

Die Stauseesedimente des Bruckdorfer Horizontes: Ergebnis der Eisrandoszillation des saaleglazialen skandinavischen Inlandeises in Mitteldeutschland

Mit 3 Abbildungen und 9 Bildern

FRANK W. JUNGE, TATJANA BÖTTGER und CHRISTINE SIEGERT

Zusammenfassung. Der Zerfall des saale-(drenthe)-glazialen Inlandeises (Zeitzer Phase) war im mitteldeutschen Randgebiet durch eine zweimalige, kurzzeitige Eisrandoszillation geprägt (Pomßener Intervall, Delitzscher Intervall). Im Ergebnis dieser Eisrandoszillationen kam es während der jeweiligen Abschmelz- und Vorstoßphasen zur Entstehung von Eisstauseen mit für sie typischen rhythmisch geschichteten glazilimnischen Sedimenten (Bändertone). Hinsichtlich ihrer geologischen Stellung können unterschieden werden:

- (1) Bändertone, die am Beginn der Eisrandoszillation (Zerfalls- bzw. Rückzugsphase) in eng begrenzten Grundmoränenseen gebildet werden und
- (2) Bändertone die am Ende der Eisrandoszillation (Vorstoßphase) in weit ausgedehnten Talstauseen zum Absatz kommen.

Vorgestellt werden erste Ergebnisse von Detailuntersuchungen (Mikromorphologie, stabile Isotope, Warvenzählung, Warvenkonnectierung) der Bändertone des Pomßener Intervalls (Bruckdorfer Horizont: Unterer Bruckdorfer (Rückzugs-) Bänderton, Oberer Bruckdorfer (Vorstoß-) Bänderton) aus dem Tagebau Delitzsch-Südwest und aus temporären Aufschlüssen des Stadtgebietes von Leipzig.

Der im Ergebnis des Eiszerfalls in eng begrenzten Becken bzw. Tümpeln auf der Ersten Saale-(Drenthe)-Grundmoräne (Zeitzer Phase) abgesetzte, die Basis der Zwischensedimentfolge bildende Untere Bruckdorfer (Rückzugs-)Bänderton besteht aus einer Wechsellagerung mikroskopisch deutlich voneinander abgegrenzter Ton- und Schlufflagen. Das Fehlen einer isotopischen Differenzierung der Karbonatfraktion zwischen den Lagentypen weist auf einen während der Eiszerfallsphase überwiegend klastisch kontrollierten Karbonathalt hin. Im mikroskopischen Bild sichtbare kryogene Texturen sprechen für postsedimentäre Bodenfrostopprozesse, die möglicherweise im Zuge der Verlandung bzw. Verfüllung der kleinräumigen Beckenstrukturen Einfluß gewannen. Dies wird durch Beobachtungen aus dem rezenten Permafrostgebiet Sibiriens (Taimyr-Region) gestützt.

Der den Hangendabschluß der Zwischensedimentfolge bildende Obere Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton erweist sich mit seinem makroskopischen und mikromorphologischen Lageraufbau und mit der über das nördliche Stadtgebiet von Leipzig nachgewiesenen Konnectierbarkeit seiner Lagen als ein für das Mittelgebirgs-vorland typisches Glazialstauseesediment weit ausgedehnter Stauseebecken.

Summary. The deglaciation of the Saalian-(Drenthe)-inland ice sheet (Zeitzer phase) was characterized by a twice repeated short-term ice rim oscillation in the Central German marginal area (Pomßen interval, Delitzsch interval). During the related ablation and advance phase, this ice rim oscillation resulted in the formation of glacial ice-dammed lakes with glacialimnic, rhythmically stratified sediments (varved clay) typical of such ice-dammed lakes. With regard to their geological position, distinction is made between:

- (1) varved clay which is formed, at the beginning of the ice rim oscillation (deglaciation and retreat phases, respectively) in restricted moraine-dammed lakes and
- (2) varved clay which is deposited at the end of the ice rim oscillation (advance phase) in largely extended valley ice-dammed lakes.

Subject of this interpretation are the first results of detailed investigations (micromorphology, stable isotope, varve counting, varve correlation) into Pomßen interval varved clay (Bruckdorf horizon: Lower Bruckdorf retreat varved clay, Upper Bruckdorf advance varved clay) originating from the open-cast mine of Delitzsch Southwest and from temporary development pits in the Leipzig city area.

The Lower Bruckdorf retreat varved clay deposited as a result of the ice deglaciation in restricted basins or small lakes on the first Saalian-(Drenthe) till (Zeitzer phase) and forming the basis of the intermediate sediment

sequence, consists of an alternate deposition of clay and silt layers, which can clearly be delimited from each other in the microscopic range. The lack of an isotopic differentiation of the carbonate fraction between the layer types indicates a carbonate management that was subject to a largely clastic control during the ice sheet deglaciation phase. Cryogenic textures visible under the microscope lead to the assumption of post-sedimentary soil frost processes, which might have gained influence in the course of the silting-up or fill of the small basin structures. This is supported by observations in the recent permafrost area of Siberia (Taimyr region).

The Upper Bruckdorf advance varved clay forming the termination of the hanging of the intermediate sediment sequence turns out to be a glacial ice-dammed lake sediment of largely extended ice-dammed lakes typical of the low mountain range foothills relating to its macroscopic and micromorphological layer architecture and the correlation of its varves, which has been proved to be found across the Northern city area of Leipzig.

Schlüsselwörter. Bänderton, glazilimnische Rhythmite, Mikromorphologie, Mitteldeutschland, Quartär, Saalevereisung, stabile Isotope

Keywords. Central Germany, glacially rhythmic, micromorphology, Quaternary, Saalian glaciation, stable isotope, varved clay

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
 2. Zum geologischen Aufbau und zur Verbreitung der Stauseesedimente des Bruckdorfer Horizontes
 3. Untersuchungen an den Stauseesedimenten des Bruckdorfer Horizontes
 - 3.1. Tagebau Delitzsch-Südwest
 - 3.1.1. Lithologie
 - 3.1.2. Mikromorphologie
 - 3.1.3. Geochemie (stabile Isotope)
 - 3.1.4. Erste Pollendaten
 - 3.2. Stadtgebiet von Leipzig
 - 3.2.1. Lithologie
 - 3.2.2. Mikromorphologie
 - 3.2.3. Lagenkonnektierung
 4. Schlußfolgerungen
 5. Danksagung
 6. Literatur
- Beilage: Abb. 1–3

1. Einleitung

Rhythmisch geschichtete Eisstauseesedimente (Bänderton, Bänderschluft) sind wesentlicher Bestandteil der in Mitteldeutschland verbreiteten quartären Sedimentfolgen (EISSMANN 1997). Dabei geben die auf periglazialer, fluviatiler Unterlage gelegenen und die Basis der Grundmoränen bildenden rhythmisch geschichteten glazilimnischen Sedimente (Verbreitungstyp Ia, JUNGE 1998) einerseits Informationen über die Prozesse während der Aufbauphase des Inlandeises im Zeitraum des Übergangs vom Anaglazial zum Hochglazial. Andererseits spiegeln die auf dem Top der Grundmoränen gelegenen glazilimnischen Sedimente (Verbreitungstyp III, JUNGE 1998) das Geschehen während der Abschmelzphase des Inlandeises im Zeitraum vom Ende des Hochglazials zum Spätglazial wider. Aussagen zur räumlichen und zeitlichen Entwicklung der Eisstauseen, zu ihrem Wasserhaushalt, zum Paläoklima und zur Gletscherdynamik können auf der Basis von Detailuntersuchungen an diesen Glazialseesedimenten getroffen werden (JUNGE und BÖTTGER 1994a, 1994b, 1996, JUNGE 1998).

In vorliegender Arbeit werden Ergebnisse von Detailuntersuchungen der innerhalb des Bruckdorfer Horizontes vorkommenden saaleglazialen Eisstauseesedimente (Unterer Bruckdorfer (Rückzugs-)Bänderton, Oberer Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton) vorgestellt. Möglich wurden diese Untersuchungen durch die guten Aufschlußverhältnisse in den mitteldeutschen Großtagebauen und durch die in den letzten Jahren in Folge intensiver Bautätigkeit entstandenen zahlreichen temporären Aufschlüsse im Stadtgebiet von Leipzig.

2. Zum geologischen Aufbau und zur Verbreitung der Stauseesedimente des Bruckdorfer Horizontes

Der Zerfall des saale-(drenthe)-glazialen Inlandeises der Zeitzer Phase war in Mitteldeutschland durch zwei zeitlich und räumlich eng beieinanderliegende Eisrandoszillationen geprägt (Leipziger Subphase). Dabei widerspiegeln die Zwischensedimente des Bruckdorfer Horizontes den Zeitraum zwischen dem ersten Vorstoß der Zeitzer Phase und der älteren Eisrandoszillation der Leipziger Subphase (Pomßener Intervall; EISSMANN 1994, 1997). Thermolumineszenzdatierungen an Sedimenten des Bruckdorfer Horizontes ergaben korrigierte (relative) TL-Alter von 141000 (\pm 16000) Jahre und unterstützen in Verbindung mit den vorliegenden TL-Daten eemzeitlicher Sedimente des mitteldeutschen Raumes die Annahme eines kurzen Zeitraumes für den Zerfall des saaleglazialen Inlandeises (KRBETSCHKE und STOLZ 1994).

Mit ihrer Lagerung zwischen der Ersten Saalegrundmoräne (Drenthe-Hauptmoräne) und der Unteren oder Delitzscher Bank der Zweiten Saalegrundmoräne geben die glazifluviatilen-glazilimnischen Sedimente dieser Zwischensedimentfolge Auskunft über die Abbauprozesse des saale-(drenthe)-glazialen Inlandeises der Zeitzer Phase einerseits und über die Aufbauprozesse des neu vorrückenden saale-(drenthe)-glazialen Inlandeisvorstoßes der Leipziger Subphase andererseits. Ausdruck dieser möglicherweise in nur wenigen hundert Jahren abgelaufenen Eisabbau- und Eisaufbauprozesse im Zeitraum des großräumigen allgemeinen saale-(drenthe)-glazialen Eiszerfalls sind die innerhalb des Bruckdorfer Horizontes auftretenden rhythmisch geschichteten Eisstauseeablagerungen. So sind bei vollständiger Ausbildung zwei Bändertone (**Unterer Bruckdorfer (Rückzugs-)Bänderton, Oberer Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton**) entwickelt, die durch einen Komplex feuersteinführender, glazifluviatiler Sande und z. T. Kiese voneinander getrennt sind. Oft wird das Zwischensediment nur von dem an der Basis der Zweiten Saalegrundmoräne befindlichen Oberen Bruckdorfer Bänderton vertreten. Hinweise auf autochthone interglaziale oder interstadiale organische Sedimente innerhalb des Bruckdorfer Horizontes fehlen.

Der **Untere Bruckdorfer (Rückzugs-)Bänderton** stellt das Basissediment des Bruckdorfer Horizontes dar. Er ist das Ergebnis einer in isolierten Tümpeln auf Moränenmaterial (Grundmoränenseen) während der Abschmelzphase des saale-(drenthe)-glazialen Inlandeises der Zeitzer Phase entstandenen Seeablagerung. Hinsichtlich seiner genetischen Position innerhalb des Glazialzyklus ist er vergleichbar mit dem von EISSMANN (1982) und JUNGE (1998) detailliert beschriebenen Brösener (Rückzugs-)Bänderton des elsterglazialen Miltitzer Horizontes.

Der **Obere Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton** widerspiegelt die Abriegelung der Leipziger Bucht durch das saale(drenthe)glaziale Inlandeis des ersten Vorstoßes der Leipziger Subphase (Abb. 1: Beilage). Die Ausdehnung des sich bildenden Eisstausees entsprach offensichtlich der des Vorstoßes der Zeitzer Phase (Böhlener (Vorstoß-)Bänderton). Wassertiefen von 10–12 m in der nördlichen Leipziger Tieflandsbucht (EISSMANN 1975) und von nicht mehr als 30 m bei Halle (BETTENSTAEDT 1934) werden für diesen Eisstausee angenommen. Eine Zusammenstellung von Vorkommen dieses Stauseesedimentes im Untersuchungsgebiet ist bei JUNGE (1997) enthalten.

Als trennender Horizont zwischen den im Untersuchungsgebiet vorhandenen beiden Saalegrundmoränen keilt der Obere Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton in der Umgebung von *Landsberg* aus. Bei *Niemberg*, *Hohenthurm*, *Peißen* und *Landsberg* liegen beide saaleeiszeitlichen Grundmoränen übereinander (RUSKE 1964). Es erscheint die Annahme gerechtfertigt, daß „der Bruckdorfer Ton nicht über das Brachstedter Massiv nach Norden reicht“ (WEISSERMEL u. a. 1909). Weiter nördlich (westlich *Roitzsch*) und nordöstlich (nordwestlich *Bad Dübén*) gelegene Vorkommen von Bänderton sprechen jedoch für einen weiter nördlich beginnenden Aufstauprozess. Sichere Punkte der Existenz einer ungeteilten saale(drenthe)zeitlichen Moräne stellen die Tagebaue *Gröbern* und *Golpa-Nord* bei *Gräfenhainichen* dar.

Südlich des Brachstedter Massivs ist der Obere Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton weitflächig entwickelt und verdankt Aufschlüssen südlich von *Halle (Tagebau Bruckdorf)* seinen Namen (SIEGERT und WEISSERMEL 1911, LEHMANN und LEHMANN 1930, GROTH 1961). Die Südgrenze seiner Verbreitung im Untersuchungsgebiet wird von West nach Ost durch Bändertonvorkommen bei den Ortschaften *Laucha*, *Roßbach*, *Störmthal-Magdeborn (Tagebau Espenhain)*, nördlich *Grimma* und südlich *Mutzschen* markiert.

Im Untersuchungsgebiet tritt Oberer Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton in Auflagehöhen zwischen +79 mNN und +187 mNN auf. Dabei erreicht er maximale Mächtigkeiten von 21 m (östlich *Rothenburg*), wobei seine mittlere Mächtigkeit aller berücksichtigten Vorkommen mit 2,5 m ($\pm 2,9$; $n = 96$) angegeben werden kann. Die im Stauseesediment beobachtete maximale Anzahl der Warven liegt bei 130 (*Halle*) bzw. 200–300 (*Leipzig-Eutritzsch*). Allerdings sind bisher nur wenige Warvenzählungen dokumentiert.

Zahlreiche Beschreibungen des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons liegen aus dem mittleren und unteren Saaletal, in den Tälern der Flüsse Weida und Geisel, sowie im Einzugsgebiet von Pleiße–Weiße Elster vor (Abb. 1: Beilage):

Im unteren Saaletal ist der Obere Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton im Zuge der Braunkohleerkundung (Objekt Hatzfeld) im Gebiet zwischen den Orten *Reußen* und *Rabutz* sehr gut bekannt (MANHENKE 1969, MANHENKE und GROSSE 1970). Seine Mächtigkeit schwankt zwischen 0,1 m und 1,7 m. Die Basis des Stauseesedimentes ist stark variierend zwischen +97,4 mNN und +114,9 mNN. Im Mittel liegt sie bei +105 mNN. In den Bohrungen wird er als häufig dunkelbraungrau bis hellbraungrau gefärbter, meist durch Sandschmitzen gebänderter, stark kalkhaltiger Bänderton, mitunter als grauer sandig-toniger Beckenschluff beschrieben. Die geschlossene Verbreitung des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons im Einzugsgebiet der unteren Saale wird desweiteren durch beschriebene Vorkommen bei *Sietzsch* (Bändertonbasis bei +103 mNN; KNOTH und MANHENKE 1969), *Wiedersdorf-Wiedemar* (Basis bei +105 mNN bis +108 mNN; MANHENKE 1969) und durch die bekannten Tiefbohrungen bei *Rabutz* (Basis bei +105,7 bzw. +102,4; SIEGERT und WEISSERMEL 1911, PICARD 1923) belegt.

Im weiter südlich gelegenen Einzugsgebiet der Saale ist er bis 1,5 m mächtig bei *Mötzlich* (Basis bei +100 mNN; WEISSERMEL u. a. 1909, SIEGERT und WEISSERMEL 1911), im Stadtgebiet von *Halle* (SIEGERT und WEISSERMEL 1911), zwischen den Orten *Rodden* und *Pissen* (Basis bei +115 mNN), bei *Raßnitz* (Basis bei +97 mNN; SIEGERT und BÄRTLING 1909), bis 3 m mächtig bei *Zschöcherger* (Basis zwischen +100 mNN und +110 mNN; SIEGERT und BÄRTLING 1909, SIEGERT und WEISSERMEL 1911) und bis zu 5 m mächtig und in Rinnenposition gelegen bei *Altranstädt* (Basis bei +111 mNN, ETZOLD 1907, SIEGERT und BÄRTLING 1909, SIEGERT und WEISSERMEL 1911, BETTENSTAEDT 1934) dokumentiert. Weiterhin ist bis 0,5 m mächtiger und aus maximal 40 Warven bestehender Bänderton von BETTENSTAEDT (1934) nördlich *Bruckdorf* erwähnt. Als südlichstes Vorkommen im Saaleinzugsgebiet können möglicherweise die von MANIA und ALTERMANN (1970) und STEINMÜLLER (1972) über dem Rudelsburger/Freyburger Bodenkomples entwickelten Eisstauseesedimente in Aufschlüssen bei *Bad Kösen* gelten. Sie werden von den Autoren als größer 8 m mächtige, in Form einer Wechsellagerung von cm-dünnen ton- oder sandhaltigen Lagen horizontal geschichtete, kalkhaltige und stark tonige glazilimnische Sedimente beschrieben. Möglicherweise könnte es sich dabei aber auch um feingeschichtete Abschwemmsedimente handeln, die häufig im Ergebnis von unterschiedlich intensiven Prozessen der Thermoerosion in Gebieten mit Dauerfrostboden auftreten (KATASANOV 1979).

Im Einzugsgebiet der Weida ist Oberer Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton im Gebiet zwischen den Orten *Oberröblingen* und *Erdeborn* (Ortslage *Erdeborn*: GROTH 1961; *Tagebau Etzdorf*: SCHULZ 1961) entwickelt.

Im Geiseltal tritt Oberer Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton auf Geschiebesanden und unter der zweiten Saalegrundmoräne auf. Er ist maximal 2,5 m mächtig und besteht aus maximal 70 Warven (RUSKE 1961). Vorkommen dieses Stauseesedimentes sind bei den Orten *Geiseltalröhlitz*, *Möckerling*, *Mücheln* und in den ehemaligen *Tagebauen Neumark-Süd*, *Pfännerhall* und *Kayna-Süd* bekannt (SPEYER 1882, SIEGERT und WEISSERMEL 1911, BETTENSTAEDT 1934, RUSKE 1961).

Im Einzugsgebiet von Pleiße–Weiße Elster ist der Obere Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton als „Eutritzscher Bänderton“ durch die von DALMER u. a. (1882), GRAHMANN und PIETZSCH (1925) und PIETZSCH (1962) beschriebenen Aufschlüsse in *Leipzig-Eutritzsch* nachgewiesen. Das hier bis 3 m mächtige, kalkhaltige, aus 200 bis 300 Warven (mittlere Warvenmächtigkeit zwischen 10 und 15 mm) bestehende und zwischen ca. +115 mNN und +120 mNN nachgewiesene Stauseesediment wurde „in einem Staubecken abgelagert, das sich zwischen den Endmoränenbögen der Breitenfelder, Dehlitz-Rückmarsdorfer Endmoräne bildete und in dem sich außer Schmelzwässern auch

die Zuflüsse von Mulde, Pleiße und Elster sammelten. Ein Überlauf ist zweifellos Richtung *Schkeuditz* erfolgt“. Möglicherweise ebenfalls Bestandteil dieses Stauseebeckens ist ein bei *Sestewitz* zwischen Moränen gelegener und bei +127 mNN bis +129 mNN auftretender kleiner 3 m mächtiger Bänderton (EISSMANN 1969).

3. Untersuchungen an den Stauseesedimenten des Bruckdorfer Horizontes

3.1. Tagebau Delitzsch-Südwest

3.1.1. Lithologie

Die bis 3,3 m mächtige Sedimentfolge des Bruckdorfer Horizontes war in den letzten Jahren an der südlichen Kopfböschung des Tagebaus Delitzsch-Südwest großflächig aufgeschlossen und in mindestens vier lithologische Einheiten (*Komplexe I bis IV*) gliederbar (Bild 1).

Unmittelbar auf der ersten Saale-(Drenthe)-Grundmoräne aufliegend, beginnt die Sedimentation mit einem ca. 0,65 m mächtigen ungeschichteten graubraunen, tonigen Schluff (*Komplex I*). Dieser ist in seinen oberen 0,45 m von makroskopisch sichtbarer brekziöser Natur (*Komplex Ib*). Graue, eckige Tonbruchstücke und -scherben von wenige mm bis 1 cm Größe schwimmen regellos in einer graubraunen tonigen Schluffmatrix. Innerhalb dieser brekziösen Einheit nimmt die Größe der „Tonklasten“ zum Hangenden hin ab. Einzelne deutlich sichtbare und aushaltende mm-mächtige Schlufflagen sind innerhalb dieses Sedimentpaketes erkennbar.

Mit scharfer Grenze beginnt auf dieser lithologischen Einheit das rhythmisch geschichtete Sediment des Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons (*Komplex II*). Dieser zeigt bei einer Mächtigkeit von 0,39 m maximal 55 Warven. Die Warvenmächtigkeit liegt im mm-cm Bereich, wobei einzelne 1 cm mächtige Schlufflagen sich aus dem Bild der Feinlaminiierung hervorheben. Die Tonlagen zeigen über das gesamte Profil des rhythmisch geschichteten Sedimentes eine brekziöse Internstruktur. Die Schlufflagen sind oft deutlich gradiert und vereinzelt sind bis zu 3 derartige Zyklen (Warven 2. Ordnung) innerhalb einer Schlufflage zu beobachten. Die Feinlaminiierung des Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons endet im Hangenden abrupt.

Darüber liegt ein insgesamt ca. 2 m mächtiges glazifluviales, sandiges Zwischensediment (*Komplex III*). In seinem unteren Teil besteht dieses aus einer Wechsellagerung von max. 20 cm mächtigen schluffigen Feinsandlagen und bis 6 cm mächtigen tonigen Schlufflagen (*Komplex IIIa*). Dabei sind im Profil drei derartige dm-Warven innerhalb dieser ca. 0,5 m mächtigen lithologischen Einheit entwickelt. Den mittleren Teil nimmt ein ca. 1,3 m mächtiges ungeschichtetes Paket schluffiger Feinsande (*Komplex IIIb*) ein, das in seinem oberen Teil in den aus cm- bis dm-mächtigen Warven bestehenden „Schlepp“ des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons (*Komplex IIIc*) überleitet.

Das rhythmisch geschichtete Sediment des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons (*Komplex IV*) besteht im Aufschlußpunkt an der südlichen Kopfböschung des Tagebaus Delitzsch-SW aus maximal 10 Warven, die glazigen stark beansprucht sind.

3.1.2. Mikromorphologie

Die Mikrot Texturen der Bändertone des Bruckdorfer Horizontes aus dem Tagebau Delitzsch-Südwest wurden mittels Dünnschliffen untersucht. Die Herstellung der Bändertondünnschliffe erfolgte nach der in JUNGE und MAGNUS (1994) beschriebenen Methode.

Unterer Bruckdorfer (Rückzugs-)Bänderton (*Komplex II*): Die rhythmische Schichtung besteht aus einer Wechsellagerung deutlich voneinander abgesetzter Ton- und Schlufflagen. Beide Lagentypen zeigen eine markante brekziöse Mikrot extur. Diese den mikromorphologischen Aufbau beider Lagentypen kennzeichnenden brekziösen Mikrostrukturen werden als **kryogene Strukturen** gedeutet. Diese Schlußfolgerung wird durch die Ähnlichkeiten mit den in rhythmisch geschichteten Seesedimenten rezenter Permafrostgebiete beobachteten Makro- und Mikrot exturbilder gestützt.

Sedimente, die sich in Permafrostgebieten bilden, zeichnen sich durch ein spezifisches kryogenes Gefüge aus. Während in grobkörnigen Sedimenten Eis in erster Linie die Porenräume ausfüllt

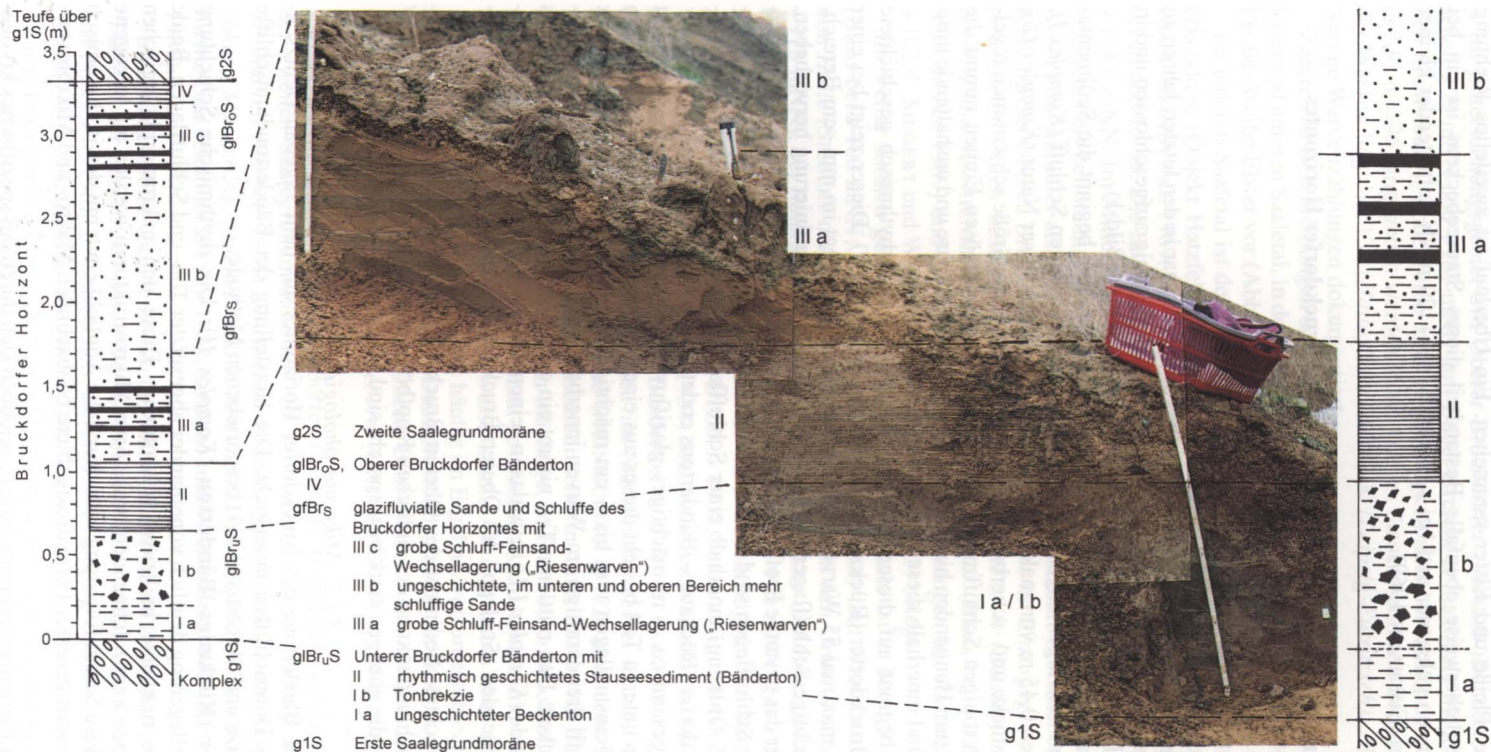


Bild 1. Lithologische Gliederung des Bruckdorfer Horizontes und Aufbau des Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons im Tagebau Delitzsch-Südwest. Aufnahme an der südlichen Kopfböschung; Foto JUNGE, Oktober 1992.

und sich der ursprüngliche Aufbau wenig verändert, wird das primäre sedimentäre Gefüge von tonigen Sedimenten beim Gefrieren durch die Eiskristallisation deutlich transformiert. Ursache dafür sind Migrationsprozesse beim Gefrieren und die Bildung von Segregationseis verschiedener Konfiguration und Größe im Sediment. Wichtige Voraussetzung für die Entstehung von Segregationseis sind: ein ausreichend hoher Wassergehalt, ein ausreichender Gehalt an feindispersen, oberflächenaktiven Komponenten (Tonminerale, organische Substanz) und langsames Gefrieren bei relativ hohen negativen Temperaturen (YERSHOV u. a. 1987). Die Eissegregation und die damit einhergehende Entstehung kryogener Gefüge hängt sowohl von der vorliegenden Korngrößenzusammensetzung, als auch von der Zusammensetzung der Tonminerale und von physikalisch-chemischen Parametern wie Elektrolytgehalt, Ionenzusammensetzung u. a. ab. Sande und Schluffe ohne wesentlichen Tongehalt gefrieren bei ca. 0°C. Hingegen bleiben Tone auch bei Temperaturen unterhalb der 0°C-Grenze längere Zeit plastisch und enthalten noch schwach gebundenes migrationsfähiges Wasser. In Abhängigkeit von der Tonmineralzusammensetzung ist in einem reinen Kaolinit-Ton bei ca. -4°C kein flüssiges Wasser mehr nachweisbar, in Montmorillonit-Tonen erst bei -16°C (YERSHOV 1986). Zusätzliche, durch mechanische und hydrologische Prozesse bedingte, äußere Einflüsse, die dann zur Injektion von Wasser in die gefrierenden oder plastisch gefrorenen Sedimente und zur Bildung von Injektionseis führen, können ebenfalls eine wichtige Rolle bei der Entstehung kryogener Gefügemerkmale spielen.

In Abhängigkeit von der Sedimentgenese und den geokryologischen Bedingungen, unter denen die Sedimente in Permafrost übergehen, entstehen ganz bestimmte kryogene Gefügebilder. Zu ihnen zählen netzartige kryogene Texturen (lattice-like cryostructures), die in Abhängigkeit vom Eisgehalt und der Dicke der Eisschlieren lagenweise wechselnde oder sich vertikal verändernde Größen der Netzstrukturen zeigen (KATASANOV 1967, 1975, SIEGERT u. a. 1996; Bild 2). Petrographische Untersuchungen von Permafrost (YERSHOV u. a. 1987) und experimentelle Studien zur Gefügebildung in gefrierenden Sedimenten (YERSHOV u. a. 1988) konnten zeigen, daß Makro- und Mikro-Gefüge gefrorener Sedimente in ihrer Art in der Regel vergleichbar sind und in tonigen Sedimenten besonders ausgeprägt erscheinen.

Die Tonlagen des Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons bestehen aus Tonbruchstücken unterschiedlicher Größe und Ausrichtung, die in einer schluffigen Grundmasse schwimmen (Bild 3). Sie entstehen durch saisonales Gefrieren und den späteren Übergang des Sedimentpaketes in Permafrost. Je höher der Tongehalt um so stabilere Aggregate bilden sich unter dem Kristallisationsdruck des Eises. Dabei kommt es zu einer Tonmineralorientierung und -umkristallisation an der Grenze zu den die Textur bestimmenden Eislinen. Außerdem wirkt die Abscheidung von Fe-Hydroxiden an den Grenzen zwischen Tonbruchstücken und Eislinen stabilisierend auf die Aggregate (Bruchstücke). Eine derartige Fe-Hydroxidabscheidung wird auch an den Bruchstückrändern in den Mikrotecturaufnahmen der Tonlagen deutlich.

Die Dünnschliffaufnahmen der Schlufflagen lassen ebenfalls eine bruchstückartige Mikrotexur erkennen. Allerdings ist sie bei den Tonlagen wesentlich deutlicher ausgebildet. Bei den Schlufflagen zeichnen linsenartige Poren mit teilweise fiederartiger Anordnung die brekziöse Struktur nach (Bild 4). Die unterschiedlichen Ausbildungen der kryogenen Texturen der Ton- und Schlufflagen sind in ihren unterschiedlichen Tonmineralgehalten (Korngröße) begründet. Je höher der Anteil an Tonmineralen, d. h. je feinkörniger die Sedimente sind, um so „eckigere“ Klaster bilden sich im Zuge des Gefrierprozesses. Je sandig-schluffiger die Zusammensetzung, um so „rundlicher“ und „ovaler“ erscheinen die Aggregate. Letztere besitzen in der Regel auch eine geringere Festigkeit unter der Einwirkung von Wasser. Tonige kryogene Aggregate erhalten sich auch längere Zeit in Uferzonen von Seen nach dem Auftauen dieser Sedimente und dem Eintrag von Material in den See. Sie können dadurch leicht in schluffigeres Material wieder eingebettet werden. Für viele der im rezenten Dauerfrostboden vorkommenden Seesedimente aus dem Taimyr-Gebiet (Sibirien) ist eine derartige Umlagerung und anschließende Einbettung tonigen, brekziösen Materials in feinsandig-schluffige Matrix charakteristisch (SIEGERT u. a. 1996).

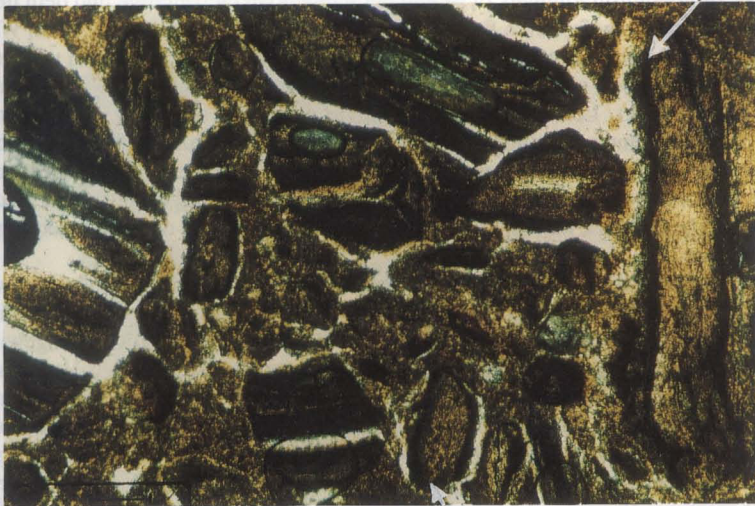
Beim Gefrieren eines wassergesättigten, relativ homogenen Sedimentes entsteht entsprechend der Wanderung der Gefrierfront vom Hangenden zum Liegenden eine sich nach oben verdichtende und feiner werdende kryogene Textur. Die Abnahme in der Größe der kryogenen Aggregate vom Liegenden zum Hangenden und die damit einhergehende „kryogene Strukturierung“ des Sedi-



Bild 2. Seeablagerungen im rezenten Permafrostgebiet. Nordufer des Labaz-Sees, SE der Taymyr-Halbinsel, Mittel-Sibirien. Die zu Beginn des Gletscherrückzuges in einem frühen Weichselinterstadial gebildete Abfolge besteht aus hell gefärbten schluffigen Sanden mit massiver kryogener Textur und stark tonigen Schluffen mit typischer netzartiger Textur (lattice-like cryostructure). Links vom Spaten ist ein Eiskeil mit oxydierter Randzone zu erkennen, der auf zeitweiliges Trockenfallen und Gefrieren der Sedimente hinweist.

Foto SIEGERT 1995.

Fe-Hydroxide

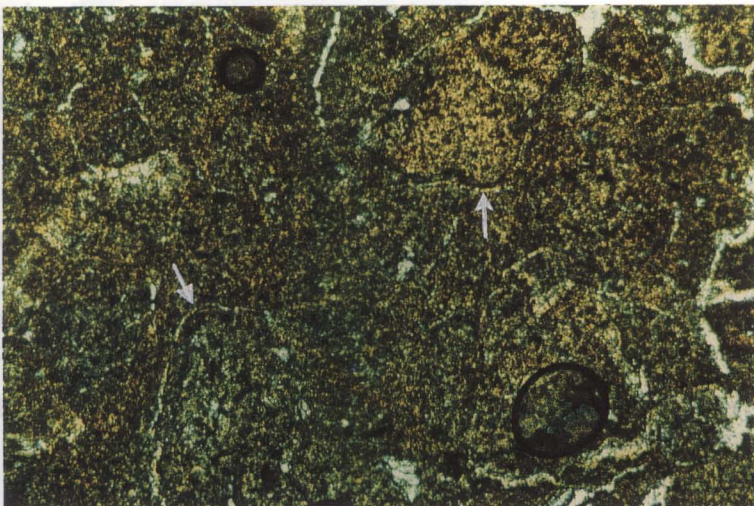


0,25 mm

II Nicols

Fe-Hydroxide

Bild 3. Detailaufnahme der Tonlagen des Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons. Tagebau Delitzsch-Südwest. Die Tonlagen bestehen aus Tonbruchstücken unterschiedlicher Größe und Ausrichtung, die in einer schluffigen Grundmasse schwimmen. Man beachte die an den Grenzen der einzelnen Tonbruchstücke durch eine dunklere Färbung hervortretenden Fe-Hydroxid-Anreicherungen.



0,25 mm

II Nicols

kryogene Poren

Bild 4. Detailaufnahme der Schlufflagen des Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons. Tagebau Delitzsch-Südwest. Feine linsenartige kryogene Poren mit teilweise fiederartiger Anordnung, dabei die brekziöse Struktur nachzeichnend, kennzeichnen die Mikrotexur der Schlufflagen. Kreise = Luftblasen präparativer Natur.

menten ist Ausdruck der in gleicher Richtung zunehmenden Kristallisationsgeschwindigkeit des Eises. Aufgrund des Temperaturgradienten zwischen der hangenden Gefrierzone und dem liegenden Bereich des weitgehend ungefrorenen Sedimentes kommt es zu einer Migration von Wasser in diese Zone tiefster Temperaturen, wo sich die Eiskristallisation vollzieht. Dadurch wird innerhalb der hangenden Gefrierzone eine Zunahme des Eisgehaltes und damit eine Zunahme des Kristallisationsdruckes bewirkt. Letzterer führt schließlich zu einem stärkeren Zerbrechen des Sedimentes und zu der genannten richtungsabhängigen „kryogenen Strukturierung“. Die beobachtete Abnahme in der Größe der kryogenen „Tonklasten“ vom Liegenden zum Hangenden, die innerhalb des auf der Saale-(Drenthe-) Grundmoräne aufliegenden ungeschichteten Beckenschluffes (*Komplex Ib*) beobachtet wird, ist offensichtlich Ausdruck eines derartigen „kryogenen Strukturierungsprozesses“.

Die Beschreibung kryogener Mikrotexturen innerhalb quartärer Periglazialsedimente wurde jüngst von BOHNCKE u. a. (1993) publiziert. Ihr Erhalt in Paläo-Seesedimenten wird durch die beschriebenen Mikrotexurbilder des Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons nachgewiesen. Die darin gefundenen kryogenen Mikrotexturen sind im Zusammenhang mit den Verlandungsprozessen der lokalen Schmelzwassertümpel (Grundmoränenseen) in einer noch vom Permafrost beherrschten Landschaft zu sehen. Im Zuge der Verlandung bzw. Verfüllung dieser kleinräumigen Beckenstrukturen gewinnen offensichtlich, ähnlich wie noch heute im rezenten Permafrostgebiet Sibiriens beobachtet, Bodenfrostprozesse an Bedeutung, die ein saisonales Gefrieren der Seesedimente und ihren Übergang in Permafrost zur Folge haben. Die dabei stattfindende kryogene Überprägung der dünngeschichteten Sedimente (Bänderton) führt in Abhängigkeit von ihren spezifischen Lageneigenschaften (Tonmineralgehalt, Korngröße u. a.) zur Entstehung der beschriebenen charakteristischen kryogenen Strukturen.

Oberer Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton (*Komplex IV*): Die für Vorstoßbändertone typische rhythmische Schichtung (JUNGE 1998) ist nur im unteren Teil des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons aus dem Tagebau Delitzsch-Südwest entwickelt. Hauptmerkmal des Bändertons ist seine starke glazigene Deformation (Bild 5). Diese äußert sich im Dünnschliffbild im Auftreten zahlreicher Diamiktitklasten innerhalb des Stauseesediments. Fahnenartige „Einpressungszonen“, die mit Tonsubstanz angereichert sind und zum Teil bis in die hangende Grundmoräne reichen, durchziehen den Rhythmit. Letztere Strukturen sind mit den innerhalb des elster-I-glazialen Dehltitz-Leipziger (Vorstoß-) Bändertons beschriebenen Mikrotexturen der glazi-hydromechanischen Deformation vergleichbar. Sie weisen auf Bewegungsprozesse im quasi-flüssigen Zustand hin, wie es für unter Druck stehende Ton-Wassergemische denkbar ist (JUNGE 1998).

3.1.3. Geochemie (stabile Isotope)

Untersucht wurde eine ausgewählte Folge von Schluff- und Tonlagen des **Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons (*Komplex II*)** auf ihren Karbonatgehalt und die stabile Isotopenzusammensetzung ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) des Karbonats.

Karbonatgehalt. Der mittlere Karbonatgehalt der Schlufflagen ist mit 11,6% ($s = 2,4$; $n = 7$) um das zweifache höher im Vergleich zu den Tonlagen mit ihrem mittleren Karbonatgehalt von 5,9% ($s = 0,7$; $n = 5$).

Isotopenwerte des Karbonats. Das Karbonat der Schluff- und Tonlagen des Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons zeigt eine einheitliche Isotopenzusammensetzung:

Schlufflagen:	$\delta^{18}\text{O}$: -4,3% ($s = 0,2$; $n = 8$)	$\delta^{13}\text{C}$: +0,30% ($s = 0,12$; $n = 8$)
Tonlagen:	$\delta^{18}\text{O}$: -4,4% ($s = 0,2$; $n = 7$)	$\delta^{13}\text{C}$: -0,11% ($s = 0,11$; $n = 7$).

Die Ergebnisse zeigen zwischen den Lagentypen deutliche Unterschiede im Karbonatgehalt, hingegen gleichmäßige Isotopenwerte. Dabei widerspiegeln die höheren Karbonatgehalte in den Schlufflagen gegenüber den Tonlagen den erhöhten Sedimenteintrag während der Schmelzwasserperiode. Die gleichmäßigen Isotopenwerte dokumentieren, daß das Karbonat im Sediment überwiegend klastisch bestimmt wird. Dies wird belegt durch Untersuchungen an Vorstoßbändertonen des mitteldeutschen Raumes. Diese zeigen, daß die Isotopenwerte der Karbonatfraktion einerseits durch den klastischen Karbonateintrag und andererseits durch im Wasserkörper und/



1 mm

erste Schlufflage („Sommerlage“),
stark glazigen gestört, mit eingearbeiteten
Diamikt- und Tonklasten

erste Tonlage („Winterlage“)
(unmittelbare Bändertonbasis)

Schlufflage, gradiert („Schlepp“)

glazifluviale Sande
(Liegendes)

II Nicols

Bild 5. Dünnschliffbild des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton aus dem Tagebau Delitzsch-Südwest. Dargestellt ist der mikrotexturelle Aufbau des Liegend-Überganges des Stauseesedimentes: glazifluviale Sande – Stauseerandfazies („Schlepp“) – Bänderton im engeren Sinne.

oder Bodensediment des Glazialsees stattfindende Karbonatneubildungen kontrolliert werden. Während der klastische Karbonateintrag einen weitgehend uniformen Einfluß auf die Isotopenzusammensetzung des Stauseesedimentes besitzt, spiegeln sich Karbonatneubildungen in einer isotopischen Fraktionierung zwischen den Sedimentlagen wider, bedingt durch Prozesse der bakte-

riellen Oxidation organischer Substanz ($\delta^{13}\text{C}$) und durch im Glazialsee stattfindende Eisbildungsprozesse ($\delta^{18}\text{O}$; JUNGE 1998).

Die uniforme Isotopenzusammensetzung der Lagen des Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons zeigt, daß Karbonatneubildungsprozesse nicht nachweisbar sind. Vergleichbare Ergebnisse einer uniformen Isotopenzusammensetzung des Karbonats unterschiedlicher Lagentypen weisen auch alle bisher untersuchten Bändertone auf, die während der Abschmelzphasen des Inlandeises gebildet wurden (Mitteldeutschland, JUNGE 1998: elster-I-glazialer Brösener (Rückzugs-)Bänderton, Spätsaale-Bänderschlufl; Brandenburg: weichselglaziale Bänderschlufl aus dem Eberswalder Urstromtal; SCHIRRMEISTER 1998). Dies legt den Schluß nahe, daß die während der Abschmelzphasen des Inlandeises entstandenen Glazialseen durchgängig schmelzwasserbeeinflußt waren. Die Voraussetzungen für eine isotopische Differenzierung zwischen den Lagentypen, wie bei den in weitflächigen Glazialstauseen gebildeten Vorstoßbändertonen des mitteldeutschen Raumes beobachtet, waren bei diesen Bändertonen nicht gegeben. Die Kleinräumigkeit der Becken, die ständige Verbindung mit glazialen Schmelzwässern und eine daraus resultierende fehlende fazielle Differenzierung im Stauseebecken sind einige der Faktoren, die die glazilimische Sedimentation innerhalb der während der Abschmelzphasen des Inlandeises existierenden Glazialseen bestimmen.

3.1.4. Erste Pollendaten

Untersucht wurden zwei Lagen des **Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons** (*Komplex II*) auf die Pollenzusammensetzung (*Analyse U. Eicher, Riggisberg*). Das sehr pollenarme Material läßt keine Unterteilung zwischen den Lagentypen zu. Alle Pollenkörner waren stark korrodiert. Die Pollenzusammensetzung wird vermutlich ausschließlich durch Fernflug bestimmt. Nachweisbar waren in der ersten Lage: 5 Luftsäcke sowie ein vollständiges Pollenkorn der Föhre; eine Spore von *Lycopodium*; je ein Pollenkorn einer Art der Gramineae, von *Alnus* und vermutlich von *Populus*. Die zweite Lage war charakterisiert durch: eine Tetrade einer Art der Ericaceae, zwei Luftsäcke von *Pinus*, je ein Pollenkorn von *Corylus*, *Salix* und *Populus*.

3.2. Stadtgebiet von Leipzig

3.2.1. Lithologie

Die in den letzten Jahren den Verfassern in den nördlichen Stadtteilen (Gohlis, Eutritzsch) von Leipzig zugänglichen temporären Aufschlüsse (Baugruben) mit Sedimenten des Bruckdorfer Horizontes boten ausgezeichnete Möglichkeiten zu Untersuchungen am **Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton**. Dieses Stauseesediment war innerhalb folgender temporärer Aufschlüsse Gegenstand der Untersuchungen:

- I. Baugrube Breitenfelder Straße/Jägerstraße (Profilaufnahme: 12. 8. 1993)
- II. Baugrube Landsberger Str. 23 (Profilaufnahme: 9. 8. 1993)
- III. Baugrube Franz-Mehring-Str. 4–8 (Profilaufnahme: 29. 6. 1994)
- IV. Straßenaufschluß Essener Straße/Dübener Landstraße (Profilaufnahme: 12. 1. 1996).

I. Breitenfelder Straße/Jägerstraße. Hier bildete der in einer Teufe von ca. 7 m auftretende Obere Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton den alleinigen Vertreter des Bruckdorfer Horizontes. Am Fuß der Baugrube war der Übergang zwischen der liegenden Ersten Saale-(Drenthe)-Moräne und dem Stauseesediment aufgeschlossen. Diese Übergangszone begann über der normal ausgebildeten Grundmoräne mit einem bis 1,8 m mächtigen stark sandigen diamiktischen Sediment, dem „Schlepp“. In ihm waren einzelne, bis 2 cm mächtige, tonige Straten entwickelt. Darüber begann der eigentliche bis 0,5 m mächtige Bänderton. Dieser war bis zur Basis intensiv glazigen deformiert. Eine Warvenzählung war nicht möglich. Darüber folgte die Untere bzw. Delitzscher Bank der Zweiten Saalegrundmoräne. In ihr waren zahlreiche bändertongefüllte Scherfugen entwickelt.

II. Landsberger Straße 23. Dieser temporäre Aufschluß (Oberkante bei ca. 126 mNN) offenbarte unter bis maximal 3 m mächtigen anthropogenen Sedimenten (Auffülle) die bis maximal 7 m mächtige, im oberen Teil hellbraune, im unteren Teil graubraune bis grünlichgraue Untere bzw.

Delitzscher Bank der Zweiten Saalegrundmoräne. Darunter, an der Baugrubenbasis noch sichtbar, folgten die bis maximal 2,5 m mächtigen Sedimente des Bruckdorfer Horizontes (Bild 6). Diese bestanden aus dem bis 0,7 m mächtigen Stauesesediment des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons und aus den darunter liegenden glazifluviatilen Sanden. Unter diesen Sedimenten des Bruckdorfer Horizontes folgte eine bis mindestens 11 m mächtige Grundmoräne, die der Ersten Saale-(Drenthe)-Grundmoräne der Zeitzer Phase zuzuordnen ist.

Der Obere Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton (Bild 6) bestand innerhalb dieses temporären Aufschlusses aus maximal 32 Warven. Seine Basis liegt bei ca. +117 mNN. Das mittlere Mächtigkeitsverhältnis SL/WL, als Quotient der mittleren Mächtigkeiten der Schlufflagen („Sommerlagen“) zu den Tonlagen („Winterlagen“), lag in den zwei ausgezählten Bändertonprofilen bei 1,6 bzw. 2,3. Es belegt eine deutlich höhere Mächtigkeit der „Sommerlagen“ gegenüber den „Winterlagen“. Die mittlere Warvenmächtigkeit des Stauesesedimentes beträgt 21,6 mm. Innerhalb des rhythmisch geschichteten Stauesesedimentes ist eine besonders bei den „Sommerlagen“ auffällige signifikante Abnahme der Warvenmächtigkeit vom Liegenden zum Hangenden erkennbar.

III. Franz-Mehring-Straße 4–8. Innerhalb dieses Aufschlusses (Oberkante bei +123 mNN) bildete der Obere Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton unter der bis 4 m mächtigen Unteren bzw. Delitzscher Bank der Zweiten Saalegrundmoräne die Baugrubenbasis (Bild 7).

Das mit seiner Unterkante bei +119 mNN gelegene rhythmisch geschichtete Stauesesediment ist ca. 1,2 m mächtig und besteht aus 62 Warven. Die mittlere Warvenmächtigkeit beträgt 19,1 mm mit deutlich mächtigeren „Sommerlagen“ gegenüber den „Winterlagen“ (mittlerer Mächtigkeitsquotient SL/WL beträgt 1,8).

IV. Essener Straße/Dübener Landstraße. Im Zuge des Brückenbaus im Bereich der Kreuzung Essener Straße/Dübener Landstraße waren 1995/1996 zahlreiche temporäre Aufschlüsse zugänglich, die den von DALMER u. a. (1882), GRAHMANN und PIETZSCH (1925) und PIETZSCH (1962) beschriebenen „Eutritzscher Bänderton“ als Äquivalent des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons freilegten.

Das rhythmisch geschichtete Stauesesediment ist zwischen zwei Moränen entwickelt und erreicht innerhalb auf dem Top der Ersten Saale-(Drenthe)-Moräne vorhandener lokaler Mulden Mächtigkeiten von mehr als 1 m (Bild 8). Ein in einer derartigen Senke untersuchtes Bändertonprofil, das allerdings die Bändertonbasis nicht erreichte, hatte mehr als 72 zählbare Warven. Die mittlere Warvenmächtigkeit des Stauesesedimentes betrug 12,8 mm, das mittlere Lagenmächtigkeits-Verhältnis SL/WL lag in diesem vermessenen Profil bei 0,9. Der Karbonatgehalt einer in diesem Profil entwickelten „Sommerlage“ wurde mit 18,0% bestimmt.

3.2.2. Mikromorphologie

Dokumentiert ist der mikrotexturelle Aufbau des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons aus dem temporären Aufschluß Landsberger Straße 23. Die Dünnschliffe des rhythmisch geschichteten Stauesesedimentes zeigen einen für glaziale Warven typischen und in Dünnschliffen anderer Vorstoßbändertone (JUNGE und BÖTTGER 1996) vielfach nachgewiesenen charakteristischen Lagenaufbau. Die „Winterlagen“ erweisen sich als deutlich abgetrennte, undifferenzierte, lichtmikroskopisch nicht auflösbare Tonlagen mit einer scharfen Hangend- und einer, aus einem Korngrößengradierungszyklus hervorgehenden, Liegendbegrenzung. Sie besitzen ein auffallendes netzartiges postkryogenes Porensystem als Folge netzartiger Eislinsen-Textur (Bild 9). Demgegenüber sind die „Sommerlagen“ stark differenziert und bestehen aus einer Vielzahl im mm- bis μm -Bereich gradierter Sedimentlagen. Die Endglieder dieser jeweiligen Korngrößengradierungszyklen bestehen häufig aus dünnen, mikroskopisch auflösbaren Schluffen. Die grobkörnigen Lagen bestehen in der Regel aus Feinsanden.

3.2.3. Lagenkonnektierung

Für das elster-I-glaziale Stauesesediment des Dehlitz-Leipziger (Vorstoß-)Bändertons ist eine Konnektierung der Warven innerhalb des Staueseebeckens der Leipziger Tieflandsbucht über eine Distanz von ca. 50 Kilometern nachgewiesen (JUNGE und BÖTTGER 1996, JUNGE 1998).



Bild 6. Auftreten des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons in Leipzig-Gohlis (temporärer Aufschluß Landsberger Straße 23). Deutlich erhöhte Lagenmächtigkeiten („Riesenwarven“) kennzeichnen den Liegendübergang des unter der zweiten Saalegrundmoräne lagernden Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons.

Foto JUNGE 1993.



Bild 7. Auftreten des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons in Leipzig-Gohlis (temporärer Aufschluß Franz-Mehring-Straße 4–8). Innerhalb des Bändertons dieses temporären Aufschlusses waren eine Reihe setzungsbedingter Verwerfungen mit Abschiebebeträgen der Lagen bis zu 10 cm zu beobachten. Einzelne mächtige Schlufflagen („Sommerlagen“) waren ausgezeichnete Leitlagen für die Konnektierung des Stauseesedimentes. Foto JUNGE 1994.

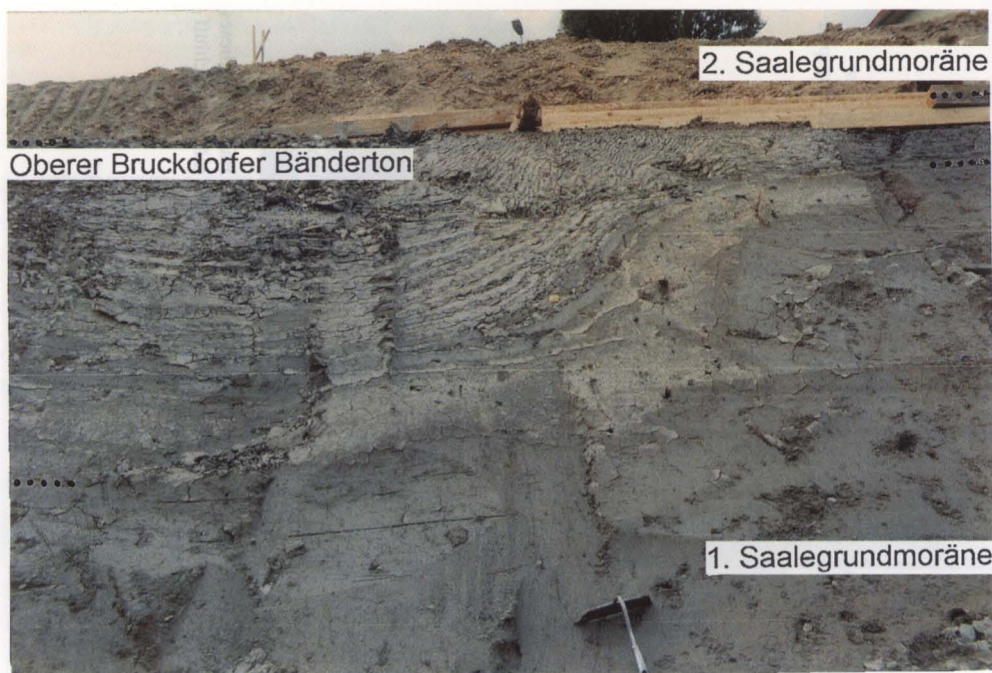


Bild 8. Glazigen gestörter Oberer Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton (Typ „Eutritzscher Bänderton“; gl_2S) in lokaler muldenartiger Eintiefung zwischen Erster (g_1S) und Zweiter (g_2S) Saalegrundmoräne in Leipzig-Eutritzsch (temporärer Aufschluß beim Brückenbau Essener Straße/Dübener Landstraße).
Foto JUNGE 1995.

Für den saaleglazialen Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton sind Versuche der Warvenkonnektierung von BETTENSTAEDT (1934) bekannt. Die Anwendung der auf der Warvenmächtigkeit basierenden Methode von DE GEER (1912) brachte dabei keine befriedigenden Resultate. Hingegen ist unter Anwendung der Methode nach KÜHL (1991), die eine Konnektierung auf der Basis hochpaßgefilterter Mächtigkeitskennwerte beinhaltet, der Nachweis einer Stausee-Situation für den Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton über eine Entfernung von ca. 3 Kilometer möglich. Sie läßt eine Konnektierung der „Winterlagen“ und der „Sommerlagen“ zwischen den temporären Aufschlüssen im nördlichen Stadtgebiet von Leipzig (*Gohlis: Aufschlüsse II und III; Eutritzsch: Aufschluß IV*) zu (Abbn. 2 und 3 in der Beilage).

Der mittlere Trendübereinstimmungskoeffizient ($TüV(s)$), der die mittlere schichtorientierte Übereinstimmung gleichgerichteter Mächtigkeitsänderungen zwischen den Lagen der Profile beschreibt, betrug dabei 0,68 für die „Winterlagen“ und 0,71 für die „Sommerlagen“. Dies heißt, für ca. 70% aller Lagen der Profile ist eine schichtorientierte Übereinstimmung und damit eine Konnektierung gegeben. Besonders hohe Übereinstimmungskoeffizienten weisen bei den „Winterlagen“ die Straten mit den korrelierten Warvennummern 8, 18, 29, 40, 44, 51, 57, 63; bei den „Sommerlagen“ die Straten mit den korrelierten Warvennummern 8, 14, 32, 40, 48, 52, 57, 62 auf. Diese widerspiegeln häufig Mächtigkeitsmaxima.

Nach dem schichtorientierten Trendübereinstimmungskoeffizient ($TüV(s)$) läßt sich der Obere Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton aus dem Stadtgebiet von Leipzig bei insgesamt maximal 88 Warven in mindestens 13 Komplexe gliedern (Komplexe A_{OBru} bis M_{OBru}). Diese sind durch eindeutige Trendwechsel (zunehmende oder abnehmende $TüV(s)$) voneinander abgegrenzt. Im Falle der „Winterlagen“ zeigt jeder der 13 Einzelkomplexe eine gerichtete lineare Zunahme des $TüV(s)$ an, die mit dem Sohlbanktyp klastischer Rhythmite vergleichbar ist. Nur die Basiskom-

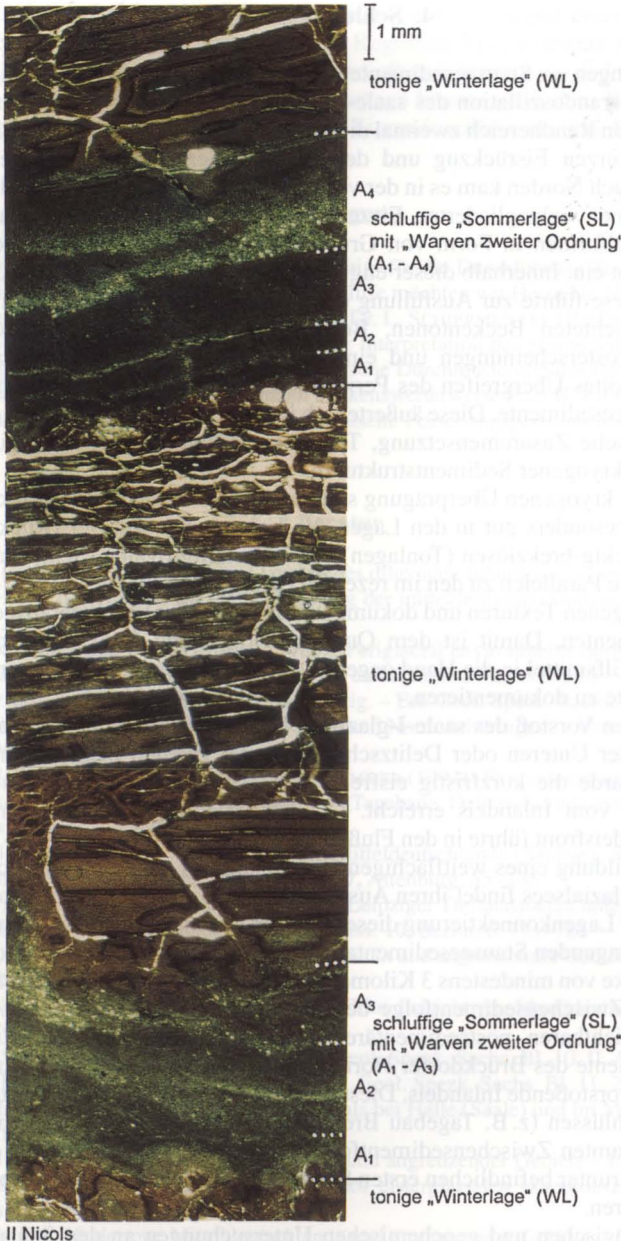


Bild 9. Lagenaufbau des Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bändertons im Dünnschliff. Temporärer Aufschluß Landsberger Straße 23. Die tonigen Winterlagen sind durch eine kryogene netzartige Mikrotextur (Lattice-like or reticulate cryogenic microstructure) gekennzeichnet.

plexe A_{OBRu}, B_{OBRu} und der Komplex G_{OBRu} bilden mit abnehmenden TüV(s) (Dachbanktyp) eine Ausnahme. Bei den „Sommerlagen“ sind die Einzelkomplexe überwiegend durch abnehmende Trends in der Veränderlichkeit der TüV(s) charakterisiert. Letztere sind im Basisbereich besonders deutlich.

4. Schlußfolgerungen

Die Untersuchungen an Stauseesedimenten des Bruckdorfer Horizontes zeigen, daß im Zeitraum der ersten Eisrandoszillation des saale-I-glazialen Inlandeises (Pomßener Intervall) in seinem mitteldeutschen Randbereich zweimal die Möglichkeit der Eisstausee-Bildung gegeben war. Mit dem ersten kurzen Eisrückzug und der damit einhergehenden Verlagerung des aktiven Eisrandes weiter nach Norden kam es in der vom Inlandeis freigegebenen mitteldeutschen Region zur Entstehung einer vielgliederten Eiszerfallslandschaft. Auf Moränenmaterial entwickelte wassererfüllte Hohlformen in Form von Grundmoränenseen und Toteistümpeln nahmen darin einen breiten Raum ein. Innerhalb dieser eng begrenzten Glazialseen kam es zur glazilimnischen Sedimentation. Diese führte zur Ausfüllung der Hohlformen mit Bändertonen, Bänderschluffen und/oder ungeschichteten Beckentonen, Beckenschluffen (Unterer Bruckdorfer Bänderton). Saisonale Bodenfrosterscheinungen und ein häufig in Verbindung mit Verlandungsprozessen stehendes wiederholtes Übergreifen des Permafrostes verursachten eine kryogene Überprägung der abgelagerten Seesedimente. Diese äußerte sich in einer von den Sedimenteigenschaften (Korngröße, mineralogische Zusammensetzung, Tonmineralgehalt u. v. m.) abhängigen charakteristischen Ausbildung kryogener Sedimentstrukturen.

Ausdruck dieser kryogenen Überprägung sind die im Basisbereich des Bruckdorfer Horizontes auftretenden und besonders gut in den Lagen des Unteren Bruckdorfer (Rückzugs-)Bändertons nachgewiesenen eckig-brekziösen (Tonlagen) und linsenartig-ovalen (Schlufflagen) Mikrotexturen. Sie zeigen enge Parallelen zu den im rezenten Permafrostgebiet der Taimyr-Region (Sibirien) beobachteten kryogenen Texturen und dokumentieren damit den Erhalt derartiger Strukturen auch in Paläo-Seesedimenten. Damit ist dem Quartärgeologen und Geokryologen ein zusätzliches mikrotexturales Hilfsmittel in die Hand gegeben, um postsedimentäre, kryogene Überprägungen quartärer Sedimente zu dokumentieren.

Mit dem erneuten Vorstoß des saale-I-glazialen Inlandeises am Ende des Pomßener Intervalls und dem Absatz der Unteren oder Delitzscher Bank der zweiten Saalegrundmoräne im Untersuchungsgebiet wurde die kurzfristig eisfreie, aber noch unter Permafrost stehende Tundrelandschaft wieder vom Inlandeis erreicht. Die wieder wenige Zehnerkilometer nach Süden vorrückende Inlandeisfront führte in den Flußtälern zu einem Aufstau von Fluß- und Schmelzwässern und zur Ausbildung eines weitflächigen Glazialstausees. Die glazilimnische Sedimentation innerhalb dieses Glazialsees findet ihren Ausdruck im Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton. Die Ergebnisse der Lagenkonnectierung dieses Warvits lassen die Schlußfolgerungen der Existenz einer zusammenhängenden Stauseesedimentation zumindest im nördlichen Stadtgebiet von Leipzig über eine Strecke von mindestens 3 Kilometer zu. Mit dem Oberen Bruckdorfer (Vorstoß-)Bänderton findet die Zwischensedimentfolge des Bruckdorfer Horizontes ihren Abschluß. Die im Stauseesediment sichtbaren, postsedimentären Deformationsstrukturen sind Ergebnis der Überfahung der Sedimente des Bruckdorfer Horizontes durch das neuerlich, bis unmittelbar südlich der Stadt Leipzig vorstoßende Inlandeis. Diese Überfahung wird auch dokumentiert durch eine in zahlreichen Aufschlüssen (z. B. Tagebau Breitenfeld; EISSMANN u. a. 1994) nachweisbare Einbeziehung der gesamten Zwischensedimentfolge des Bruckdorfer Horizontes einschließlich des oberen Teils der darunter befindlichen ersten Saalegrundmoräne (Drenthe-Hauptmoräne) in glazigene Faltenstrukturen.

Die sedimentologischen und geochemischen Untersuchungen an den Stauseesedimenten des Bruckdorfer Horizontes belegen, daß der Zeitraum des Pomßener Intervalls durch kaltklimatische Bedingungen charakterisiert war. Hinweise auf interstadiale oder interglaziale Verhältnisse sind nicht vorhanden.

Das Beispiel der Schwankungen des saaleglazialen Inlandeises in seinem mitteldeutschen Randbereich (Pomßener Intervall, Delitzscher Intervall) macht deutlich, daß schnelle und kurzfristige Schwankungen des Eisrandes offensichtlich ein allgemeines Merkmal für den Zeitraum der großflächigen quartären Inlandeiserfallsprozesse sind. Deshalb scheint für die Erklärung mehrfacher glaziärer Überlagerungen von Grundmoränen, die oftmals nur durch Schmelzwasserbildungen getrennt sind, die Annahme zusätzlicher eigenständiger Eiszeiten als nicht notwendig. Viele dieser Moränenüberlagerungen können ohne weiteres auf ein rasches Rückschmelzen des

Inlandeises und auf bis über 100 km weite Wiedervorstöße während eines Eiszeitkomplexes zurückgeführt werden. Die in den verschiedenen Regionen Mitteleuropas (Mitteldeutschland, Norddeutschland, Lausitz, Polen) nachgewiesene und oftmals kontrovers diskutierte unterschiedliche Anzahl von der Saaleiszeit zugeordneten Moränen könnte unter dem Blickwinkel der Annahme kurzzeitiger (auch nur regional verbreiteter) Eisrandoszillationen ihre Erklärung finden.

5. Danksagung

Unser besonderer Dank gilt Frau U. HELMSTEDT (Leipzig) für die Durchführung der vielfältigen laborativen Arbeiten. Für die Herstellung der Bänderton-Dünnschliffe möchten wir Herrn Dr. M. MAGNUS (Freiberg) danken. Den Herren Prof. Dr. L. EISSMANN (Leipzig) und Dr. L. SCHIRRMESTER (Berlin) gebührt unser Dank für viele wertvolle Anregungen und Diskussionen bei der Interpretation der gewonnenen Ergebnisse. Herrn Dr. U. EICHER (Riggisberg) danken wir für die palynologische Durchmusterung des Bändertonmaterials. Die zeichnerische Umsetzung der Abbildungen übernahm dankenswerterweise Frau H. EICHHORN (Leipzig). Die Untersuchungen wurden freundlicherweise durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanziell gefördert (Projekt Ju297/2-1).

6. Literatur

- BETTENSTAEDT, Fr. (1934): Stauseebildung und Vorstoß des diluvialen Inlandeises in seinem Randbereich bei Halle a. S. – Jb. Hallischer Verband für die Erforschung der mitteldeutschen Bodenschätze und ihrer Verwertung **13**, N. F., 241–313
- BOHNKE, S.; J. VANDENBERGHE, A. S. HUIJZER (1993): Periglacial environments during Weichselian Late-Glacial in the Maas valley, the Netherlands. – *Geologie en Mijnbouw* **72**, 193–210
- DALMER, K.; J. HAZARD, A. SAUER (1882): Sektion Leipzig. – *Erl. Geol. Spezk. Sachs. Bl.* 11, I. Aufl.
- EISSMANN, L. (1997): Das quartäre Eiszeitalter in Sachsen und Nordostthüringen. – *Altenbg. nat. wiss. Forsch.* **8**, Altenburg, 1–98
- EISSMANN, L.; M. H. FIELD, TH. LITT, A. RUDOLPH, R. WIMMER (1994): Exkursionspunkt B1/1: Die geologischen Verhältnisse zwischen Leipzig und Bitterfeld (Tagebaue Delitzsch-Südwest und Breitenfeld). – *Altenbg. nat. wiss. Forsch.* **7**, Altenburg, 250–289
- EISSMANN, L. (1994): Grundzüge der Quartärgeologie Mitteldeutschlands (Sachsen, Sachsen-Anhalt, Südbrandenburg, Thüringen). – *Altenbg. nat. wiss. Forsch.* **7**, Altenburg, 55–135
- EISSMANN, L. (1982): Zum Ablauf der Elstereiszeit in der Leipziger Tieflandsbucht unter besonderer Berücksichtigung geschiebeanalytischer Befunde. – *Z. geol. Wiss.* **10**, Berlin, 6, 771–781
- EISSMANN, L. (1975): Das Quartär der Leipziger Tieflandsbucht und angrenzender Gebiete um Saale und Elbe. – *Schriftenreihe Geol. Wiss. Berlin* **2**, 1–263
- EISSMANN, L. (1969): Zum geologischen Alter der Paläolithfundsicht von Markkleeberg südlich Leipzig. – *Geologie* **18**, Berlin, 6, 700–704
- ETZOLD, F. (1907): Section Leipzig-Makranstädt. – *Erl. Geol. Spezk. Sachs. Bl.* 10, II. Aufl.
- GRAHMANN, R.; K. PIETZSCH (1925): Blatt Leipzig. – *Erl. Geol. Spezk. Sachs. Bl.* 11, 2. Aufl.
- GROTH, K. (1961): Beitrag zur Gliederung des Saaleglazials bei Halle (Saale) und im Mansfelder Seekreis. – *Geologie* **10**, Berlin 2, 169–184
- JUNGE, F. W. (1998): Die Bändertone Mitteldeutschlands und angrenzender Gebiete – Ein regionaler Beitrag zur quartären Stausee-Entwicklung im Randbereich des elsterglazialen skandinavischen Inlandeises. – *Altenbg. nat. wiss. Forsch.* **9**, Altenburg, 1–210
- JUNGE, F. W. (1997): Die Bändertone Mitteldeutschlands und angrenzender Gebiete – Ein Beitrag zur quartären Stausee-Entwicklung im Randbereich des elsterglazialen skandinavischen Inlandeises. – *Habilitationsschrift, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Chem.-Geowiss. Fak., Mai 1997*, 336 S.
- JUNGE, F. W.; T. BÖTTGER (1996): Komplexe Untersuchungen zur quartären Stausee-Entwicklung in Mitteldeutschland. – *Isotopenpraxis Environm. Health Stud.* **32**, 4, 363–386
- JUNGE, F. W.; T. BÖTTGER (1994a): Isotope geochemical studies on carbonates of Quaternary glacio-lacustrine lake sediments as indicators of paleoenvironment. – *Isotopenpraxis Environ. Health Stud.* **30**, 9–21
- JUNGE, F. W.; T. BÖTTGER (1994b): Zu den rhythmisch geschichteten glazilimnischen Sedimenten (Bänderton, Bänderschlufl) in der nördlichen Leipziger Tieflandsbucht. – *Altenbg. nat. wiss. Forsch.* **7**, Altenburg, 296–305
- JUNGE, F. W.; M. MAGNUS (1994): Dünnschliffherstellung an gewarnten tonigen Sedimenten am Beispiel der Bändertone aus der Leipziger Tieflandsbucht. – *Der Präparator* **40**, 33–41

- KATASANOV, E. M. (ed.) (1979): Aufbau und absolute Geochronologie der Alas-Ablagerungen Zentral-Jakutiens. – Nauka Novosibirsk, 94 S. [in Russisch]
- KATASANOV, E. M. (1975): Frozen-ground and facial analysis of pleistocene deposits and paleogeography of central Yakutia. – *Biuletyn peryglacjalny*, **24**, Lodz, 33–41
- KATASANOV, E. M. (1967): Features of deposits formed under permafrost conditions. – In: „Arctic and alpine environments“, H. E. WRIGHT Jr., W. H. OSBORN (eds.), Indiana University press, 237–240
- KNOTH, W.; V. MANHENKE (1969): Ein neuer Fundpunkt von Ablagerungen der Holstein-Warmzeit bei Sietzsch östlich Halle (Saale). – *Geologie* **18**, Berlin 6, 714–718
- KRBETSCHKEK, M. R.; W. STOLZ (1994): Lumineszenz-Datierungen an pleistozänen Sedimenten aus Tagebauen des mitteldeutschen und Lausitzer Braunkohlereviere. – *Altenbg. nat. wiss. Forsch.* **7**, Altenburg, 289–295
- KÜHL, A. (1991): Statistisch gestützte Stratifizierung monotoner Karbonatfolgen. – *Die Geowissenschaften* **9**, 3, 79–86
- LEHMANN, H.; R. LEHMANN (1930): Die diluvialen Flußterrassen in der Umgebung von Halle/Saale. – *Leopoldina* **6**, Walther-Festschrift, Leipzig, 233–251
- MANHENKE, V. (1969): Das Tertiär von Hatzfeld. – *Geologie* **18**, Berlin, 10, 1173–1189
- MANHENKE, V.; R. GROSSE (1970): Beitrag zur Kenntnis des Pleistozäns nordwestlich von Leipzig. – *Geologie* **19**, Berlin, 8, 909–930
- MANIA, D.; M. ALTERMANN (1970): Zur Gliederung des Jung- und Mittelpleistozäns im mittleren Saaletal bei Bad Kösen. – *Geologie* **19**, Berlin, 10, 1161–1184
- PICARD, E. (1923): Blatt Zwochau. – *Erl. Geol. K. Preuß. Bl.-Nr.* 2607, I. Aufl.
- PIETZSCH, K. (1962): *Geologie von Sachsen*. – Dtsch. Verl. d. Wiss. Berlin
- RUSKE, R. (1964): Das Pleistozän zwischen Halle (Saale), Bernburg und Dessau. – *Geologie* **13**, Berlin, 5, 570–597
- RUSKE, R. (1961): Gliederung des Pleistozäns im Geiseltal und seiner Umgebung. – *Geologie* **10**, 2, 152–168
- SCHIRRMMEISTER, L. (1998): Die Staubeckenschluffe/-tone im Bereich der Pommerschen Eisrandlage – Zeit- und Milieumarken der jungquartären Entwicklung Brandenburgs (Stoffliche Zusammensetzung, Gefüge, Alter). – unveröff. Abschlußbericht zum DFG-Projekt Nr. 34312, Humboldt-Universität zu Berlin, Geographisches Institut, Berlin, Januar 1998, 118 S.
- SCHULZ, W. (1961): Sedimentpetrographische Untersuchungen im Pleistozän westlich von Halle (Saale). – *Geologie* **10**, Berlin, 1, 30–49
- SIEGERT, C.; A. DEREVYAGIN, G. VANNAHME (1996): Geocryological and paleogeographical studies in the Labaz lake area. – In: D. YU. BOLSHIYANOV, H.-W. HUBBERTEN (eds.) „The Expedition Taymyr 1995“. *Berichte zur Polarforschung* **211**, 28–45
- SIEGERT, L.; W. WEISSERMEL (1911): Das Diluvium zwischen Halle a. S. und Weißenfels. – *Abh. Preuß. Geol. Landesanst., N. F.*, **60**, Berlin
- SIEGERT, L.; R. BÄRTLING (1909): Blatt Merseburg-Ost. – *Erl. Geol. K. Preuß. Bl.* 2680, I. Aufl.
- SPEYER, O. (1882): Blatt Schafstädt. – *Erl. Geol. K. Preuß. Bl.* 2678, I. Aufl.
- STEINMÜLLER, A. (1972): Die jungpleistozäne Schichtenfolge von Kösen-Lengefeld und zur Gliederung der Saaleeiszeit. – *Geologie* **21**, Berlin, 10, 1173–1195
- WEISSERMEL, W.; E. PICARD, W. QUITZOW, B. KÜHN, Br. DAMMER (1909): Blatt Landsberg. – *Erl. Geol. K. Preuß. Bl.* 2533, I. Aufl.
- YERSHOV, E. D.; Yu. P. LEBEDENKO, E. M. CHUVILIN, O. M. YAZYNNIN (1988): Mikroströenie merzlykh porod (Mikrostruktur gefrorener Gesteine). – Moskau, Moskauer Universitätsverlag, 183 S. [in Russisch]
- YERSHOV, E. D.; I. D. DANILOV, V. G. CHEVEREV (1987): Petrografia merzlykh porod (Petrographie gefrorener Gesteine). – Moskau, Moskauer Universitätsverlag, 311 S. [in Russisch]
- YERSHOV, E. D. (1986): *Physikalische Chemie und Mechanik gefrorener Gesteine*. – Moskau, Moskauer Universitätsverlag, 336 S. [in Russisch]

Eingegangen am 10. 12. 1998

PD Dr. habil. Frank W. JUNGE, Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Arbeitsgruppe Paläoklimatologie, Talstraße 35, D-04103 Leipzig, Deutschland
 Dr. Tatjana BÖTTGER, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Arbeitsgruppe Paläoklimatologie, Theodor-Lieser-Straße 4, D-06120 Halle/ Saale, Deutschland
 Dr. Christine SIEGERT, Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Arbeitsgruppe Terrestrische Polarforschung, Telegrafenberg A 43, D-14473 Potsdam, Deutschland