

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	7 (2000), 1/2	S. 21–28	6 Abb., 17 Lit.
----------------------------------	--------------	---------------	----------	-----------------

Postsedimentäre Deformationsbilder in mitteldeutschen Vorstoßbändertonen – Hinweise auf den Bewegungsmechanismus des quartären Inlandeises

FRANK W. JUNGE & LOTHAR EISSMANN

Herrn Diplomgeologen Lothar Lippstreu, Kleinmachnow, zum 60. Geburtstag gewidmet.

1. Einleitung

An der Basis der in Mitteldeutschland vorkommenden saale- und elsterglazialen Moränen treten, weitverbreitet über mehrere hundert Quadratkilometer, glazilimnische rhythmisch geschichtete Sedimente (Bändertone, Bänderschluße) auf. Im Ergebnis der nach Norden gerichteten Flußentwässerung (obsequente Täler) kam es während aller Vorstoßphasen des skandinavischen Inlandeises, die den Fuß der europäischen Mittelgebirge erreichten, zur Aufstauung von Fluß- und Schmelzwässern und damit zum Absatz glazilimnischer Sedimente innerhalb der großen Flußtäler und der angrenzenden Hochflächen. Der wirksame Aufstau- und Sedimentationsprozeß begann in Mitteldeutschland in der Regel ca. 75-100 km nördlich der eigentlichen Mittelgebirge (Thüringer Wald, Vogtland, Erzgebirge, Lausitzer Bergland), und die gebildeten Stauseesedimente, häufig echte Warvite, wurden vom vorrückenden Inlandeis überfahren (JUNGE 1998, JUNGE et al. 1999, 2000).

In den letzten Jahrzehnten durchgeführte umfangreiche geologische Dokumentationen der innerhalb der Braunkohlen-Großtagebaue weiträumig erschlossenen quartären Schichtenfolge Mitteldeutschlands (EISSMANN 1987, 1997, 1999) sowie durchgeführte feinelithologische Untersuchungen von den an der Moränenbasis entwickelten Vorstoßbändertonen (JUNGE 1998) lieferten neben Erkenntnissen zur saisonalen Natur der rhythmischen Schichtung (Warvennatur), zur räumlichen und zeitlichen Entwicklung der Eisstauseen sowie zu den Vorstoßgeschwindigkeiten des Inlandeises in seinem mitteldeutschen Randbereich auch wichtige Indizien zum Bewegungsmechanismus der quartären Inlandeisschilde. Die dabei erzielten Befunde widersprechen den Ergebnissen der „deforming bed theory“, die von verschiedenen Autoren zur Erklärung des Bewegungsmechanismus des quartären Inlandeises herangezogen wird (BOULTON & HINDMARSH 1987, ALLEY 1991, HART & BOULTON 1991, VAN DER MEER 1993).

Die Überlegungen, dass das quartäre Inlandeis auf einer durchfeuchteten deformierten Sedimentunterlage ruhte und ein überwiegend subglazialer Sedimenttransport stattfand, der zu einer weitverbreiteten Deformation der subglazialen unkonsolidierten Sedimente während der pleistozänen Vereisungen führte, sind mit den mitteldeutschen Befunden, die auf einem Studium der Schichten bis 100 m unter dem ehemaligen Inlandeis beru-

hen, nicht vereinbar. Allein die weiträumige Existenz und die Erhaltung dünner Bändertonhorizonte als Ausdruck eines weitgehend undeformierten Untergrundes an der Basis aller saale- und elsterglazialen Moränen in Mitteldeutschland widerspricht diesen Vorstellungen. Auch die für das elsterglaziale Inlandeis in seinem mitteldeutschen Randbereich abgeschätzten hohen Vorstoßgeschwindigkeiten von 600 bis 900 m im Jahr (JUNGE 1998) sprechen für den Bewegungsmechanismus eines basalen Gleitprozesses (basal sliding process). Ebenso lassen die im Übergang Moräne – Bänderton beobachteten Deformationsstrukturen keinen überwiegend subglazial gesteuerten Sedimenttransport der quartären Inlandeisschilde zu.

Letztgenannte Beobachtungen an ausgewählten Beispielen aus den Großtagebauen Mitteldeutschlands sollen im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellt und diskutiert werden. Eine Vielzahl weiterer der „deforming bed theory“ widersprechender geologischer Befunde und Argumente aus dem Verbreitungsgebiet des skandinavischen Inlandeises sind in PIOTROWSKI et al. (1999, 2000) enthalten.

2. Allgemeine Merkmale postsedimentärer Deformationen der Vorstoßbändertone

Postsedimentäre glazigene Deformationsstrukturen, entstanden in Folge der Überfahrung der proglazialen Stauseesedimente durch das vorrückende Inlandeis, sind ein allgemeines Merkmal der im Mittelgebirgsvorland auftretenden Vorstoßbändertone. Sie sind an der Basis der Moränen entwickelt und lagern auf glazigen unbeeinflussten, autochthonen, überwiegend fluviatilen Sedimenten. Im allgemeinen zeichnet sich die Übergangszone zwischen den in der Regel 0,3 bis 1 m mächtigen Bändertonen und den darüberliegenden Moränen durch drei makroskopisch sichtbare Deformationsbilder aus. Innerhalb der großräumigen Aufschlüsse der mitteldeutschen Braunkohlentagebaue wechseln diese Deformationsbilder am Stoß innerhalb kurzer Distanzen. In ein und demselben Aufschluß können nebeneinander die folgenden makroskopischen Übergänge zwischen Bänderton und Moräne beobachtet werden:

1. Der Vorstoßbänderton ist über normaler Warvenschichtung in seinem oberen Drittel chaotisch gestört sowie rupturrell und plastisch deformiert,
2. Der Bänderton ist von der bewegten hangenden Moräne abgeschert und häufig an aufsteigenden Scherfugen in die hangende Moräne disloziert,

3. Die Moräne liegt unmittelbar brettartig und mit messerscharfem Kontakt auf dem ungestörten Rhythmit.

Untersuchungen zur Vorspannung vom Eis überfahrener Sedimente Norddeutschlands (PIOTROWSKI & KRAUS 1997) zeigen, dass nur eine sehr geringe Vorspannung durch die Eisauflast zu verzeichnen ist. Dies sind Hinweise für die Existenz hoher Paläoporenwasserdrücke des subglazialen Untergrundes. Auf Grund des geringen Deformationsgrades der basalen Stauseesedimente ist anzunehmen, dass der ungefrorene Boden unter dem Eis über keine ausreichenden Dränagemöglichkeiten verfügte. Auf Grund dieser Bedingungen wird die totale Spannung durch den Porenwasserdruck ohne oder mit nur eingeschränkter Wirkung auf das Korngerüst aufgenommen (EISSMANN et al. 1989).

3. Der Übergang zwischen Bänderton und hangender Moräne (Beispiel aus dem Tagebau Espenhain bei Leipzig)

Exzellente Einblicke in die bei der Überföhrung der Stauseesedimente durch das Inlandeis stattgefundenen postsedimentären Deformationsprozesse lieferte ein 1999 im Tagebau Espenhain südlich Leipzig aufgeschlossenes Profil. Das im Mittel 10 cm mächtige rhythmisch geschichtete Stauseesediment des ersten elsterglazialen Inlandeisvorstoßes, der Dehlitz-Leipziger Vorstoßbänderton wies in seinem Anschnitt die für das gesamte mitteldeutsche Gebiet typischen Deformationsbilder der Moränenbasis auf. Einen naturgetreuen Ausschnitt dieser, sich aus der normalen rhythmischen Schichtung des Stauseesedimentes entwickelnden Deformationsbilder zeigt Abbildung 1. Diese demonstrieren eine geringe, häufig nur wenige Dezimeter einnehmende Tiefenwirksamkeit der glazigenen Deformation. Sie erreicht im Untersuchungsgebiet in der Regel nur das unmittelbar an der Moränenbasis gelegene rhythmisch geschichtete Stauseesediment.

Der Dehlitz-Leipziger Vorstoßbänderton lagert im Profil auf wenige Zentimeter mächtigen basalen Sanden seiner Stauseerandfazies („Schlepp“) und über präglazialen, kaltklimatisch akkumulierten, hier bis 4,20 m mächtigen feinkiesig bis grobsandigen fluviatilen Sedimenten. Seine unterlagernden Schichten erweisen sich als von der glazigenen Deformation unbeeinflusst. Im vertikalen Aufbau des gestörten Bändertons lassen sich deutlich zwei Zonen unterschiedlicher glazigener Beanspruchung unterscheiden: eine liegende Quetschzone und eine, den unmittelbaren Übergang zur Moräne bildende, hangende Fließzone (Abb. 1, Bild 1):

Die *liegende Quetschzone* geht lateral aus der normalen rhythmischen Schichtung des Bändertons (Abschnitte A und E, Abb. 1) hervor, d.h. der Wechsellagerung von tonigen Winterlagen und schluffigen Sommerlagen (JUNGE 1998). Sie ist durch das gleichzeitige Auftreten von Falten und von Gleitbrüchen charakterisiert. Erstere sind Ausdruck plastischer Deformationen, letztere Ausdruck ruptueller Deformationen. Beide sind entstanden im Ergebnis von horizontalen Bewegungen entlang der Quetschzone im Hangenden begrenzenden Gleitfläche. Diese wird häufig von den feinkörnigeren, tonigen Winterlagen ausgekleidet. Kompressionsvorgänge entlang der Gleitfläche führten innerhalb der Quetschzone

zur Entstehung von liegenden bis überkippten Faltenstrukturen bis hin zu Abscherungen (Abschnitt B, Bild 1). Dehnungsvorgänge (Zug) hingegen verursachten innerhalb der Quetschzone die Entstehung von Bruchschollen und von staffelbruchartigen Schichtversätzen (Abschnitte C und D, Bild 1). Die Überlagerung beider Prozesse findet ihren Ausdruck im direkten Nebeneinander plastischer und ruptueller Deformationsbilder. Dabei ist innerhalb dieser liegenden Zone der glazigenen Beanspruchung der ursprüngliche Schichtverband des Rhythmits noch weitgehend erkennbar und unter Umständen rekonstruierbar. Aus den innerhalb der Quetschzone auftretenden Deformationsbildern sind Aussagen zur Richtung der Inlandeisbewegung möglich.

Die *hangende Fließzone* bildet den oberen Teil des deformierten Stauseesediments im Übergang zur hangenden Moräne. Sie ist oberhalb der Gleitfläche entwickelt und durch ein im allgemeinen chaotisches Gefüge charakterisiert. Innerhalb dieser Fließzone ist der primäre Schichtverband aufgelöst. Fetzen- und fahnenartige, z.T. brekziös erscheinende Reste einzelner Lagen schwimmen, mitunter eingeregelt, in einer mikroskopisch durch Fließtexturen gekennzeichneten Matrix (Abb. 2). Sie verdeutlichen Bewegungsvorgänge in einem quasi flüssigen und fließenden Medium und machen die Existenz druckentlasteter Ton-Wasser-Suspensionen innerhalb der Fließzone hochwahrscheinlich.

Die Einregelung der Komponenten innerhalb der Fließzone des Stauseesedimentes ist weitgehend konstant. Sie weist auf einen richtungsbezogenen Materialtransport innerhalb dieser Zone hin. Die Bewegungsrichtungen stimmten im beobachteten Fall (Bild 1) mit der allgemeinen Nord-Süd-Richtung der Inlandeisbewegung im Untersuchungsgebiet überein. Generell spiegeln sie aber die von der allgemeinen Inlandeisfließrichtung unabhängigen, bei Entlastung wirksamen hydrodynamischen Druckverhältnisse an der Inlandeisbasis wider.

Die Fließzone bestand aus einem zähen breiartigen Substrat mit festen Bändertonstücken und -fetzen. Diese Masse wurde auf Scherflächen in die hangende Moräne eingearbeitet (Abschnitt D, Bild 1). Diese mit Bänderton ausgekleideten Scherflächen sind überall verbreitet und zum Teil hunderte Meter in die Moräne disloziert (Abb. 3). So wurden zum Beispiel von WANSA & WIMMER (1990) im Bereich des Tagebaus Delitzsch-Südwest innerhalb der ersten elsterglazialen Grundmoräne Ost-West und Nordost-Südwest streichende Scherfugen beschrieben, die mit mylonitisiertem Bänderton ausgekleidet waren. Mikroskopisch zeigt sich hierbei ein kontinuierlicher Übergang zwischen Bänderton und Moräne. Er ist gekennzeichnet durch die gemeinsame Anwesenheit von Bänderton- und Moränenmaterial. Letzteres ist mikroskopisch durch zahlreiche kantengerundete, zum Teil scharfkantige Gerölle und Sedimentbruchstücke unterschiedlicher Größe markiert. Diese sind innerhalb der Scherfugen in toniger Bändertonmatrix eingebettet. Allerdings ergibt sich oberhalb der makroskopisch sichtbaren Moränenbasis eine deutliche Abnahme der das Bändertonmaterial der Fließzone im Dünnschliff kennzeichnenden bräunlich-schwarzen, fetzen-, fahnen- und schlierenförmigen Tonrelikte.

4. Weitere Beobachtungen innerhalb der basalen Moränenbereiche

Die basalen Bereiche der Moränen sind, neben den oben beschriebenen mit Bändertonmaterial der Fließzone ausgekleideten, weitgehend diagonal verlaufenden Scherfugen, durch ein weiteres tektonisches Element charakterisiert. Ein bis zwei Meter oberhalb der Moränenbasis ist häufig eine Zone entwickelt, in dem verstärkt horizontale Scherfugen beobachtet werden. Viele dieser, bezogen auf die Moränenbasis subparallel verlaufenden Scherfugen sind geschlossen bzw. lithologisch mit einer feinen Ton-Schluffmatrix belegt. Andere dieser Scherfugen öffnen sich zu lang gestreckten linsenförmigen Körpern, die aneinandergereiht auftreten. Diese innerhalb der Moräne subparallel verlaufenden Linsen sind häufig mit stark klassierten Schmelzwassersedimenten gefüllt (Abb. 4). Sie zeigen eine Entkopplung des Geschehens zwischen dem unterhalb dieser Zone entwickelten liegenden Basisbereich der Moräne und dem darüber befindlichen hangenden Moränenbereich an.

5. Diskussion

Basierend auf den geologischen Befunden einer weiten Verbreitung von undeformierten rhythmisch geschichteten Stauseesedimenten an der Moränenbasis (EISSMANN 1975) wird für den Bewegungsmechanismus des Inlandeises angenommen, dass es auf einem geschlossenen, unter hohen Porenwasserdrücken stehenden quellfähigen, tonigen Schmiermittel über seine Unterlage glitt und sie so weitgehend unversehrt ließ. Dabei bewegte sich kompaktes, spaltenarmes Inlandeis in hohem Maße auf einem Polster oder dünnen Film einer Ton-Wasser-Suspension, die, wie in einer Presse, nicht entweichen konnte (EISSMANN et al. 1985). Diese Annahme eines basalen Gleitprozesses (basal sliding process) wird durch die Beobachtungen dieser Arbeit gestützt.

Bild 1 Postsedimentäre Deformationstrukturen des Vorstoßbändertons im Übergang zur hangenden Moräne des ersten elsterglazialen Inlandeisvorstoßes

Braunkohlentagebau Espenhain südlich Leipzig, Höhe Auenhain, Juli 1999. Zeichnung nach Naturbefund.

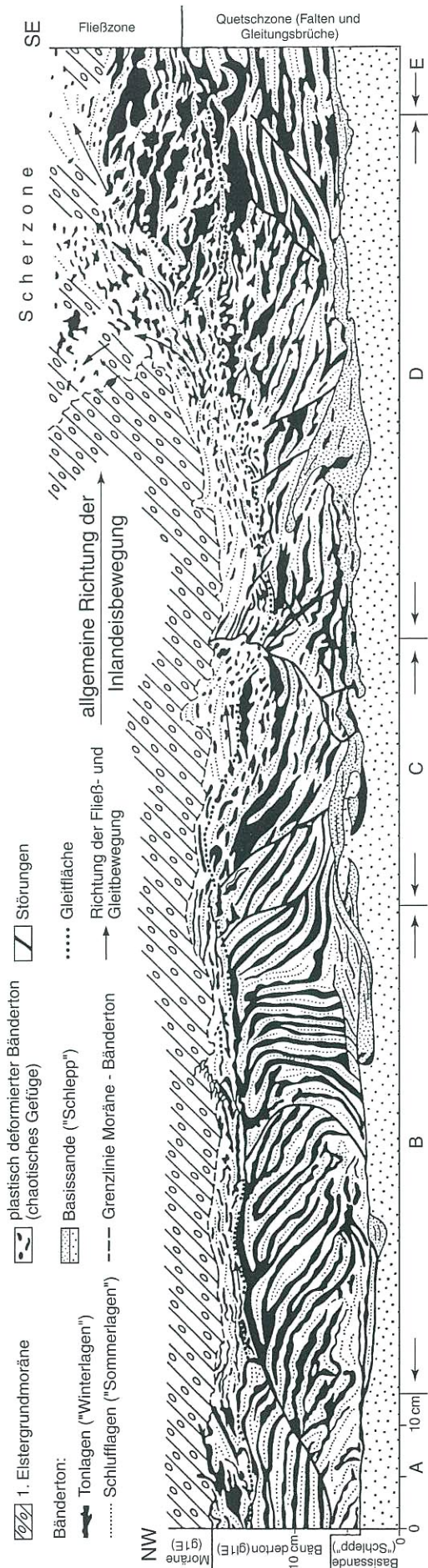
Innerhalb des Stauseesediments (gl₁E) sind deutlich erkennbar die Quetschzone (unten) und die die unmittelbare Basis des hangenden Tills (g₁E) bildende Fließzone.

Abschnitte A und E: Übergangsbereiche zum undeformierten Bänderton mit normaler rhythmischer Schichtung (links); Beginn einer Überschiebungsfläche.

Abschnitt B: Bereich mit überwiegend plastischen Deformationsbildern innerhalb der Quetschzone.

Abschnitte C und D: Bereiche mit deutlichen rupturellen Deformationsbildern (Abschiebungen) innerhalb der Quetschzone. Innerhalb des Abschnittes D liegt der Beginn einer mit Bänderton- und Moränenmaterial gefüllten, aus der Fließzone des Stauseesedimentes sich entwickelnden und bis in die hangende Moräne sich fortsetzenden diagonal verlaufenden Scherfuge.

Deformationsstrukturen des Elster - I - glazialen Dehlitz - Leipziger Bändertons (Tagebau Espenhain)



Die in den Vorstoßbändertonen Mitteldeutschlands beobachteten postsedimentären Deformationsstrukturen zeigen, dass die Bewegung des Inlandeises im wesentlichen auf der hangenden Fließzone des unterlagernden Stauseesedimentes abließ. Dabei diente die sich aus der tonig-feinschluffigen Matrix des Bändertons zusammensetzende Ton-Wasser-Suspension der Fließzone gleichzeitig als Stau- und Schmiermittel. Bei ungestörtem Prozeß des basalen Gleitens, der hydrodynamische Bedingungen eines „quasi geschlossenen subglazialen Systems“ einschloß, war die Migrationsfähigkeit der inkompressiblen Ton-Wasser-Suspension z.B. durch Fehlen von druckentlastenden Spalten oder offenen Rissen eingeschränkt bzw. verhindert. In diesem Fall „schwamm“ die Gletscherbasis auf dieser unter hohem Druck stehenden Ton-Wasser-Suspension und ließ ihre Auflage weitestgehend ungestört. Glazifluidale Deformationen z.B. in Folge gerichteter Fließbewegungen in druckentlastete Bereiche fanden dabei bevorzugt innerhalb der hangenden Fließzone des Bändertons statt. Darüber hinaus reagierte je nach den herrschenden Druckverhältnissen der ungestörte Schichtverband der darunterliegenden Quetschzone plastisch (Kompression), rupturrell (Dehnung) oder blieb von einer Deformation unbeeinflusst. Diese bei ungestörtem basalem Gleiten stattfindenden Vorgänge an der Inlandeisbasis erklären einerseits das beobachtete unmittelbare Nebeneinander von ungestörten, normal rhythmisch geschichteten

und plastisch und/oder rupturrell gestörten Bändertonbereichen innerhalb der liegenden Quetschzone des Stauseesedimentes (siehe Abb. 1). Andererseits wird damit verständlich, dass die Deformationen nur in den oberen Bereichen des Bändertons auftreten und oftmals sogar über normaler, ungestörter rhythmischer Schichtung (Warvenschichtung) des Stauseesedimentes zu finden sind (erster Beobachtungsfall: Bild 1).

Durch die Bildung eines hydrodynamisch „quasi offenen subglazialen Systems“ wird der ungestörte Prozeß des basalen Gleitens an der Inlandeisbasis unterbrochen. Dies kann zum Beispiel durch das Auftreten und die Entstehung von bis zur Basis reichenden Spalten innerhalb des Inlandeiskörpers verursacht werden. Dabei kommt es zur Druckentlastung der bei „geschlossenem subglazialen System“ gespannten Ton-Wasser-Suspension und zu einer impulsartigen Bewegung derselben in druckentlastete Zonen. In der Folge strömte die Ton-Wasser-Suspension der Fließzone mit entsprechend hoher Geschwindigkeit in die hangenden, geöffneten Bereiche. Diese Bewegungsbahnen werden widergespiegelt durch die beschriebenen mit Bändertonmaterial ausgekleideten und diagonal von der Moränenbasis ausgehenden Scherfugen. Dabei werden die beschriebenen glazifluidalen Deformationen innerhalb der Fließ- und Quetschzone des Bändertons verstärkt.



Abb. 1

Zwischen der älteren (unteren) Elstergrundmoräne und frühelsterzeitlichen Schwemm- und Fließerden freigelegter Dehlitz-Leipziger Vorstoßbänderton.

Tagebau Espenhain. Foto: BAUMANN, 1978.

Der Normalfall der glazifluidalen Deformation des Stauseesedimentes. Oben: Die intensiv mylonitisierte Fließzone messerscharf auf völlig ungestört erhaltenem Bänderton (Quetschzone). Man beachte die nur 20 cm starke Beanspruchungszone des Untergrundes durch mehr als 500 m mächtiges Inlandeis. Die Abfolge spiegelt die im Text beschriebenen Bedingungen eines „quasi geschlossenen“ hydrodynamischen Systems wider.

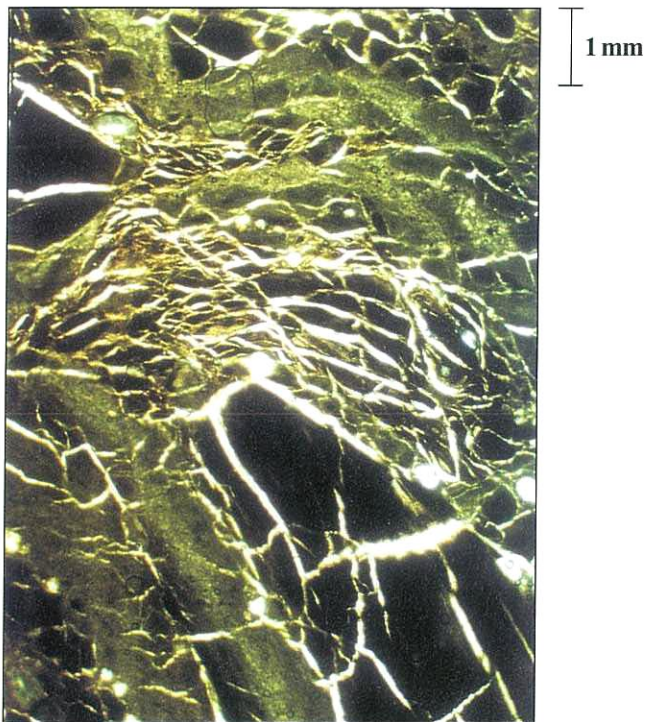


Abb. 2

Fluidale Mikrostrukturen von in einer Schluffmatrix eingeregelteten, brekzienartigen Bänderton-Relikten innerhalb der hangenden Fließzone des Stauseesedimentes als Ausdruck glazifluidaler Deformationsprozesse an der Moränenbasis. Dehlitz-Leipziger Vorstoßbänderton im Stadtgebiet von Leipzig, temporärer Aufschluß Burgstraße, April 1994, Dünnschliff, parallele Nicols, Vergrößerung 10-fach.

Bei sich bewegender Eisbasis kommt es als weitere Folge, gleichzeitig mit der stattfindenden Druckentlastung und Migration der Ton-Wasser-Suspension in die hangenden Bereiche, zu einem Aufsetzen der Eisbasis auf den Untergrund und zur Möglichkeit seiner aktiven glazigenen Erosion. Die in den Aufschlüssen zum Teil zu beobachtenden Abscherungen des liegenden Stauseesedimentes sind die Folge (zweiter Beobachtungsfall: Abb. 5). Diese Abscherungen erreichen nur eine geringe Tiefenwirkung, da sie zeitlich kurzlebig sind und die Eisbasis im Zuge abnehmender Schubkräfte und zunehmender Reibung nach kurzen Schüben häufig stationär verharrte.

Bei stationärem Verhalten der Eisbasis erfolgte deren unmittelbares Aufsetzen, ohne stattfindende glazigene Erosion, auf den nicht in die Fließzone einbezogenen unteren Teil des Bändertons. Sind die Lagen dieser liegenden Quetschzone des Bändertons beim ungestörten Prozeß des basalen Gleitens nicht plastisch und/oder rupturrell deformiert worden, d.h. die normale Warvenschichtung ist in diesem Bereich erhalten, so ergeben sich messerscharfe Kontakte zwischen dem quasi ungestörten Bänderton und der Eisbasis. Ausdruck dieser Prozesse sind die im Aufschluß beobachteten Bilder einer Auflage der Moräne auf ungestörtem Warvit (dritter Beobachtungsfall: Abb. 3).

Der Wechsel „quasi geschlossener“ bzw. „quasi offener“ hydrodynamischer Verhältnisse an der Inlandeisbasis während des Bewegungsprozesses ist Ursache für die Entstehung und für das auf kurzer Distanz gleichzeitige Auftreten der unterschiedlichen postsedimentären Deformationserscheinungen der liegenden Stauseesedimente. Die Deformationsbilder zeigen, dass bei ungestörtem basalem Gleitprozeß („quasi ge-

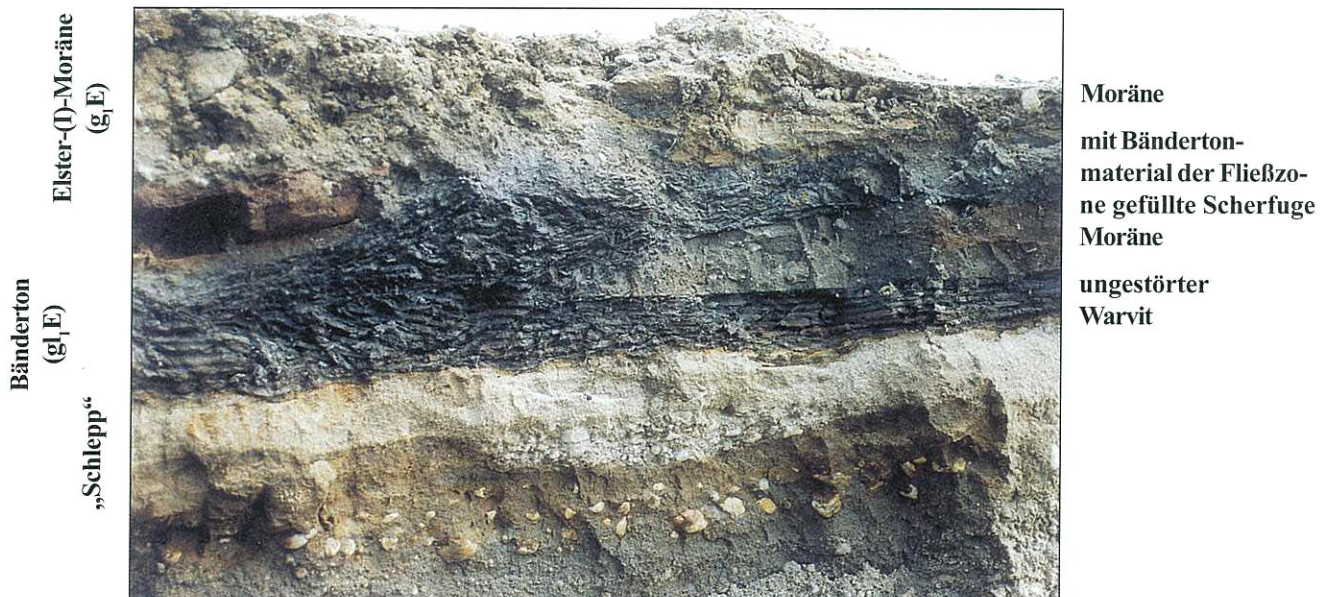


Abb. 3

Fortsetzung der Fließzone des Bändertons in Form einer in die hangende Elstermoräne hineinreichenden Scherfuge und Aufsetzen der Moräne auf dem ungestörten liegenden Bereich des Warvits.

Tagebau Espenhain, südlich der Ortslage Auenhain. Foto: JUNGE, Juli 1999.

Der Bildausschnitt beträgt ca. 1 m. Die Aufnahme widerspiegelt die Vorgänge der Deformation an der Eisbasis bei Vorhandensein eines „quasi offenen“ hydrodynamischen subglazialen Systems. Migration der Ton-Wasser-Suspension in druckentlastete Bereiche (Bildmitte) und Aufsetzen der Eisbasis auf den Untergrund (rechte Bildhälfte). Das Liegende des Bändertons, die hellen Sande der Stauseerandfazies mit der liegenden Geröllanreicherungszone bleiben von diesen Vorgängen unberührt.

schlossenes“ hydrodynamisches System) die Bewegung an der unmittelbaren Eisbasis auf der inkompressiblen Ton-Wasser-Suspension der Fließzone ablief. Glazifluidale Deformationserscheinungen innerhalb der Fließzone waren die Folge. Mitunter wurden auch die liegenden Bereiche des basalen Stauseesedimentes (Quetschzone) von diesen Prozessen beeinflusst.

Der gestörte basale Gleitprozeß („quasi offenes“ hydrodynamisches System) rief an der Eisbasis entweder Abscherprozesse oder ein ungestörtes Aufsetzen der Eisbasis auf das unterlagernde Sediment hervor. Die eigentliche Eisbewegung wurde dabei von der unmittelbaren Inlandeisbasis in höhere Bereiche verlagert. Die wiederholt beobachteten subparallel zur Basis verlaufenden, geschlossenen oder offenen Scherzonen innerhalb hangender Moränenbereiche sind Ausdruck dieser Bewegungsverlagerung. Besonders die in diesen Abschnitten auftretenden, zum Teil mehrere Meter Länge erreichenden, mit Schmelzwassersedimenten gefüllten, aneinander gereihten und z.T. auch jüngere Erosionsrinnen enthaltende linsenförmige Körper weisen dabei auf einen Entkopplungsprozess zwischen dem Hangenden und der zum Teil stationäre Eisbasis hin (Abb. 4).

Die beschriebenen Wechsel in den hydrodynamischen Bedingungen des subglazialen Systems während der Eisbewegung werden auch durch die Untersuchungen von PIOTROWSKI & KRAUS (1997) gestützt. Sie zeigen, dass das subglaziale System während der weichselglazialen Vereisung Nordwestdeutschlands durch ein inselartiges Auftreten von Deformationsbereichen („deforming spots“) charakterisiert wird, die ein Mosaik von stabilen und deformierten Bereichen bilden.

Der Wechsel im hydrodynamischen System an der Inlandeisbasis zwischen „quasi geschlossenen“ und „quasi offenen“ Bedingungen wurde möglicherweise durch das im Eiskörper vorhandene Spaltensystem gesteuert. Die Abwesenheit von bis zur Basis reichenden Spalten wie auch die Schließung derselben durch Gefrierprozesse im Eiskörper führten zum Aufbau „quasi geschlossener“ hydrodynamischer Bedingungen im Eis-Bänderton-Kontakt und begünstigten einen ungehinderten basalen Gleitprozeß. Sie charakterisieren die stabilen Bereiche des subglazialen Untergrundes. Kam es zur Bildung von offenen Rissen in der Gletscherbasis, führte dies zur Entstehung „quasi offener“ hydrodynamischer Verhältnisse im subglazialen Milieu. Die hochgespannte Ton-Wasser-Suspension konnte partiell dorthin entweichen. Teile des



Abb. 4

Mit Schmelzwassersanden gefüllte langgestreckte linsenförmige Körper im unteren Teil der Moräne des ersten elsterglazialen Inlandeisvorstoßes, Tagebau Delitzsch-Südwest. Foto: JUNGE, Juni 1998.

Neben den diagonal verlaufenden, von der Moränenbasis ausgehenden und mit Bändertonmaterial ausgekleideten Scherfugen sind im mittleren Teil der Moräne zahlreiche, bezüglich der Moränenbasis subparallel-horizontale verlaufende, mit Schmelzwassersanden gefüllte langgestreckte Linsen entwickelt. Sie zeigen eine Verlagerung der Bewegung in hangende Bereiche des Eiskörpers im Ergebnis eines gestörten basalen Gleitprozesses („quasi offenes“ hydrodynamisches System) an. An der Moränenbasis im Übergang zu den liegenden frühelsterzeitlichen fluvialen Sanden ist nur eine dünne Bändertonlage entwickelt.

**Elster-(I)-Moräne
(gl₁E)**

**Bänderton
(gl₁E)**

„Schlepp“



Abb. 5

Abscherung und Bildung von Harnischflächen des Böhlener Bändertons durch die Moräne des ersten saaleglazialen Inlandeisvorstoßes.

Tagebau Schleenhain. Foto: WOYCİK, 1992.

Man beachte die Unversehrtheit der Sedimente unterhalb des Bändertons (Rippelzone!).

Gletschers setzten auf den Bänderton unmittelbar auf und deformierten ihn bei der Bewegung. Damit waren punktuell Abscherprozesse der liegenden Sedimente gegeben, andererseits bei stationärem Aufsetzen der Eisbasis die Entstehung der beobachteten Auflage von Moräne auf ungestörtem Warvit möglich. Bei der weiteren Eisexpansion blieben schuttreiche Basispartien des Gletschers liegen. Sie schirmten fortan den Bänderton gegen weitere direkte Beanspruchung ab. Der Hauptfließvorgang verlagerte sich während dieser Phasen in höhere, schuttarme Bereiche des Inlandeiskörpers. Die in den Moränen zahlreich vorhandenen, flachen bis mittelsteilen, subparallel zur Moränenbasis verlaufenden und zum Teil mehrere Dekameter langen Scherfugen (EISSMANN et. al. 1985) sind Ausdruck dieser Bewegungsprozesse eines brettartigen, starren Übereinandergleitens von Eis und Moränen-Massen.

Zusammenfassung

Die an der Basis der elster- und saaleeiszeitlichen Moränen in Mitteldeutschland weit verbreiteten rhythmisch geschichteten Stauseesedimente (Bändertone) zeigen in ihrem Hangendübergang drei Typusmerkmale postsedimentärer Deformationen, die im Aufschluß lateral eng nebeneinander auftreten können:

1. Der Vorstoßbänderton ist über normaler Warvenschichtung in seinem oberen Drittel chaotisch gestört sowie rapturell und plastisch deformiert;

2. Der Bänderton ist von der bewegten hangenden Moräne abgeschernt und häufig auf aufsteigenden Scherfugen in die hangende Moräne disloziert;
3. Die Moräne liegt unmittelbar brettartig und mit messerscharfem Kontakt auf dem ungestörten Rhythmit.

Makroskopische Befunde und mikromorphologische Untersuchungen im Übergangsbereich zwischen Bänderton und hangender Moräne deuten auf Bewegungsvorgänge im quasiflüssigen Zustand hin, wie dies für unter Druck stehende Ton-Wasser-Suspensionen typisch ist. Sie belegen eine überwiegend glazifluidal gesteuerte Entstehung und eine nur geringe Tiefenwirkung der beobachteten Deformation des Untergrundes im Zuge der Inlandeisbewegung. Damit wird die Gletscherbewegung hauptsächlich durch den Prozeß des basalen Gleitens reflektiert, der einen überwiegend inglazialen Sedimenttransport impliziert. Ein weitreichender subglazialer Sedimenttransport in einer durchfeuchteten, deformierten Sedimentunterlage mit zum Teil intensiven und tiefreichenden glazigenen Liegenddeformationen wird als Hauptbewegungsprozeß des skandinavischen Inlandeises abgelehnt und scheint nur von untergeordneter Bedeutung zu sein.

Summary

In central Germany wide-spread rhythmically bedded ice-dammed lake sediments (varved clays) are covered by Elsterian and Saalian tills. Along the contact, three groups of features

including post-sedimentary deformations occur. All these features are closely interrelated and can change over short lateral distances. They are:

1. plastic deformations, brittle and chaotic textures at the top of the clays overlying undisturbed rhythmic bedding;
2. slices of varved clay up-thrusted and sheared into the till and shear zones occasionally filled with varved clay sediment, and
3. razor-blade sharp contacts between the undeformed varved clay and the till.

Field observations and micromorphological investigations of the contact zone between varved clays and overlying tills indicate presence of subglacial high-pressure, clay-water suspension. This shows that the observed deformation features are mainly caused by glaciofluidal processes of low penetration depth under the overriding ice sheet. The ice sheet movement mechanism was basal sliding, which implicates an englacial sediment transport. The theory of widespread subglacial sediment transport within the deforming bed and pervasive deformations of the bed material is not supported by geological observations in central Germany. Bed deformation could not have been the main movement mechanism of the Scandinavian ice sheet overriding soft sediments in the central European lowland.

Danksagung

Frau H. Eichhorn (Leipzig) gilt unser großer Dank für die zeichnerische Umsetzung der Naturbefunde. Herrn Prof. Dr. J. A. Piotrowski (Aarhus) möchten wir für Anregungen und Diskussionen während gemeinsamer Geländebegehungen danken. Herrn PD Dr. U. Giese (Halle) danken wir für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Literatur

- ALLEY, R. B. (1991): Deforming-bed origin for southern Laurentide till sheets?. – *J. Glaciol.* **37**, 125, S. 67-76
- BOULTON, G. S. & R. C. A. HINDMARSH (1987): Sediment deformation beneath glaciers - rheology and geological consequences. – *J. Geophys. Res.* **92**, B9, S. 9059-9082
- EISSMANN, L. (1975): Das Quartär der Leipziger Tieflandsbucht und angrenzender Gebiete um Saale und Elbe. – *Schriftenreihe Geol. Wiss.* **2**, S. 1-263, Berlin
- EISSMANN, L. (1987): Lagerungsstörungen im Lockergebirge - exogene und endogene Tektonik im Lockergebirge des nördlichen Mitteleuropas. – *Geophys. Veröff. d. KMU Leipzig*, Berlin **III**, 4, S. 7-77
- EISSMANN, L. (1997): Das quartäre Eiszeitalter in Sachsen und Nordostthüringen. – *Altenbg. nat. wiss. Forsch.* **8**, 98 S., Altenburg
- EISSMANN, L. (2000): Die Erde hat Gedächtnis – 50 Millionen Jahre im Spiegel mitteldeutscher Tagebaue. – 1. Aufl., 143 S., Beucha (Sax)
- EISSMANN, L., PRIESE O., & E. RICHTER (1985): Die Geologie des Naherholungsgebietes Kulkwitz-Miltitz bei Markranstädt – ein Leitprofil des Quartärs und Periglaziärs in Sachsen. – *Abh. Ber. naturkd. Mus. Mauritium* **1**, S. 217-248, Altenburg
- EISSMANN, L., LEHMANN U., & H. SCHEFFLER (1989): Notwendigkeit der Beachtung der Vorspannung bei der Bestimmung der dränierten Scherbruchfestigkeit bindiger Lockergesteine. – *Neue Bergbautechnik* **19**, 3, S. 93-96
- HART, J. & G. S. BOULTON (1991): The interrelation of glaciotectionic and glaciodepositional processes within the glacial environment. – *Quaternary Science Reviews* **10**, S. 335-350
- 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**, S. 3-210, Altenburg
- JUNGE, F. W., BÖTTGER, T. & CHR. SIEGERT (1999): Die Stauseesedimente des Bruckdorfer Horizontes – Ergebnis der Eisrandoszillation des saaleglazialen skandinavischen Inlandeises in Mitteldeutschland. – *Mauritiana* **17**, 2, S. 257-276, Altenburg
- JUNGE, F. W., KÜHL, A. & A. WOLF (2000): Geologisch-sedimentologische Untersuchungen am Bänderschluft von Hainichen (Sachsen) - erste Ergebnisse. – *Brandenburg. Geowiss. Beitr.* **7**, 1, S. 137-150, Kleinmachnow
- MEER, VAN DER (1993): Microscopic evidence of subglacial deformation. – *Quaternary Science Reviews* **12**, S. 553-587
- PIOTROWSKI, J. A. & A. M. KRAUS (1997): Response of sediment to ice-sheet loading in northwestern Germany - effective stresses and glacier-bed stability. – *Journal of Glaciology* **43**, 145, S. 495-502
- PIOTROWSKI, J. A., MICKELSON D. M., TULACZYK S., KRZYSZKOWSKI D. & F. W. JUNGE (1999): Scepticism about widespread deforming subglacial beds under past ice sheets. – In: *Book of Abstracts, XV. International Congress of INQUA*, 3.-11.8.1999 in Durban (Südafrika). – S. 142-143
- PIOTROWSKI, J. A., MICKELSON D. M., TULACZYK S., KRZYSZKOWSKI D., & F. W. JUNGE (2000): Were deforming subglacial beds beneath past ice sheets really widespread?. – *Quaternary International* (im Druck)
- WANSA, ST. & R. WIMMER (1990): Geologie des Jungpleistozäns der Becken von Gröbern und Grabschütz. – In: EISSMANN, L. (Hrsg.): *Die Eemwarmzeit und die frühe Weichselkaltzeit im Saale-Elbe-Gebiet – Geologie, Paläontologie, Palökologie*. – *Altenbg. nat. wiss. Forsch.* **5**, S. 49-91, Altenburg

Anschrift der Autoren:

PD Dr. Frank W. Junge
Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Arbeitsgruppe Paläoklimatologie
Talstraße 35
D-04103 Leipzig

Prof. Dr. Lothar Eissmann
Fockestraße 1
D-04275 Leipzig