechnet:

- Profil I mit n = 10 Werten, Azimut 317,7 ° (Standardabweichung 42,7 °), mit einer durchschnittlichen Neigung $\bar{v} = 5,5$ ° (Standardabweichung 2,8 °)
- Profil II mit n = 7 Werten, Azimut 73,1 ° (Standardabweichung 13,5 °) mit einer durchschnittlichen Neigung $\bar{v} = 23,6$ ° (Standardabweichung 8,0 °)
- Profil V mit n = 12 Werten, Azimut 91,7 ° (Standardabweichung 104,3 °) mit einer durchschnittlichen Neigung $\bar{v} = 23,8$ ° (Standardabweichung 14,4 °).

Es ist erkennbar, dass nicht nur die Neigungswerte und Neigungsrichtungen innerhalb der Profile stark schwanken mit Ausnahme der Neigungswerte von Profil I, wo die Neigungswerte mit 5 ° sehr niedrig sind bei einer stark streuenden Einfallrichtung NW. Demgegenüber weisen die Profile II und V etwa vierfach höhere Schichtneigungen von 23,7 ° auf bei einem Azimut in Richtung ENE und E.

Das sind wichtige Hinweise auf stark wechselnde lokale Tiefen- und Strömungsverhältnisse im küstennahen Bereich.

6.2 Fluviatile Rinnensysteme

In der fluviatilen Serie wurden an 29 Schichtflächen Streichen, Fallazimut und Fallwinkel ermittelt. Das durchschnittliche Schichteinfallen beträgt $\bar{v} = 25,7$ ° (Standardabweichung $s_v = 11,1$ °, $v_{\min} = 7$ °, $v_{\max} = 47$ °) und liegt damit im stabilen Neigungsintervall von fluviatil abgelagerten Kiesanden.

Die Neigungswerte wurden als Isolinienbild der Flächennormalen der Fallazimute dargestellt (Abb. 14).

Das Diagramm zeigt, dass die Fallazimute extrem streuen (genäherte Gleichverteilung, undeutliche Vorzugsrichtung der Fallrichtungen). Es deutet sich eine Haupteinfallrichtung NW an; weitere Peaks des Schichteinfallens weisen in die Richtungen SW und ENE. Die Flächennormalen als Projektionspunkte auf der unteren Halbkugel des Schmidtschen Netzes konzentrieren sich um das Zentrum in einem schwächeren WSW-ENE gestreckten Punktkluster, welches von einer SE-NW orientierten, dichter belegten Punktgruppe gekreuzt wird.

Das Isolinienbild der Flächennormalen (Abb. 14) zeigt Scharungen, die in Form der stärksten Anomalien deutlich im SE konzentriert sind, wobei die zugehörigen Flächenscharen NE-SW bis NNE-SSW streichen. Das bedeutet, dass die steileren Neigungswinkel in NW-Richtung auftreten. In verflochtenen Stromsystemen markieren die steiler geneigten Schichten die Leeseite (=Abstromseite) von Sand- und Kiesbänken im Gegensatz zur flacher geneigten Luvseite (Anstromseite). Hieraus leitet sich eine lokale An-

stromrichtung von SE ab. Eine Anomalie im Zentrum markiert genähert sölhlige Lagerung. Zwei schwächere Anomalien im SW und NE mit höheren Neigungswinkeln weisen auf ein stark verflechtes Flusssystem hin.

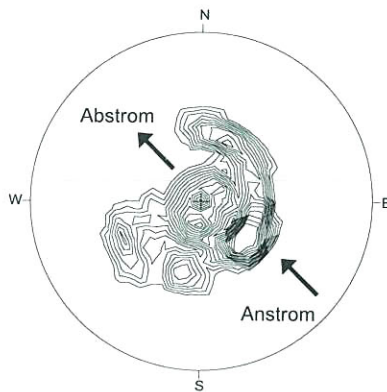


Abb. 14 Fluviale Serie:
Isolinien der Flächennormalen der Fallazimute

Fig. 14 Fluvial series:
Isolines of the normals to the surface of the azimuth of dip

Eine grundsätzlich verbesserte Methodik auf der Grundlage der photogrammetrischen Erfassung von Schrägschichtungselementen, deren statistischer Zusammenfassung und mathematisch-geometrischer Zuordnung unterschiedlich orientierter Aufschlüsse bieten (MIERSCH & KÜHL 2002) an. Sie benutzt grundsätzlich verbesserte Lösungsansätze für statistisch gesicherte, wahre Fallazimute und wahre Fallwinkel von feldgeologisch einfach zu gewinnenden Massendaten. Im Ergebnis können – statistisch abgesichert – Paläo-Strömungsrichtungen von Kiessand-Körpern variabler Mächtigkeit rekonstruiert werden.

7. Fossiles Schwemmgut der fluvialen Serie (Baumstämme)

Das auffälligste substanzielle Inventar der fluvialen Serie stellen die im Sediment eingebetteten Baumstämme dar. Es handelt sich um ausgestorbene Koniferen der Lorbeer-Wälder (*Doliosiroxylon priscum*, *Doliosirobus taxiformis*) und Zypressengewächse (*Cupressinoxylon sp.*); Details zu den fossilen Hölzern bei JUNGE et al. 2005).

Diese treten verstärkt in den bis 140 m langen und bis 5 m tief in die Böschung des Restlochs eingeschnittenen rezenten Fließrinnen (Cañons) auf (Abb. 2 und 3). Von diesen gehäuft auftretenden Baumstämmen wurden erfasst:

- ihre Höhenlage über dem Flöz II, die lagemäßige Orientierung des Stammes im Sediment: Azimut und Neigung der Stammachse,
- ihr Durchmesser und
- ihre ungefähre Mindestlänge, deren Mindestmaß durch Freilegung am Stoß $\geq 0,1$ m beträgt.

Es handelt sich ausschließlich um in situ-Messungen an den Böschungen der Cañons, deren Aufschlußverhältnisse hinsichtlich der freigelegten Baumstämme sehr unterschiedlich und z. T. schwierig waren. Zudem konnten nur

die sichtbaren bis $\geq 0,1$ m freigelegten Teile der Baumstämme in den Böschungen eingemessen werden (vorzugsweise im Cañon II). Deren wahre Längen sind wesentlich größer, da Teile der Baumstämme verborgen im Sediment stecken und weitere Teile schon vor der Einbettung im Sediment abgebrochen sein können.

Während der Messungen wurde festgestellt, dass eine Vielzahl von Baumstämmen äquidistante Einschnürungen aufwiesen, welche schon vor oder während des Transports zu einem relativ glatten Abbruch senkrecht zur Stammachse führten, ein Phänomen, welches weiterführender paläobotanischer Untersuchungen bedarf (siehe auch JUNGE et al. 2005).

Es wurden insgesamt 121 Baumstämme unterschiedlicher Größe an vier verschiedenen Standpunkten eingemessen und statistisch ausgewertet, um Erkenntnisse über die wahrscheinlichen Paläo-Strömungsrichtungen zu gewinnen: 47 im Cañon I, 72 im Cañon II und jeweils eine am Abflußrohr und beim Profil II.

Die Berechnung der statistischen Parameter von 121 Werten der Stammdurchmesser erbrachte folgende Ergebnisse (Tab. 1 und Abb. 15):

Bei einem mittleren Durchmesser von 0,32 m ist die Variationsbreite der Stammdurchmesser beträchtlich, ausgewiesen durch eine Standardabweichung von 0,32 m und eine Spannweite zwischen minimal 0,03 m und maximal 1,80 m.

Tab. 1 Statistische Maßzahlen der Stammdurchmesser

Tab. 1 Statistic parameters of the tree trunk diameters

Stichprobenumfang (N)	121
Mittelwert (MW)	31,95 cm
Standardabweichung (SD)	32,28 cm
Minimum (MIN)	3,0 cm
Maximum (MAX)	180 cm
Spannweite (SW)	177 cm

Von den 121 Stammlängen-Messungen weisen nur drei (= 2,5%) mit Werten von 2 m, 3 m und 4 m vollständig ausgegrabene Längen auf. Die restlichen 119 Stämme weisen auf Grund der nur teilweisen Freilegung für die Stammlängen mit einem zu niedrigen Durchschnittswert von 1,07 m auf (Standardabweichung 1,59 m). Interessant ist jedoch das Intervall zwischen den kleinsten Werten (35 von 121 Stämmen (29%) mit Längen $\geq 0,1$ m und einem Maximalwert > 9 m (siehe Streudiagramm mit den Stammlängen und Stammdurchmessern, Abb. 15).

Ungeachtet der ungenauen Längenmessungen wurde versucht, Wechselbeziehungen zwischen dem Stammdurchmesser (d in cm) und Stammlänge (l in m) herzustellen. Trotz dieser Einschränkungen wurde ein hochsignifikanter linearer Zusammenhang zwischen beiden Merkmalen festgestellt, ausgewiesen durch einen Korrelationskoeffizienten mit $r = 0,634$. Die linear progressive Regressionsfunktion $l = 0,06 + 0,031d$ weist unter Beachtung oben genannten

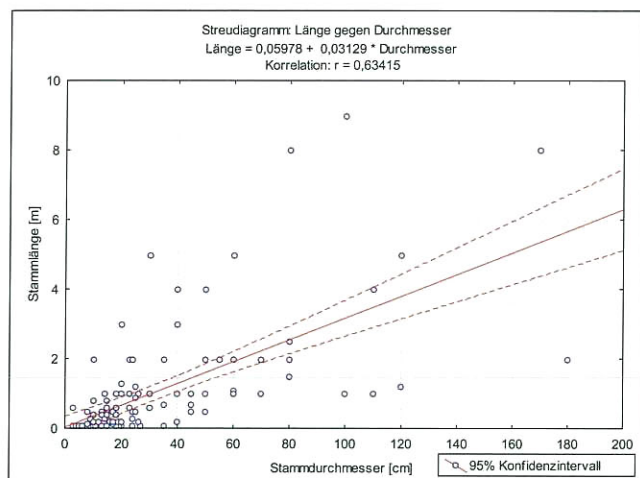


Abb. 15

Streudiagramm der Stammdurchmesser und Stammlängen mit Regressionsfunktion

Fig. 15

Scattergram of the tree trunk diameters and trunk lengths with regression function

Einschränkungen im Durchschnitt bei einer Zunahme des Stammdurchmessers von 0,10 m eine Längenzunahme von 0,31 m aus. Dieser stochastische Zusammenhang ist insofern von Bedeutung, als er bei der Interpretation der unterschiedlichen Einregelung der Baumachsen hilft.

7.1 Höhenlage der Baumstämme über der Oberkante von Flöz II

Die Höhenlage der Baumstämme über Flöz II wurde bis auf 0,5 m Genauigkeit geschätzt. Waren weder die Oberkante des Flözes II noch der überlagernde Deckschluff aufgeschlossen, wurden die Baumstämme von den Höhenmessungen ausgeschlossen. Dementsprechend reduzierte sich

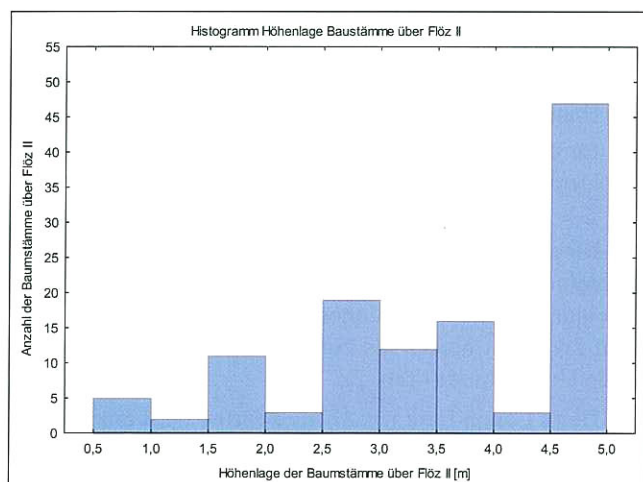


Abb. 16

Histogramm der Höhenlage der Baumstämme über Flöz II

Fig. 16

Histogram of the height of the tree trunks above seam II

die Anzahl der höhenbezogenen Meßwerte auf $n = 119$.

Das Histogramm (Abb. 16) zeigt eine extrem unregelmäßige (polymodale) Verteilung der Höhenlagen der Baumstämme bei einer leichten Zunahme der Häufigkeiten mit wachsender Distanz von der Flözoberkante und mit 36 Werten (38% aller Werte) ein absolutes Maximum bei 5 m über der Oberkante von Flöz II (bei einem wenig aussagefähigen Mittelwert von 3,8 m, s. o.). Ursache dafür sind die Hangrutsch-Massen am Böschungsfuß der Cañons, wodurch hier die Baumstämme mengenmäßig unterrepräsentiert sind.

7.2 Neigungswinkel und Neigungsrichtung der Baumstämme

Mit dem Begriff Neigungsrichtung (Azimut) wird die Richtung der Baumachse in Abhängigkeit von ihrem Neigungswinkel (Fallwinkel) definiert, welche im Intervall 0-360 ° liegen kann.

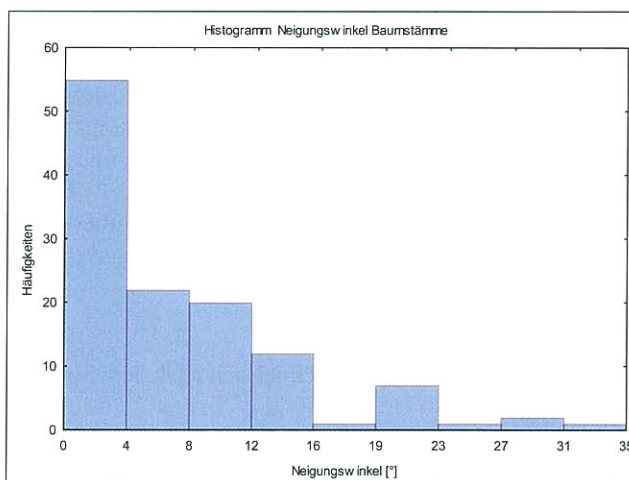


Abb. 17 Histogramm der Neigungswinkel der Baustämme

Fig. 17 Histogram of the inclination of the tree trunks

Dem Histogramm mit den Neigungswinkeln aller 121 Baumstämme (Abb. 17) ist zu entnehmen, dass die meisten Baumachsen nur schwach geneigt sind, im Durchschnitt $\bar{v} = 6,3^\circ$. D. h. 77 aller Neigungswinkel (64%) liegen im Intervall 0-5 °, weitere 20 im Intervall 5-10 ° (insgesamt 80% aller Werte). Das erschwert die Berechnung der wahren durchschnittlichen Neigungsrichtung insofern, als die Eindeutigkeit der Neigung infolge der Kürze der meisten Baustämme bei derartig niedrigen Neigungen nicht gesichert ist (97,5% der Baumstämme sind nur teilweise ausgegraben).

Ein weiterer Grund für die starke Streuung der Neigungsrichtungen besteht darin, dass zunächst die Neigungsdaten der Baumstämme für das gesamte aufgeschlossene Mächtigkeitsintervall der fluviatilen Serie in den beiden Cañons von 5 m zusammengefaßt wurden. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Strömungsrichtungen in diesem Mächtigkeits- (Zeit) Intervall sehr wahrscheinlich mehrfach änderten.

Das Histogramm mit den Neigungsrichtungen der Baumstämme zeigt ein polymodales Verteilungsbild, welches deren extreme Streuung über die gesamte Richtungsrose belegt. Aus diesem hebt sich im Richtungsintervall $\{0^\circ\text{--}45^\circ\}$ ein Hauptpeak mit 45 Richtungswerten (34%) deutlich heraus.

Hieraus läßt sich unschwer ableiten, dass die NE-SW-Orientierung der Baustämme dominiert, gefolgt von der NW-SE-Orientierung (beide zusammen etwa zwei Drittel aller Orientierungen).

Diese Erkenntnisse sollen mit richtungsstatistischen Untersuchungen objektiviert werden. Dabei wird zunächst die Gesamtheit aller Neigungsrichtungen und Neigungswinkel betrachtet und anschließend versucht, nach räumlichen Verteilungskriterien und in Abhängigkeit von den Stammdurchmessern differenziertere Erkenntnisse über das lokale Paläo-Fließsystem zu gewinnen.

Die Haupttrichtung in einem Satz von Einzelwinkeln (Vektoren) wird definiert als Vektor-Resultante $\bar{R}$ in einem Einheitsvektor mit der Länge $\bar{R}$ und dem Winkel der Haupttrichtung $\bar{\Theta}$. Der Einheitsvektor wird definiert durch die Koordinaten des Endpunkts der Resultantenlänge R aus dem Richtungssinus $Y_i = \sin \Theta_i$ und Richtungskosinus $X_i = \cos \Theta_i$ der gemessenen Richtungswinkel, allerdings bezogen auf Null Grad in Richtung X-Achse (= Ost) und gegen die Uhrzeigerrichtung! Die Koordinaten $\bar{X}_r$ und $\bar{Y}_r$ für die Vektor-Resultante $\bar{R}$ erhält man durch Aufsummieren der Sinus- und Kosinuswerte der einzelnen Richtungsvektoren $\sin \Theta_i$ und $\cos \Theta_i$:

$$\bar{X}_r = \sum \cos \Theta_i \quad \text{und} \quad \bar{Y}_r = \sum \sin \Theta_i.$$

Die Länge der Resultante berechnet sich nach dem Satz von Pythagoras:

$$\bar{R} = \sqrt{\bar{X}_r^2 + \bar{Y}_r^2}$$

Die Länge der Resultante hängt ab

- vom Betrag der Streuung des Stichprobenvektors und
- von der Anzahl der Vektoren (Messungen).

Diese Resultante liefert nicht nur eine Information über die Durchschnittsrichtung einer Stichprobe von Richtungsmessungen, sondern auch über deren Variabilität (Dispersion), d. h. über die Spannweite des Vektors für diesen Durchschnitt.

Im Sinne ihrer Vergleichbarkeit und Überprüfung auf Zufälligkeit oder Gesetzmäßigkeit werden die Koordinaten der Resultante mittels Division durch die Anzahl der Beobachtungen standardisiert:

$$S = \bar{Y}_r / n = 1/n * \sum \sin \Theta_i \quad \text{und} \quad C = \bar{X}_r / n = 1/n * \sum \cos \Theta_i$$

Diese Koordinaten definieren das Centroid des Endpunkts der einzelnen Einheitsvektoren. Die standardisierte Resultanten-Länge wird berechnet aus den standardisierten Endpunkten (Koordinaten) S und C : $\bar{R} = R/n = \sqrt{C^2 + S^2}$.

$\bar{R}$ wird Hauptresultantenlänge genannt und liegt im Intervall $\{0,1\}$. Sie ist eine Maßzahl der Richtungsdispersion ähnlich der Varianz, nur im gegensätzlichen Sinne. D. h. große Werte von $\bar{R}$ indizieren, dass die Beobachtungen eng gebündelt sind mit einer kleinen Dispersion. Demge-

genüber zeigen Werte von $\bar{R}$ nahe Null an, dass die Richtungen weit streuen.

Das Komplement zu $\bar{R}$ ist die Kreisvarianz s_o^2 :

Der Winkel der Haupttrichtung $\bar{\Theta}$ ist der Durchschnittswinkel aller Richtungsvektoren analog dem Durchschnittswert von einem Satz von skalaren Messungen. Er wird berech-

$$s_o^2 = 1 - \bar{R} = (n - \bar{R}) / n$$

net als arctan des Quotienten der Summen $\sum \sin \Theta_i$ und $\sum \cos \Theta_i$:

$$\bar{\Theta} = \tan^{-1}(\bar{Y}_r / \bar{X}_r).$$

Da die Neigungswinkel der Baustämme im Sinne von KRUMBEIN (1939) (in J. DAVIS 1986) eindeutige Richtungen markieren – im Unterschied zum Streichen von geologischen Linien- und Flächenelementen – mußten keine Korrekturen zur Eliminierung einer Aufblähung der Dispersion der Meßwerte und Korrektur der Resultanten $\bar{R}$ durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der richtungsstatistischen Untersuchungen für die 121 Richtungswinkel der Baumstämme sind folgende:

- Die Hauptresultante $\bar{R}$ weist einen niedrigen Betrag von nur 0,274 auf mit einer entsprechend großen Kreisvarianz $s_o^2 = 0,726$.

- Der Test auf Anwesenheit eines vorherrschenden Trends wurde entsprechend einer Empfehlung von Dr. A. Bellmann (TU BA Freiberg 2005) auf Grund des großen Stichprobenumfanges im Sinne von MARDIA, KENT & BIBBY (1979) näherungsweise mit dem χ^2 -Test durchgeführt. Hierbei berechnet sich der Prüfwert von $\bar{R}$ als $\chi^2 = p * n * \bar{R}^2 = 18,19$ mit $p = 2$ Freiheitsgraden (da es sich um eine Ebene handelt), Stichprobenumfang $n = 121$ und $\bar{R}^2$ als Quadrat der Hauptresultanten.

Er wird getestet gegen den Zufallshöchstwert einer χ^2 -Verteilung $\chi^2_{p'; q} = \chi^2(2; 95) = 5,99$ mit $p = 2$ Freiheitsgraden und der Quantile $q = 0,95$.

Da $\chi^2 = 18,19 \gg \chi^2(2; 95) = 5,99$ ist, wird die Nullhypothese $H_0: \kappa = 0$ (mit Nachweis der Zufälligkeit der Hauptresultante) abgelehnt und ein signifikanter Trend für die Haupttrichtung nachgewiesen.

- Demzufolge darf auch der Winkel der Haupttrichtung $\bar{\Theta} = 49,9^\circ$ NE als signifikante Durchschnittsrichtung für alle Baumstämme ausgewiesen werden.

Betrachtet man die Neigungsrichtungen beider etwa 160 m voneinander entfernten Cañons getrennt, ergeben sich sowohl zwischen beiden als zur Gesamtheit der Messungen große Unterschiede (Tab. 2):

- Beim Cañon I mit $n = 47$ Meßwerten wird eine Hauptresultante $\bar{R} = 0,136$ und ein Winkel der Haupttrichtung $\bar{\Theta} = 78,8^\circ$ NNE ausgewiesen. Beide Werte sind insignifikant nach dem Rayleigh-Test auf Signifikanz eines Trendes nach MARDIA (1972) in DAVIS (1986). Sie besitzen also einen zu großen Zufallsanteil, um gesetzmäßig zu sein.

Tab. 2 Gruppierung der Baumstämme nach Ortslage und Höhenlage über Flöz II

Tab. 2 Aggregation of the tree trunks according to local position and height above seam II

Gruppierung der Baumstämme	Anzahl N	Durchmesser		Länge		Neigungswinkel		Neigungsrichtung		Signifikanz von $\bar{R}$ und $\bar{\Theta}$
		/cm/ $\bar{d}$	s_d	/m/ $\bar{l}$	s_l	/°/ $\bar{v}$	s_v	/°/ $\bar{R}$	$\bar{\Theta}$	
Baumstämme gesamt	121	31,95	32,28	1,07	1,59	6,3	7,7	0,274	49,9 NE	+ (χ^2 -Test)
Cañon I	47	38,49	34,41	1,45	2,05	6,2	6,1	0,136	78,8 NNE	- (Rayleigh-Test)
Cañon II	72	27,50	30,19	0,80	1,11	6,4	8,7	0,379	40,3 NE	+ (χ^2 -Test)
{0; ≤ 3m}	41	33,34	33,25	1,05	1,68	6,5	9,6	0,416	49,6 NE	+ (Rayleigh-Test)
{> 3; < 5m}	31	28,55	20,76	0,94	1,55	6,6	5,5	0,0641	42,2 SW	- (Rayleigh-Test)
{≥ 5m}	47	29,77	32,30	1,01	1,15	6,2	7,3	0,399	44,3 NE	+ (Rayleigh-Test)

- Beim Cañon II mit N = 72 Meßwerten wird eine Hauptresultante $\bar{R} = 0,397$ und ein Winkel der Hauptrichtung $\bar{\Theta} = 40,3^\circ$ NE ausgewiesen. Der Test auf Anwesenheit eines vorherrschenden Trends nach MARDIA, KENT & BIBBY (1979) mit dem χ^2 - Test (s. o.) belegt hochsignifikant diesen Richtungswinkel. Es ist offenkundig, dass die Hauptrichtung von Cañon II die Gesamtrichtung aller Baustämme wesentlich stärker beeinflusst als jene von Cañon I. Hingegen unterscheiden sich die Neigungswinkel beider Cañons nur insignifikant in ihren Durchschnitten und Standardabweichungen (Cañon I: $\bar{v} = 6,2^\circ$ bzw. $s_v = 6,1^\circ$ und Cañon II: $\bar{v} = 6,4^\circ$ bzw. $s_v = 8,7^\circ$).

gungswinkel auf mit $\bar{v} = 4,2^\circ$ bzw. $4,6^\circ$ und signifikanten Neigungsrichtungen von $\bar{\Theta} = 38,1^\circ$ NE bzw. $\bar{\Theta} = 51,6^\circ$ NE.

- Bei durchschnittlichen Baum-Durchmessern mit $\bar{d} = 16,05$ cm (mit n = 40 Werten, $d_{min} = 11$ cm und $d_{max} = 20$ cm) bzw. $\bar{d} = 16,29$ cm (mit n = 21, $d_{min} = 9$ cm und $d_{max} = 40$ cm), gekoppelt mit durchschnittlichen Baum-längen von $\bar{l} = 0,39$ m bzw. $\bar{l} = 0,25$ m, treten durchschnittliche Neigungswinkel auf mit $\bar{v} = 7,2^\circ$ bzw. $7,6^\circ$ und insignifikanten Neigungsrichtungen von $\bar{\Theta} = 9,6^\circ$ E bzw. $-22,3^\circ$ SE.
- Bei durchschnittlichen Baum-Durchmessern mit $\bar{d} = 29,11$ cm (mit n = 28 Werten, $d_{min} = 23$ cm und d_{max}

Tab. 3 Gruppierung der Baumstämme nach Durchmesser und Länge

Tab. 3 Aggregation of the tree trunks according to diameter and length

Gruppierung der Baumstämme	Anzahl N	Durchmesser		Länge		Neigungswinkel		Neigungsrichtung		Signifikanz von $\bar{R}$ und $\bar{\Theta}$
		/cm/ $\bar{d}$	s_d	/m/ $\bar{l}$	s_l	/°/ $\bar{v}$	s_v	/°/ $\bar{R}$	$\bar{\Theta}$	
Durchmesser:										
{≥ 3; ≤ 10cm}	25	7,16	2,64	0,27	0,41	4,2	6,9	0,418	38,1 NE	+ (Rayleigh-Test)
{≥ 11; ≤ 20cm}	40	16,05	2,84	0,39	0,52	7,2	8,1	0,273	9,6 E	- (Rayleigh-Test)
{≥ 23; ≤ 40cm}	28	29,11	6,33	1,26	1,19	7,9	7,6	0,363	71,1 NNE	+ (Rayleigh-Test)
{≥ 45; ≤ 1,8m}	28	79,64	35,54	2,57	2,38	5,5	7,7	0,276	84,9 N	- (Rayleigh-Test)
Länge:										
{≥ 0,1m}	35	10,34	4,56	0,18	0,19	4,6	7,6	0,445	51,6 NE	+ (Rayleigh-Test)
{≥ 0,15; ≥ 0,4m}	21	16,29	7,21	0,25	0,09	7,6	6,0	0,291	-22,3 ESE	- (Rayleigh-Test)
{≥ 0,5; ≥ 9,0m}	65	47,00	37,39	1,84	1,85	7,2	8,0	0,255	68,7 NNE	+ (χ^2 -Test)

Es soll nun untersucht werden, ob es gesetzmäßige Zusammenhänge gibt zwischen den Durchmessern bzw. Längen und den Neigungswinkeln sowie den Neigungsrichtungen der Baumstämme. Hierzu werden im Folgenden die Ergebnisse mitgeteilt (Tab. 3, Abb. 18):

- Bei den niedrigsten durchschnittlichen Baum-Durchmessern mit $\bar{d} = 7,16$ cm (mit n = 25 Werten, $d_{min} = 3$ cm und $d_{max} = 10$ cm) bzw. $\bar{d} = 10,34$ cm (mit n = 35, $d_{min} = 3$ cm und $d_{max} = 35$ cm), gekoppelt mit durchschnittlichen Baum-längen von $\bar{l} = 0,27$ m bzw. $\bar{l} = 0,18$ m, treten die niedrigsten durchschnittlichen Nei-

= 40 cm) bzw. $\bar{d} = 47,0$ cm (mit n = 65, $d_{min} = 8$ cm und $d_{max} = 180$ cm), gekoppelt mit durchschnittlichen Baum-längen von $\bar{l} = 1,26$ m bzw. $\bar{l} = 1,84$ m, treten durchschnittliche Neigungswinkel auf mit $\bar{v} = 7,6^\circ$ bzw. $7,2^\circ$ und signifikanten Neigungsrichtungen von $\bar{\Theta} = 71,1^\circ$ NNE bzw. $\bar{\Theta} = 68,7^\circ$ NNE.

- Bei durchschnittlichen Baum-Durchmessern mit $\bar{d} = 79,64$ cm (mit n = 28 Werten, $d_{min} = 45$ cm und $d_{max} = 180$ cm), gekoppelt mit einer durchschnittlichen Baum-länge von $\bar{l} = 2,57$ m, tritt ein durchschnittlicher Neigungswinkel auf mit $\bar{v} = 5,5^\circ$ und insignifi-

kanter durchschnittlicher Neigungsrichtung von $\bar{\Theta} = 84,9^\circ$ N.

- Die Ursachen für die unterschiedlichen signifikanten und insignifikanten Neigungsrichtungen der Baumstämme unabhängig von ihrem Durchmesser und ihrer Länge werden einerseits in den Meßfehlern infolge zu geringer Ausgrabung, andererseits in den unterschiedlich starken und häufig wechselnden Fließrichtungen

und der damit verbundenen unterschiedlichen Einbettung in die Flußsande und -kiese gesehen.

Es wird die Schlußfolgerung gezogen, dass sich ungeachtet eines hohen zufälligen (chaotischen) Anteils in der Einregelung der Baumstämme während ihres Transports in teilweise turbulenten Strömungen eines verflochtenen Stromsystems eine dominante NE bis NNE gerichtete

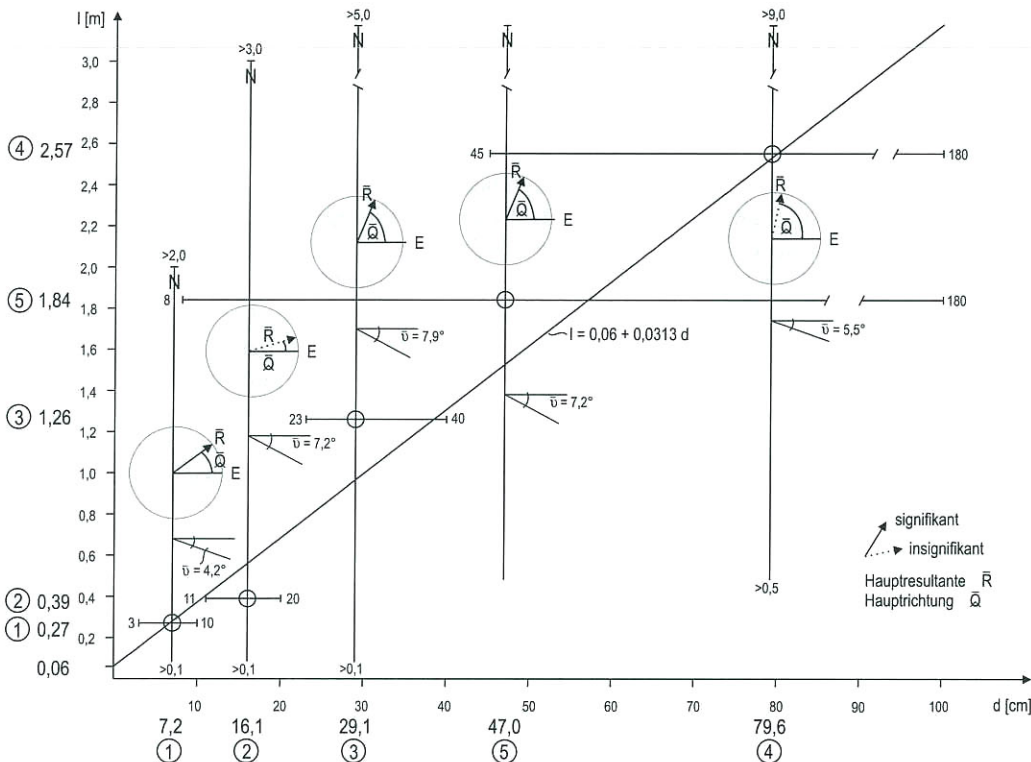


Abb. 18
Regressionsbeziehungen von Baumgruppen in Abhängigkeit von ihren Stammdurchmessern und Stammlängen

Fig. 18
Regression relations of the tree trunks aggregations in dependence to diameter and length

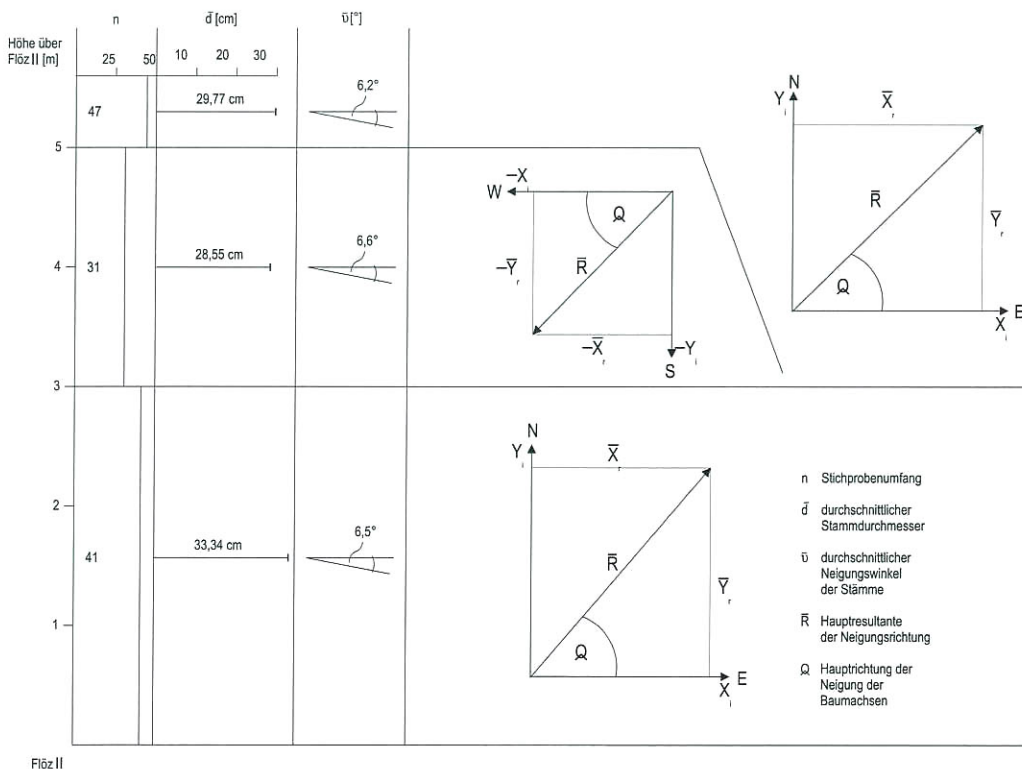


Abb. 19
Vektordiagramme der nach Höhenlagen über Flöz II gruppierten Baumstämme

Fig. 19
Vector diagrams of the tree trunks aggregations in dependence to height positions over seam II

Fließrichtung extrahieren läßt. Diese korrespondiert mit der Fließrichtung, die aus den Schichtneigungen gewonnen wurde (siehe Kap. 6.2).

Die Mächtigkeit der fluviatilen Serie, in welche sich die rezenten Fließrinnen (Cañons) eingeschnitten haben, beträgt bis über 5 m. Es wird davon ausgegangen, dass die Sande und Kiese mit den Baumstämmen in mehreren Sedimentationsperioden abgelagert wurden.

Deswegen wurden die geometrischen und Lagedaten der Baumstämme für drei verschiedene Höhenintervalle hinsichtlich signifikanter Unterschiede bei den Durchmessern, Längen, Neigungswinkeln, Hauptresultantenlängen und Neigungsrichtungen untersucht und gemeinsam dargestellt (Tab. 3 und Abb. 19):

- Höhenintervall 0 bis ≤ 3 m über Flöz II mit n_1 , $\overline{d}_1$, $\overline{l}_1$, $\overline{R}_1$ und $\overline{\Theta}_1$,
- Höhenintervall > 3 m bis ≤ 5 m über Flöz II mit n_2 , $\overline{d}_2$, $\overline{l}_2$, $\overline{v}_2$, $\overline{R}_2$ und $\overline{\Theta}_2$ und
- Höhenintervall > 5 m über Flöz II mit n_3 , $\overline{d}_3$, $\overline{l}_3$, $\overline{v}_3$, $\overline{R}_3$ und $\overline{\Theta}_3$.

Die Ergebnisse werden wie folgt zusammengefaßt:

- Die durchschnittlichen Durchmesser, durchschnittlichen Längen und durchschnittlichen Neigungswinkel in diesen drei Höhenintervallen unterscheiden sich bei ausreichend großen Stichprobenumfängen nur insignifikant:

$$\overline{d}_1 = 33,34 \text{ cm}, \overline{d}_2 = 28,55 \text{ cm}, \overline{d}_3 = 29,77 \text{ cm}$$

$$\overline{l}_1 = 1,09 \text{ m} (> 0,1 \text{ m}; > 9,0 \text{ m}), \overline{l}_2 = 0,94 \text{ m} (> 0,1 \text{ m}; > 8,0 \text{ m}), \overline{l}_3 = 1,01 \text{ m} (> 0,1 \text{ m}; > 5,0 \text{ m})$$

$$\overline{v}_1 = 6,5^\circ, \overline{v}_2 = 6,6^\circ, \overline{v}_3 = 6,2^\circ.$$

- Die Hauptresultantenlängen und durchschnittlichen Neigungsrichtungen der Höhenintervalle 0 bis ≤ 3 m (mit $n_1 = 41$) und > 5 m über Flöz II (mit $n_3 = 47$) sind signifikant und unterscheiden sich gleichfalls nur zufällig voneinander:

$$\overline{R}_1 = 0,416 \text{ und } \overline{R}_3 = 0,399 \text{ bzw. } \overline{\Theta}_1 = 49,6^\circ \text{ NE und } \overline{\Theta}_3 = 44,3^\circ \text{ NE.}$$

- Lediglich das Höhenintervall > 3 m bis ≤ 5 m über Flöz II (mit $n_2 = 31$) weist bei der Hauptresultantenlänge mit $\overline{R}_2 = 0,0641$ Insignifikanz und eine völlig entgegengesetzte Richtung von $\overline{\Theta}_2 = 43,2^\circ$ SW auf. Diese Insignifikanz der Neigungsrichtung belegt deren Zufallscharakter für dieses Höhenintervall.

8. Regionalgeologische Einordnung des Groitzscher Profils

Problemstellung und Ergebnisse dieser Arbeit sind vorzugsweise methodischer Art und auf die statistische und sequenzanalytische Auswertung unscharfer lithologischer und sedimentologischer Informationen ausgerichtet. Die komplexen regionalgeologischen Verhältnisse sind u. a. von JUNGE et al. (2005) (Kap. 2), (Abb. 20) detailliert be-

schrieben worden. Deswegen soll im Rahmen dieser Arbeit nur kurz auf die regionalgeologische Einordnung des Gesamtprofils von Groitzsch (PG) eingegangen werden.

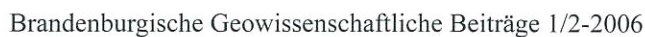
Es wurde versucht, das Gesamtprofil von Groitzsch mit den von JUNGE et al. (2001, 2002) publizierten Profilen Esp EEO, Esp EAE, EESP und DisE zu konnektieren (JUNGE et al. 2005, darin: Abb. 9). Diese das Zwischenmittel zwischen Bornaer Hauptflöz (Flöz II) und Böhlener Oberflöz (Flöz IV) umfassenden Profile gliedern sich in Flöze, terrestrische Stillwassersedimente, flachmarine strandnahe Sedimente sowie fluviatile Sedimente. Mit seiner geologischen Position unterhalb des Thüringer Hauptflözes (Flöz III) umfasst das untersuchte Gesamtprofil von Groitzsch die lithologisch-sedimentologischen Einheiten I (Deckschluff) und die lithologisch stark differenzierte fluviatil-ästuarine Einheit I/II des Zwischenmittels aus dem Tagebau Espenhain. Insbesondere ist mit ihm eine detaillierte Auflösung der durch fluviatile und marin-ästuarine Abschnitte geprägten Einheit I/II möglich.

Die Profile sind Nordwest /Südost orientiert, wobei Esp EEO am weitesten im NW liegt. Danach folgen nach SE auf kürzere Distanz Esp EAE, EESP, DisE und 3 km weiter das Profil von Groitzsch.

Alle Profile beginnen mit dem basalen Bornaer Hauptflöz. Darüber lagert in allen Profilen mit geringer Mächtigkeitsabnahme nach SE der Deckschluff. In Esp EEO beträgt er 1,35 m, in Esp EAE nur noch 1,1 m und im Groitzscher Profil (PG I) nur noch 1,0 m. Auffällig sind die nach Süden hin zunehmenden fluviatilen Einschaltungen im Deckschluff. Bei Esp EAE liegen die fluviatilen Einheiten deutlich diskordant über dem Deckschluff (JUNGE et al. 2001). Es konnte im Groitzscher Profil eine Erosionsdiskordanz, nicht jedoch eine Winkeldiskordanz zwischen Deckschluff und überlagernder fluviatiler Serie (PG I/PG II) nachgewiesen werden.

Die eine Gesamtmächtigkeit bis maximal 3 m aufweisende fluviatil-ästuarine Abfolge (Einheit I/II in den nördlich gelegenen Profilen) besteht einerseits aus mehreren flachen, sich gegenseitig abschneidenden und wenige Meter breiten Rinnen, welche zum Hangenden hin mit deutlich gröber werdendem Material (grobsandige Mittelsande) ausgefüllt sind (JUNGE et al. 2001, 2002, 2005). Ähnlich ist es beim Groitzscher Profil (PG II). Auch hier treten übereinander mehrere Rinnensysteme auf, welche sich gegenseitig abschneiden und überlagern (Abb. 7).

Andererseits besteht die fluviatil-ästuarine Abfolge aus horizontalgeschichteten Feinsanden flachmarin-ästuariner Entstehung. Sowohl die fluviatilen Sedimente (PG II), als auch flachmarinen Sedimente (PG III) nehmen gegenüber den Profilen aus den Tagebau Espenhain an Mächtigkeit extrem zu, die Liegendtone unter dem Thüringer Hauptflöz (PG IV) gegenüber den untersuchten Profilen deutlich ab. Die terrestrischen Stillwasserablagerungen der Einheiten EEO II, EAE II, Eesp II und DisE II werden mit dem Flöz III in Verbindung gebracht. Dabei wurden im Ergebnis eines Vergleichs zwischen den Profilen innerhalb des



Tagebaus Espenhain (Einheiten EEO II, EAE II, EEsp II und DisE II) deutliche Vermoorungsprozesse nach Süden festgestellt und die angenommene Konnektierung mit dem Flöz III im Restloch Groitzscher Dreieck gestützt.

Zusammenfassend wird festgestellt, dass regional von Nord nach Süd die Gesamtmächtigkeit des Zwischenmittels der Flöze zwischen dem Bornaer und dem Thüringer Hauptflöz stark zunimmt, wobei sich ebenfalls der Vermoorungsprozeß in südlicher Richtung intensiviert.

Zusammenfassung

Auf der Grundlage detaillierter geologischer Kartierungsarbeiten im Restloch des ehemaligen Braunkohlentagebaus Groitzscher Dreieck wird für das obereozäne Sandmittel zwischen dem Bornaer Hauptflöz (Flöz II) und dem Thüringer Hauptflöz eine fazielle Zweiteilung im Aufbau des Mittels dokumentiert. Es besteht aus einem liegenden, überwiegend fluviatil geprägten Teil (Rinnenkörper mit dominierender Fein- bis Grobsandfüllung, Schrägschichtung, Einheit I/IIu) und einem hangenden, überwiegend marin-ästuarin geprägten Teil (horizontal geschichtete Schluffe und Feinsande mit Bioturbation; Einheit I/Ilo).

Auf der Grundlage von differenzierten, ausschließlich feldgeologischen Informationen wurden statistische, sequenzanalytische und richtungsstatistische Untersuchungen an der 8,27 m mächtigen marinen und 8,31 m mächtigen fluviatilen Serie durchgeführt. Mit Hilfe der Kornzusammensetzung, Mächtigkeit und der Gesetzmäßigkeiten im Aufbau und in der Abfolge der Einzelstraten (Sedimentationstyp, Kleintrend, Ordnungsgrad, Sequenzenindex) und ihrer Lagerungsverhältnisse werden beide Serien sedimentologisch detailliert charakterisiert.

Die marine Serie besteht als Sediment eines küstennahen Bereichs aus kurzketten Sequenzen von Schluff, schluffigem Feinsand und Feinsand mit einem generell hohen Ordnungsgrad sowie extrem variierenden Fallrichtungen zwischen NW und E und Fallwinkeln zwischen 5 ° bis 24 °.

Die in einem wesentlich höheren Energiebereich abgelagerte fluviatile Serie besteht aus 7 Teilkomplexen mit Schräg- und Kreuzschichtung. In ihnen wechseln progressive und degressive Kleintrends mit Kornvergrößerung und Kornverkleinerung im Spektrum von Feinsanden bis Feinkiesen und fallen mit einem durchschnittlichen Fallwinkel von 26 ° nach NW ein.

Die statistische Auswertung der 121 Wertetupel von fossilen Baumstämmen innerhalb der fluviatilen Serie ergaben ein Dicken-Längenverhältnis der Baumstämme von 1 : 3 sowie für die Baumachsen durchschnittliche Neigungswinkel von 6,3 ° und eine signifikante (Haupt-) Neigungsrichtung von 50 ° NE.

Summary

Detailed geologic mapping investigations in the abandoned strip coal mine Groitzscher Dreieck show a facial bipartition of the Upper Eocene sandy interbed located between the Borna main seam (seam II) and the Thuringia main seam (seam III). The interbed consists of a lower part mainly influenced by fluvial processes (channel body filled with fine sand to fine gravel; cross-bedding, unit I/IIu) and an overlying part largely influenced by marine-estuarine processes (horizontally layered silts and fine sands with bioturbation, unit I/Ilo).

Statistical and sequence analytical studies of directions were realized with differential field geological observations on the 8,27 m thick overlying marine and on the 8,31 m thick underlain fluvial series.

They are characterized by means of granular composition, thickness and regularity in the structure and succession of the individual horizons (sedimentary types, low-order trends, degree of order, sequence indices) and their bedding conditions.

The marine division consists of a near-shore sediment of short chain sequences by silt, silty fine sand and fine sand with generally high degree of order and extreme various azimuths between NW and E and dip angles between 5 ° to 24 °.

The fluvial division was deposited in an essential greater energy level and consists of 7 cross-bedded part complexes. It is composed with progressive and regressive low-order trends with increasing and decreasing grain size from fine sand to fine gravel with a mean azimuth NW and a mean dip angle of 26 °.

Statistical interpretation of 121 value tuples of large fossil trunks in the fluvial series shows a thickness/length relation of the tree trunks of 1 : 3 and proved for the axis of the trunks a mean dip angle of 6,3 ° and a significant mean azimuth of 50 ° NE.

Literatur

- BELLMANN, H.-J., SCHÜTTLER, J. & JAKISCH, E. (1981): Zur Nutzung verkieselter tertiärer Hölzer als Rohstoff für die Natursteinindustrie. - Z. f. angew. Geol. 27, 1, S. 547-548, Berlin
- DAVIS, J. C. (1986): Statistics and Data Analysis in Geology. - 551 S., New York (John Wiley & Sons, INC.)
- DOLL, G. (1982): Zur geologischen Entwicklung des zentralen Weißelsterbeckens (unter besonderer Berücksichtigung der Braunkohlenfelder Peres, Groitzscher Dreieck und Schleenhain). - 164 S., unveröff. Diss. A, Universität Leipzig
- DOLL, G. (1984): Zur zyklischen Ausbildung des Tertiärs im Weißelsterbecken. - Z. geol. Wiss. 12, 5, S. 575-583, Berlin

Abb. 20

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

Fig. 20

A possible connection of the sedimentary interbed between Bornaer (seam II) and Böhlener upper seam (seam IV) in the southern region of Leipzig based on lithological and sedimentological findings (Weißelsterbecken)

- EISSMANN, L. (2004): Kapitel 2.1: Die Braunkohlenformation des Weißelsterbeckens mit einem Abriß des Prätertiärs und Quartärs. - In: Der Braunkohlenbergbau im Südraum Leipzig. Bergbaumonographie - Bergbau in Sachsen. - Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG), Bd. 11, S. 21-40, Dresden
- JUNGE, F.-W., DUCKHEIM, W., MORGENSTERN, P. & M. MAGNUS (2001): Sedimentologie und Geochemie obereozän-unteroligozäner Typusprofile aus dem Weißelsterbecken (Tagebau Espenhain). - *Mauritiana* **18**, 1, S. 25-59, Altenburg
- JUNGE, F.-W., MORGENSTERN P., BÖTTGER T. & W. DUCKHEIM (2002): Geochemische Indikatoren (C_{org} , S, Fe, $\delta^{13}C_{org}$) zur Abschätzung von Fazies und Ablagerungsbedingungen in obereozän-unteroligozänen Sedimenten Mitteldeutschlands. - *Leipziger Geowissenschaften* **14**, S. 71-105, Leipzig
- JUNGE, F.-W., KÜHL A. & WOLF, A. (2000): Geologisch-sedimentologische Untersuchungen am Bänderschluft von Hainichen (Sachsen) – erste Ergebnisse ihrer statistischen Auswertung. - *Brandenburg. geowiss. Beitr.* **7**, 1/2, S. 137-150, Kleinmachnow
- JUNGE, F.-W., DOLEZYCH, M., WALTHER, H., BÖTTGER, T., KÜHL, A., KUNZMANN, L., MORGENSTERN, P., STEINBERG, T., & R. STANGE (2005): Ein Fenster in Landschaft und Vegetation vor 37 Millionen Jahren. Lithologische, sedimentgeochemische und paläobotanische Befunde aus einem Paläoflußsystem des Weißelsterbeckens. - *Mauritiana* **19**, 2, S. 185-273, Altenburg
- KÜHL, A. (1962): Lagerungsverhältnisse des Tertiärs und Quartärs in der Kühlung. - *Dipl. Arb.* 52 S., Univ. Rostock (unveröff.)
- KÜHL, A. (1983): Zur Rhythmizität der campanen Kreidekalke und Kieselkreide von Löcknitz. Teil I. - *Z. geol. Wiss.* **11**, 1, S. 77-111, Berlin
- KÜHL, A. (1983): Zur Rhythmizität der campanen Kreidekalke und Kieselkreide von Löcknitz. Teil II. - *Z. geol. Wiss.*, **11**, 2, S. 133-161, Berlin
- KÜHL, A. & S. BACH (2004): Qualitätsmodell Kiessand Gruna (Teil 1). - *Glückauf-Forschungshefte* **65**, 4, S. 112-125, Essen
- KÜHL, A. & S. BACH (2004): Qualitätsmodell Kiessand Gruna (Teil 2). - *Glückauf-Forschungshefte* **66**, 1, S. 35-49, Essen
- KÜHL, A. & S. BACH (2004): Qualitätsmodell Kiessand Gruna (Teil 3). - *Glückauf-Forschungshefte* **66**, 2, S. 70-85, Essen
- KÜHL A., NESTMANN, U. & T. STEINBERG, (2006): Qualitätsmodell Tontagebau Untereichen – Miozäne Süßwasser-Molasse: Teil 1. - *Freiberg. Forschungsh.*, Freiberg (in Vorb.)
- MARDIA, K. V., KENT, J. T. & J. M. BIBBY (1979): *Multivariate Analysis*. - 518 S. London (Academic Press)
- MARSAL, D. (1979): *Statistische Methoden für Erdwissenschaftler*. - 192 S., Stuttgart (Schweizerbart)
- MENNING, M. & A. HENDRICH (Koor.) (2002): *Stratigraphische Tabelle von Deutschland (STD 2002)*. - Deutsche Stratigraphische Kommission (DSK), Beilage *Z. geol. Wiss.* **30**, 4/5, 1. Aufl., 1 Beih., Potsdam, (E. Stein GmbH)
- MIERSCH, E. & A. KÜHL (2002): Erfassung und Bewertung von Raumlage-Elementen in pleistozänen Terrassenkörpern. - *Glückauf-Forschungshefte* **63**, 4, S. 144-159, Essen
- MIERSCH, E. & A. KÜHL (2003): Geologisch-sedimentologische Untersuchung am archäologischen Grabungs- und Fundplatz Markkleeberg. - *Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege* **45**, S. 49-60, Dresden
- MÜLLER, A. (1983): Fauna und Palökologie des marinen Mitteloligozäns der Leipziger Tieflandsbucht (Böhlener Schichten). - *Altenbg. nat. wiss. Forsch.* **2**, S. 1-152, Altenburg
- NESTMANN, U., KÜHL, A. & F.-W. JUNGE (2004): Geochemisch-sedimentologisches Normalprofil des Obereozäns im Raum Espenhain. - *Dipl.-Arb.*, TU Bergakademie Freiberg, 247 S., Freiberg
- STANDKE, G. (2001): Thierbacher Schichten und Hainer Sande (Oligozän-Eozän) im ehemaligen Braunkohlentagebau Bockwitz südlich von Leipzig. - *Mauritiana* **18**, 1, S. 61-89, Altenburg

Anschrift der Autoren:
 PD Dr. habil. Anselm Kühl
 Dipl.- Geol. Tim Steinberg
 cand. geol. Reiner Stange
 TU BA Freiberg
 Fakultät für Geowissenschaften,
 Geotechnik und Bergbau
 Institut für Geologie
 Gustav Zeuner Str. 12
 09596 Freiberg

PD Dr. habil. Frank-W. Junge
 Sächsische Akademie der Wissenschaften
 Karl-Tauchnitz-Str. 1
 04107 Leipzig