Mauritiana (Altenburg) **16** (1996) 1, S. 1–14

Der „Lissaer Eiskeil": Prototyp einer Eiskeilpseudomorphose und eines geologischen Grabenbruchs

Mit 11 Abbildungen

LOTHAR EISSMANN und ROLAND WIMMER

„Was einem angehört wird man nicht los und wenn man es wegwürfe."

GOETHE, Wilhelm Meisters Wanderjahre

Zusammenfassung: Nach einer kurzen Darstellung der Genese rezenter Eiskeile mit der Wiedergabe von zwei typischen Eiskeilen Sibiriens wird über verschiedene Aufschlußsituationen im Verlaufe eines halben Jahrzehnts eine markante Eiskeilpseudomorphose aus dem ehemaligen Braunkohlentagebau Delitzsch-Südwest beschrieben und anhand einer Bildauswahl vorgestellt. Die Bilder zeigen in plastischer Weise die Abwandlungen der inneren Keilfüllung und ihres Futterals, eines kryotektonischen Grabenbruchs senkrecht und parallel zur Struktur. Der Grabenbruch kann als kleinmaßstäbliches, natürliches Modell für die geologischen Gräben der oberen Erdkruste gelten. Die mitteldeutschen Frostspalten waren meist eisgefüllt, sind überwiegend epigenetischer Entstehung, haben als Eiskeile über ihre gesamte Tiefe existiert und spiegeln die Mindestmächtigkeit der Permafrostschicht wider.

Schlüsselwörter: Mitteldeutschland, typische Eiskeilpseudomorphosen, Saaleeiszeit, Beispiele rezenter Eiskeile Sibiriens.
Key words: Central Germany, typical ice wedge casts, Saalian glacial stage (= Rissian or Illinoian glacial stage), examples of recent ice wedges of Siberia.

Im Dezember 1995 erschien als farbiges Titelbild von Heft 18 des News Bulletin of the International Permafrost Association, „Frozen Ground", eine Froststruktur, die rund ein halbes Jahrzehnt an der westlichen Kopfböschung des inzwischen stillgelegten Braunkohlentagebaues Delitzsch-Südwest freigelegt war. Im Kreis der Eingeweihten ist diese Struktur, eine Eiskeilpseudomorphose, die Ausfüllung eines ehemaligen Eiskeils mit Lockersedimenten, als „Lissaer Eiskeil" bekannt geworden. 1994 zierte er bereits die Einbandrückseite von Heft 7 der „Altenburger Naturwissenschaftlichen Forschungen", und 1995 erschien er gedruckt auch in „Glacial Deposits in North-East Europe". Wie einst der Kamenzer „Zwieback", ein sächsischer Gletscherschliff, in mindestens 10 Lehrbüchern als Prototyp eines Rundhöckers wiedergegeben wurde, hat der „Lissaer Eiskeil" die Chance, als Prototyp einer mitteleuropäischen quartärzeitlichen Eiskeilpseudomorphose in die Literatur einzugehen.

Die 1984 in der „klassischen Quartärfolge Mitteldeutschlands", die der Braunkohlentagebau Delitzsch-Südwest rund 20 Jahre lang erschloß, entdeckte und im Rahmen der Rekultivierungsmaßnahmen 1988 wieder verschüttete Struktur ist im Laufe der Zeit von einigen hundert Interessenten besichtigt, skizziert und fotografiert worden. Doch nie kam es zu einer ausführlichen Beschreibung und Vorstellung. Das soll hier nachgeholt werden, wobei durch die großzügige Unterstützung der Museumsleitung der Schwerpunkt auf die Wiedergabe fotografischer Dokumentationen gelegt werden konnte.

Rezente Eiskeile

Die Bildung der gegenwärtigen Eiskeile auf der Erde ist auf Gebiete ständiger Gefrornis des Bodens (Permafrost) begrenzt. Wie jeder feste Körper zieht sich auch Eis bei Abkühlung unter den Gefrierpunkt zusammen. Auf ein Meter Länge kann sich bei Abkühlung auf −20 °C im eisreichen Boden ein Riß von rund 1 mm Breite bilden. Der Initialriß beginnt an der Erdoberfläche und reicht bis in eine Tiefe von etwa 3 bis 4 m. Das eindringende Wasser (z. T. auch als Wasserdampf) erstarrt zu Eis, das in der Auftauzone später wieder schmilzt.

Der Spalt reißt jährlich, besonders bei Temperaturstürzen, an der gleichen (Schwäche-) Stelle wieder auf, nicht selten mit einem lauten Knall. Aus einem (dünnen) Eisblech entwickelt sich so im Laufe vieler Jahre ein auch in die Tiefe zu wachsender Eiskeil. In der Regel verbinden sich die Eiskeile zu polygonalen Mustern von einigen Metern bis um 50 und mehr Metern Durchmesser. In den heutigen Permafrostgebieten der Erde erreichen sie oben eine Breite von ein bis mehrere Meter. Aus Sibirien sind Eiskeile von 40 bis 50 m Breite und 30 und mehr Metern Tiefe bekannt. Gegenwärtig bilden und erweitern sich Eiskeile nur in Gebieten mit Jahresmitteltemperaturen von −6 bis −8 °C und darunter. Diese Temperaturen sind auch für die während der quartären Kaltzeiten entstandenen Eiskeile Mitteleuropas anzunehmen. Die Abb. 1 und 2 zeigen „lebende" Eiskeile, die durch Rutschungen und Fließvorgänge am linken Oberhang des unteren Aldans freigelegt worden sind und im Jahre 1982 auf der Sibirienexkursion anläßlich der INQUA-Tagung in Moskau vorgestellt wurden. Man beachte die tatsächliche Keilform der nahezu senkrecht angeschnittenen „Mauern" aus reinem Eis, die beim Wachsen der Keile entstandene (bei Eiskeilpseudomorphosen meist wieder verlorengegangene, oft sogar überkompensierte) Aufkrempelung der angrenzenden gefrorenen Feinsand-Schluff-Schichten mit schichtparallelen reineren Eislagen (hell bzw. lichtreflektierend), die auch in den mitteldeutschen Aufschlüssen oft beobachtete enge Nachbarschaft und „Zweiwurzeligkeit" der Keile (Abb. 1) und schließlich die in humosen, feinkörnigen Schichten sehr geringe Mächtigkeit der sommerlichen Auftauschicht (Abb. 2), die die lichte (!) sibirische Baumvegetation aus Fichte, Lärche, Kiefer und Birke und die oft dichte Kraut- und Moosschicht trägt.

Schichtenverband

Der bekannt gewordene „Lissaer Eiskeil" wurde im Abstand von rund 2 m von einer kleineren und im Abstand von ca. 20 m von einer in der Dimension ihm nahekommenden weiteren Frostspalte begleitet. Die beiden ersten verband eine zusammenhängende Bruchschollenfolge mit einem ausgeprägten Horst im Mittelfeld. Alle drei Strukturen sind in der Bildfolge erfaßt (Abb. 3−9).

Im Braunkohlentagebau Delitzsch-SW besteht die quartäre bzw. eiszeitliche Schichtensequenz in der Regel aus weichseleiszeitlichem Sandlöß, meist zwei saaleeiszeitlichen Grundmoränen (Tills), frühsaaleeiszeitlichen Flußschottern der Mulde und Weißen Elster (Hauptterrasse), einer, selten zwei elstereiszeitlichen Grundmoränen (Tills) und frühelstereiszeitlichen Flußschottern der Saale und Mulde. Unter und zwischen den Grundmoränen sind Bändertone entwickelt, unter der älteren Saalegrundmoräne der Böhlener, unter der älteren Elstergrundmoräne der Dehlitz-Leipziger Bänderton.

Im Bereich des „Lissaer Eiskeils" und seiner beiden Trabanten ist die Elstergrundmoräne erodiert. Merkwürdigerweise blieb nur ein Äquivalent des Dehlitz-Leipziger Bändertons erhalten, eine in einem Spezialbecken abgelagerte Wechselfolge aus Feinsand, Schluff und Braunkohlengrus. Darunter folgen unmittelbar die frühelstereiszeitlichen Flußschotter der Saale und Mulde (Abb. 3).

Die frühsaaleeiszeitlichen Schotter (Hauptterrasse) führen einen Eldorado an kaltzeitlichen Marken: Eiskeile in drei bis fünf Generationen übereinander und Tiefen von durchschnittlich zwei bis fünf, maximal von 12 m, Würgeböden, Tropfenböden und isolierte, von Eisschollen transportierte Blöcke von Gesteinen des südlichen Einzugsgebietes (meist

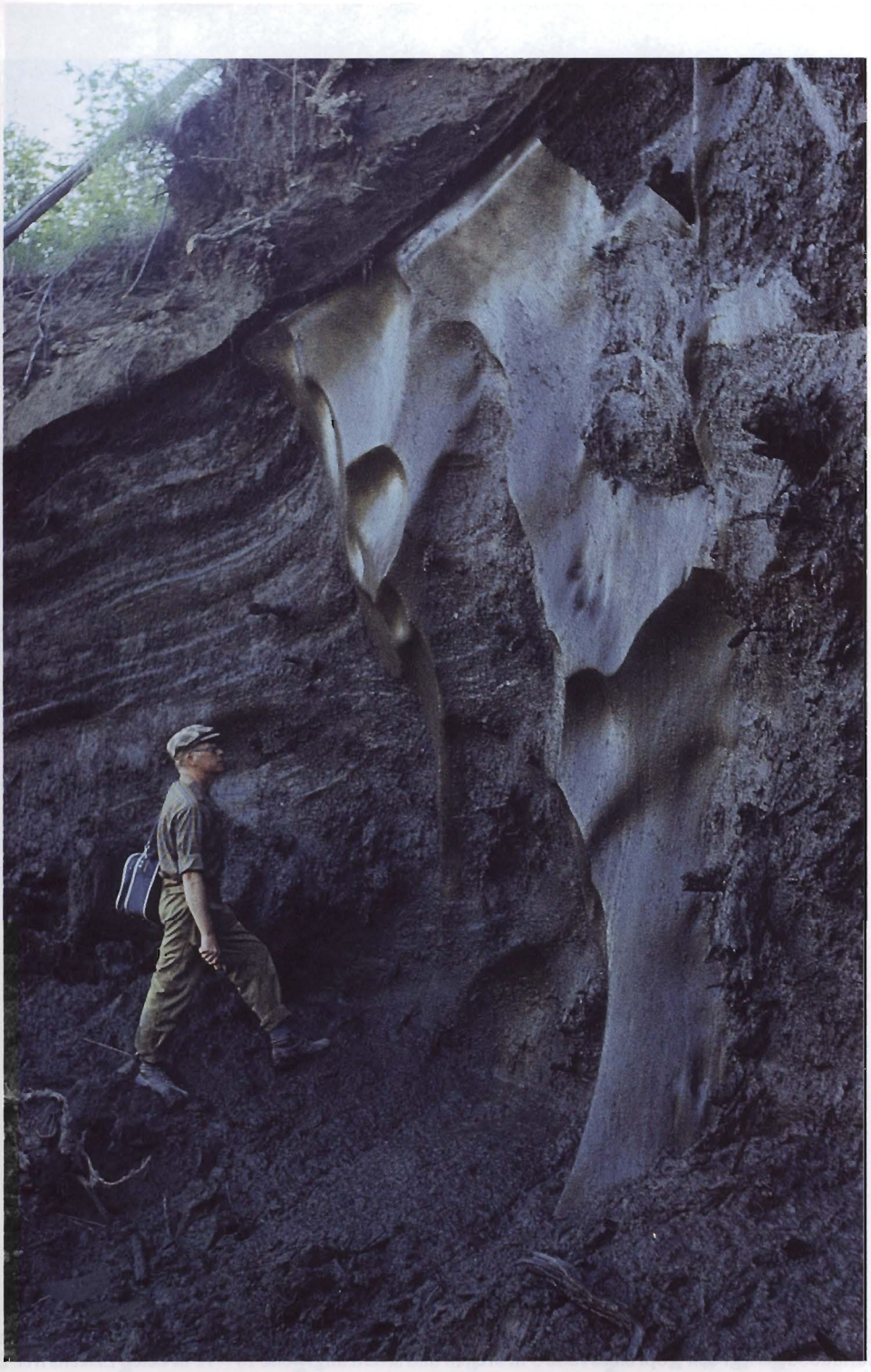

Abb. 1. Zweiwurzeliger rezenter Eiskeil mit randlich aufgepreßtem, dünne Eisbänder führendem Wirtsgestein. Im Bild der Geomorphologe und Sibirienforscher Dr. T. CZUDEK, Brno. Linker Talhang des Aldans, Sibirien (Jakutien)

Abb. 2. Eine mit Fließvorgängen kombinierte Rutschung des rund 1 m mächtigen, die Taiga tragenden Auftaubodens legt den Kopf eines rund 3 m breiten und schätzungsweise 10–12 m tiefen Eiskeils frei. Er ist ein Teil des an Massiveis reichen sog. Eiskomplexes, d. h. der oberen zwei bis drei Dekameter des im Aufschlußgebiet bis 250 m mächtigen Dauerfrostbodens. Oberer linker Talhang des Aldans, Sibirien (Jakutien)

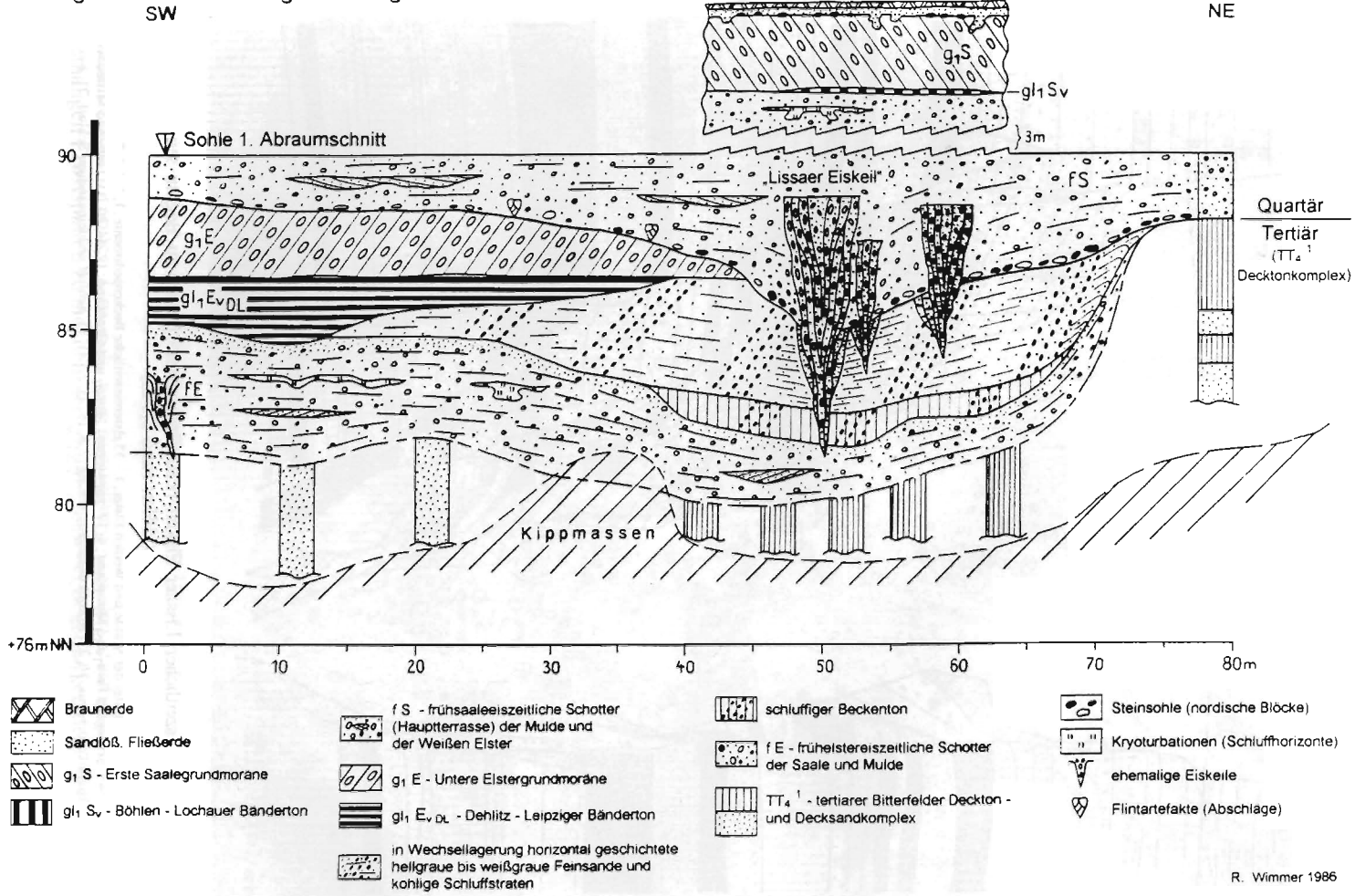

Abb. 3. Geologische Abfolge im Bereich des „Lissaer Eiskeils" (Eiskeilpseudomorphose) und zweier benachbarter ehemaliger Eiskeile. Braunkohlentagebau Delitzsch-SW

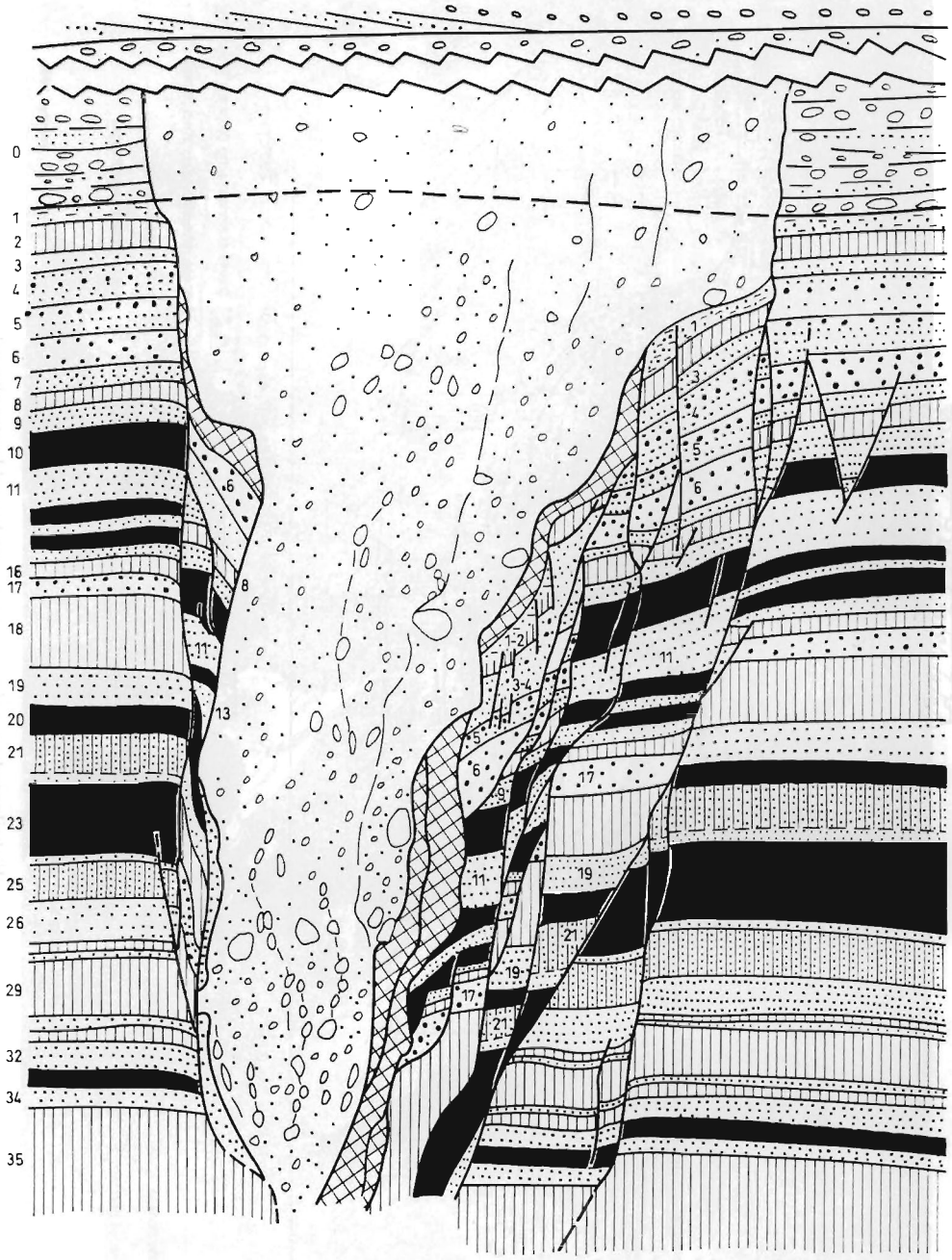

Abb. 4. Frühsaaleeiszeitlicher Lissaer Eiskeil (Eiskeilpseudomorphose) zu Beginn seiner Freilegung (Höhe: rund 2,0 m)

0 — Frühsaaleeiszeitlicher Schotter der Mulde und Weißen Elster, 1 — 35 elstereiszeitliche Beckensedimente; 1, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 19, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34: vorwiegend Fein- und Mittelsand; 6, 17: vorwiegend Mittel- und Grobsand; 12, 14, 20, 33: Fein- und Mittelsand mit hohem Anteil an Braunkohlengrus; 10, 23: Braunkohlengrus, sandig; 2, 8, 16, 25, 27, 31, 35: Schluff und feinsandiger Schluff; 21: Feinsand bis Schluff

Abb. 5. Lissaer Eiskeil wie Abb. 4

Granulite und Granite). Um sich eine Vorstellung von der Häufigkeit bzw. Dichte der ehemaligen Frostspalten zu machen, sei erwähnt, daß bei Begehungen der 2 bis 3 km langen Abbauwände der benachbarten Tagebaue Breitenfeld und Delitzsch an manchen Tagen mehr als 200 beobachtet werden konnten. Mehrfach war zu sehen, daß sie im Grundriß Polygone bilden mit Durchmessern von rund 5 bis 50 m.

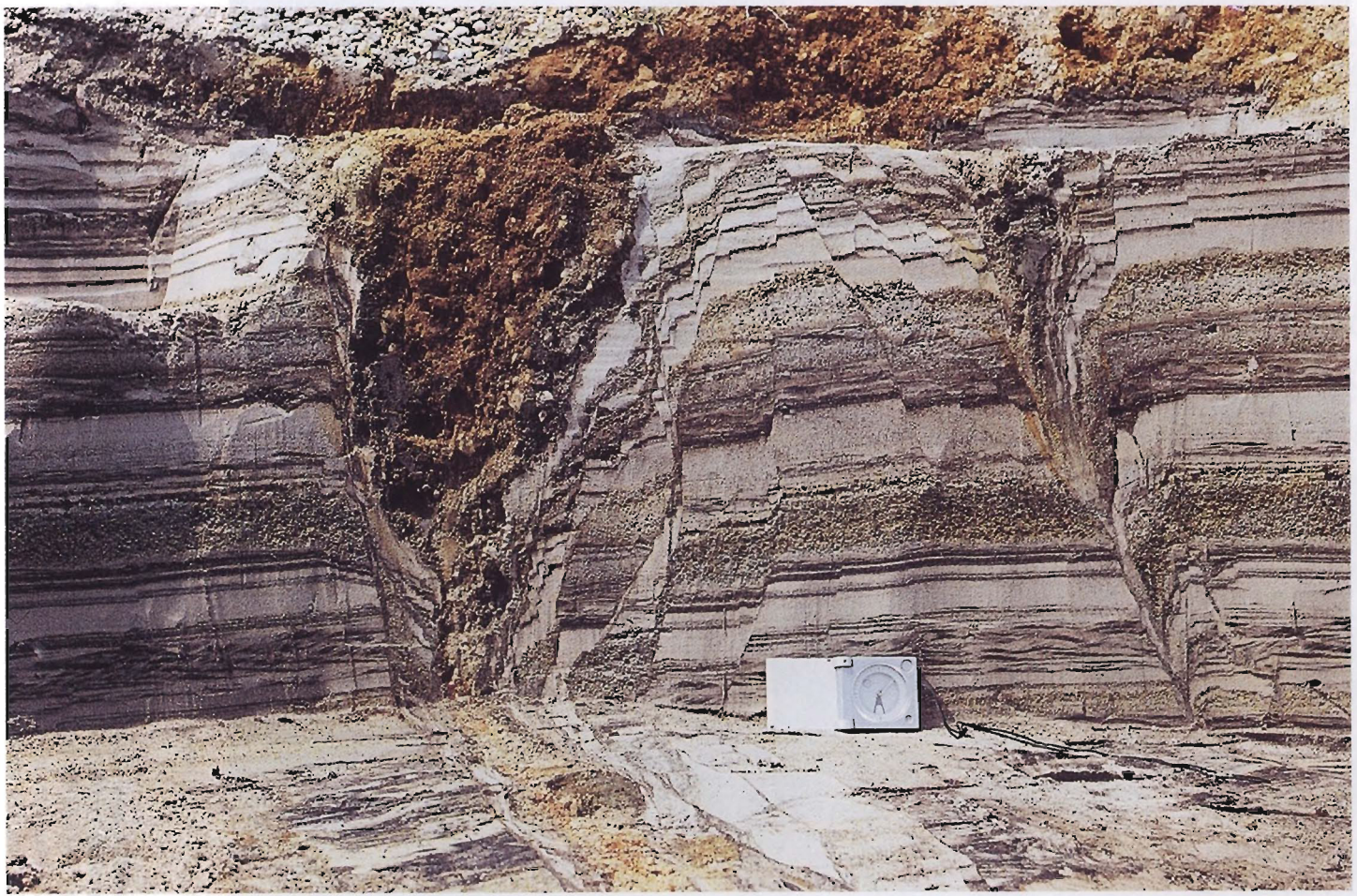

Abb. 6. Der Lissaer Eiskeil und sein (nördlicher) Trabant. Die von ihnen ausgehenden Staffelbrüche tangieren sich. Aufschlußstand 1984/85

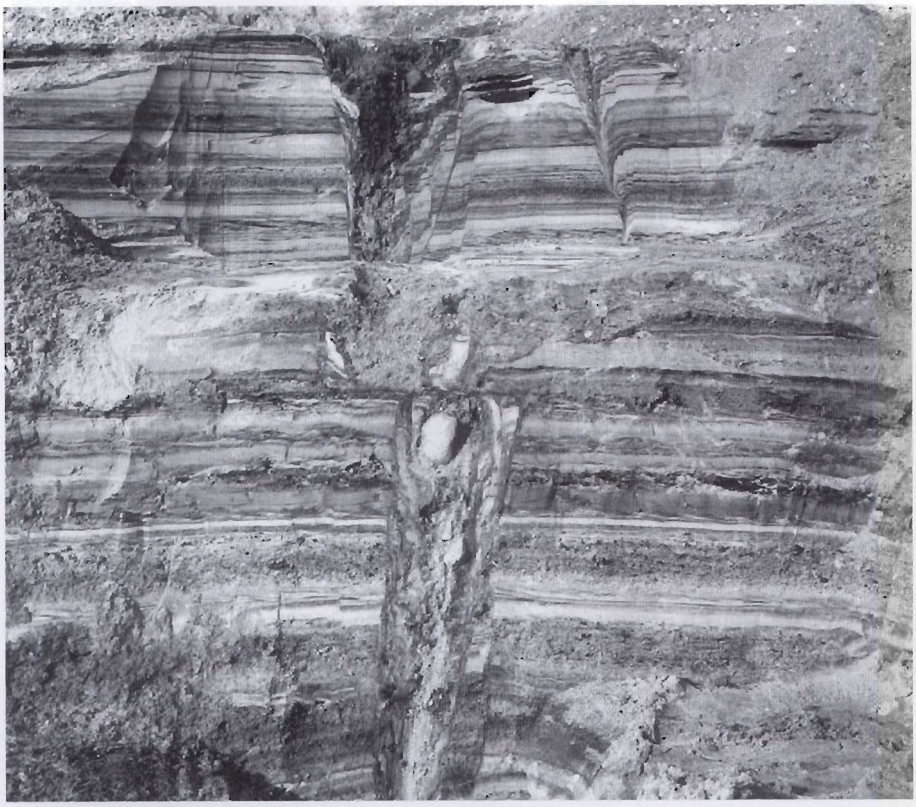

Abb. 7. Der Lissaer Eiskeil in zwei vertikalen Anschnitten (1984/85)

Der Aufbau des Lissaer Eiskeils und seiner Begleiter

Auch der Lissaer Eiskeil beginnt inmitten der Schotter der Hauptterrasse, ca. 3 bis 5 m über der Basis, durchbricht rund 3 m elstereiszeitliche Beckensedimente und endet mit seiner Spitze in den Schottern der Frühelsterterrasse (Abb. 3). Die beiden begleitenden Frostspalten enden noch in den Beckenablagerungen.

Der Lissaer Eiskeil besaß damit eine Mindesttiefe von rund 5 bis 7 m. Sein Streichen betrug 298°, verlief also etwa NW – SE.

Im inneren Aufbau stimmten alle drei Keile weitgehend überein. Vom ungestörten Wirtsgestein werden sie von einer Art „Futteral" aus staffelförmig nachgebrochenen Schollen getrennt. Während diese Staffelbrüche beim unmittelbaren Nachbarn des Lissaer Eiskeils nahezu symmetrisch beiderseits des Kerns entwickelt sind (Abb. 6, 8), wird der Lissaer Eiskeil zumindest im Bereich der Beckensedimente auf der Nordseite (rechts in den Abbildungen) von mehreren, auf der südlichen Seite oft nur von einer Bruchscholle begleitet. Zwischen den Schollen liegt ein unsortiertes Haufwerk an nachgesackten Sanden und Kiesen der Hauptterrasse mit größeren Blöcken, vereinzelt bis zu 30 cm Durchmesser. Es ist der Kern der Spalte. Das die Spalte ursprünglich füllende Eis ist von oben und den Wangen oder Flanken her geschmolzen. Als die entsprechenden Reibungs- bzw. Bruchwinkel der angrenzenden Lockergesteine überschritten waren, löste sich mehr oder minder flankenparallel eine erste Scholle. Mit der Wanderung der Schmelzfront erweiterte sich der Bruch staffelförmig nach außen, wobei die einzelnen in Richtung des schrumpfenden Eiskörpers abgleitenden Schollen die angrenzenden älteren, inneren Schollenpakete mitnahmen und immer tiefer dislozierten. Bei diesem Vorgang wurden

Abb. 8. In das „Futteral" eines fast symmetrisch gebauten kryotektonischen Grabens eingeschlossener Kern der Nachbarstruktur des Lissaer Eiskeils (vgl. Abb. 6). Aufschlußstand 1988

gelegentlich auch ältere von jüngeren Schollen überholt, so daß jene eine Art Zwischenhorst bildeten. Häufig zu beobachten waren auf größeren Bruchflächen hängengebliebene Scherben, eine Art Scherlinge, tiefer abgesenkter Schichtfolgen. Im Grundriß dieser Grabenstrukturen war zu sehen, daß eiskeilparallele Hauptstörungen ältere Dislokationen mit spitzem Winkel schnitten, was zu dem oben genannten Überholungseffekt mit der Zwischenhorstbildung führte.

Noch während der Grabenbildung sackte über dem schrumpfenden Eis das unsortierte Sand-Kies-Gemisch nach, den Kern der Eiskeilpseudomorphose bildend. Die Asymmetrie vor allem des „kryotektonisch" geprägten Futterals der fossilen Eiskeile macht deutlich, daß der laterale Schmelzprozeß des Eises offenbar sehr ungleichmäßig ablief, in einzelnen Abschnitten zeitweise vielleicht ganz stagnierte, so daß die nachgerutschten unsortierten Lockermassen unmittelbar am ungestörten Wirtsgestein zu liegen kamen. Die ursprüngliche Breite der Eisfüllung ist auf $^1/_2$ bis $^3/_4$ Meter zu veranschlagen.

Wenn auf Exkursionen gelegentlich die Vermutung geäußert wurde, daß es sich bei den mitteldeutschen Frostspalten eher um Sandkeile als um Nachfolgeformen echter Eiskeile handelt, so widerlegen das zumindest solche Strukturen wie der Lissaer Eiskeil schlaglichtartig. Sandkeile entwickeln sich ebenfalls aus Kontraktionsrissen bei starker Bodenabkühlung, doch werden diese Risse mehr oder minder rasch von eingewehtem Sand gefüllt. Bei nur mm-breiten offenen Rissen ist die Entwicklung der häufig beobachteten lateralen Bruch-

Abb. 9. Ein ca. 20 m nördlich des Lissaer Eiskeils dreidimensional erschlossener ehemaliger Eiskeil (vgl. Abb. 3)

strukturen undenkbar. Nicht möglich ist auch ein mehrere Dezimeter breites Nachsacken der Hangenden, den Kern der Spalte bildenden Bodenmassen. Schließlich könnten keine Steine von Durchmessern bis 30 cm viele Meter in der Struktur abgesunken sein. Die Größe der Blöcke ist das Mindestmaß für die gleichzeitige Breite der Spaltenöffnung. Für die Tatsache der ehemaligen Eisfüllung der meisten mitteldeutschen Frostspalten spricht schließlich die sehr oft gemachte Beobachtung, daß die Keilfüllung symmetrisch aufgebaut ist, etwa Schluff (außen), Kies, Sand, Bruchmassen, Sand, Kies, Schluff (außen). Das macht deutlich, daß ein

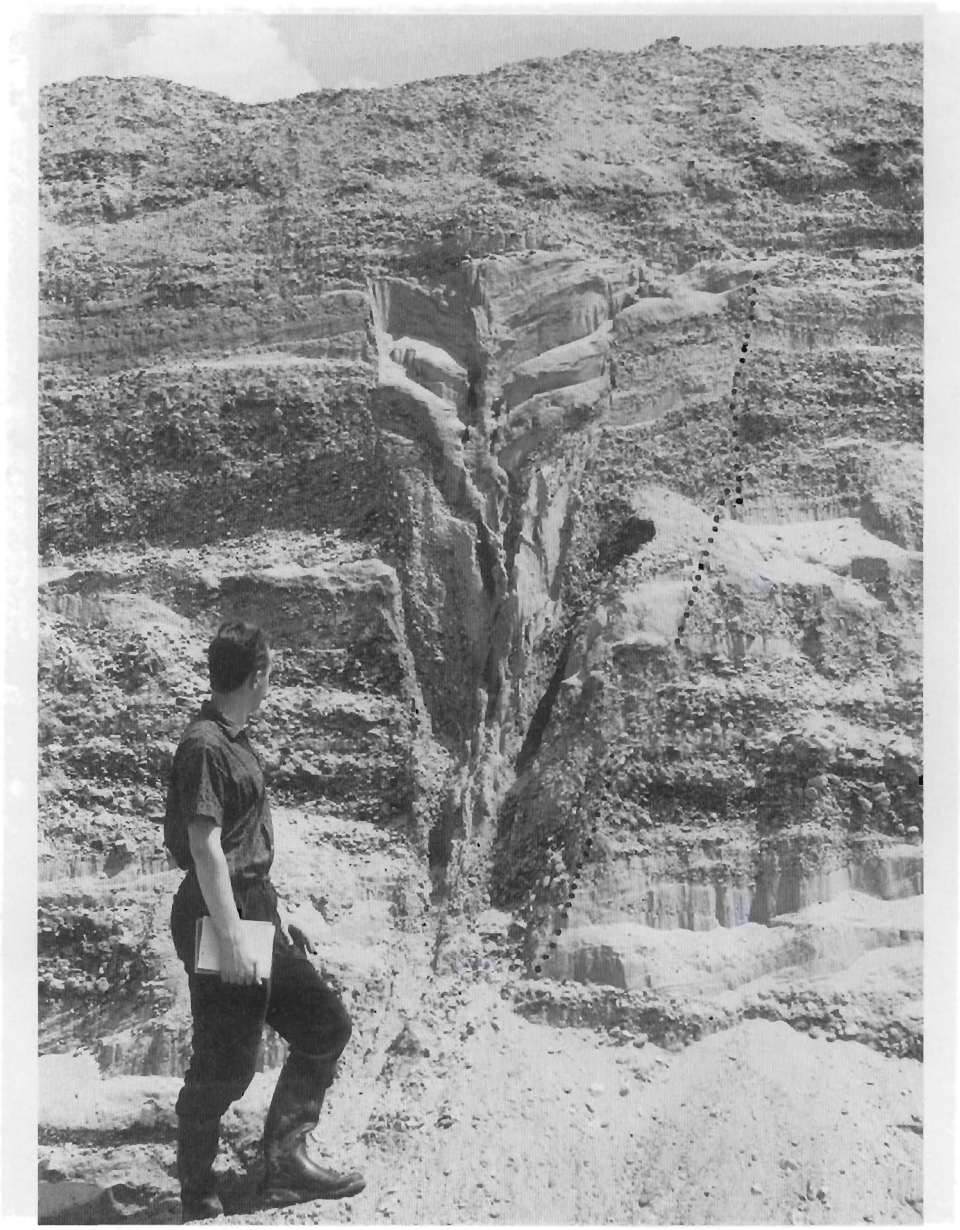

Abb. 10. Eiskeilpseudomorphose in den frühsaaleeiszeitlichen Schottern (Hauptterrasse) der Saale. So ähnlich hat man sich den „Lissaer Eiskeil" und seine Begleiter nach oben zu in den Schottern der Mulde-Weißelster-Hauptterrasse vorzustellen. Man beachte die fluviatile Kappung der Struktur, den Beleg der intraformationellen Entstehung in der Hauptterrassenzeit. Kiesgrube Lochau, August 1967

Abb. 11. Gäste aus dem In- und Ausland studieren die großzügig erschlossenen Froststrukturen Mitteldeutschlands. In der Mitte der russische Geokryologe Profoessor E. M. KATASONOV (1922–1988) aus Jakutsk, rechts Frau Dr. E. PIETRZENIUK (Berlin), links Seniorautor. Braunkohlentagebau Delitzsch-SW, 1987

Medium die Spalte verschloß, das von oben und den Seiten her allmählich schwand und sukzessiv von Lockergestein unterschiedlicher Körnung ersetzt wurde. Dafür kommt nur Eis in Betracht.

Häufig ist die Frage gestellt worden, ob es sich bei den mitteldeutschen Eiskeilen um syngenetische oder epigenetische Strukturen handelt. Syngenetische wären mit der Sedimentakkumulation nach oben gewachsen, wobei möglicherweise der untere Teil des Eiskeils bereits wieder abschmolz.

Epigenetische Eiskeile wachsen von einem mehr oder minder konstanten Niveau aus in die Tiefe und Breite. Der Lissaer Eiskeil und viele andere ähnliche Strukturen in Mitteldeutschland sind Beweise für den epigenetischen Typ. Sie durchbrechen verschiedenalte Ablagerungen, zwischen denen eine volle Warmzeit liegt, z. B. den unteren Teil der frühsaaleeiszeitlichen Hauptterrasse, die Elstergrundmoräne oder elstereiszeitliche Beckensedimente und die frühelstereiszeitliche Schotterterrasse. Hätten sich die Eiskeile von der zuletzt genannten Schotterterrasse allmählich nach oben gearbeitet, wäre dieser Prozeß in der zwischen den elstereiszeitlichen Ablagerungen und der frühsaaleeiszeitlichen Schotterplatte liegenden Holsteinwarmzeit beendet worden und der Eiskeil wäre ausgeschmolzen. Daß an der gleichen Stelle mit gleicher Orientierung wieder ein Eiskeil entsteht, ist ganz unwahrscheinlich. Die Eiskeile sind also offenbar allmählich in die Tiefe gewachsen und haben sehr wahrscheinlich über ihre ganz vertikale Erstreckung gleichzeitig existiert. Nur die oberen Bereiche der Pseudomorphosen sind vielfach erosiv gekappt. Ihre auf uns gekommene Tiefe ist also vielfach nur ein Mindestwert, damit auch ein Mindestwert für die Mächtigkeit der Dauerfrostschicht während ihrer Bildung.

Literaturauswahl

EISSMANN, L.: Periglaziäre Prozesse und Permafroststrukturen aus sechs Kaltzeiten des Quartärs. – Altenburger Naturwiss. Forsch., **1,** 171 S.; Altenburg 1981

EISSMANN, L.: Tagungs- und Exkursionsbericht INQUA Kongreß Moskau 1982. – Manuskript, 17 S., Archiv Mauritianum Altenburg

EISMANN, L. und T. LITT (Hrsgb.): Das Quartär Mitteldeutschlands. Ein Leitfaden und Exkursionsführer. Mit einer Übersicht über das Präquartär des Saale-Elbe-Gebietes. – Altenburger Naturwiss. Forsch., **7,** 458 S.; Altenburg 1994

EHLERS, J.; S. KOZARSKI und P. L. GIBBARD: Glacial Deposits in North-East Europe. – 626 S.; A. A. Balkema Publishers, Rotterdam 1995

FRENCH, H. M.: The Periclacial Environment. – 309 S.; Longman, London and New York 1976

FROZEN GROUND. – The News Bulletin of the International Permafrost Association, **18;** Hanover, New Hampshire, USA, 1995

PÉWÉ, T. L.: Features of Past Permafrost in the Leipzig Basin, Germany. – Frozen Ground, **18,** S. 3; Hanover, New Hampshire, 1995

WASHBURN, A. L.: Geocryology. – Edward Arnold, 406 S., London 1979

WEISE, O. R.: Das Periglazial. Geomorphologie und Klima in gletscherfreien, kalten Regionen. – Gebr. Borntraeger, 199 S., Berlin, Stuttgart 1983

Eingegangen am 11. 4. 1996

Prof. Dr. LOTHAR EISSMANN, Universität Leipzig, Institut für Geophysik und Geologie, Abt. Geologie, Talstraße 35, D-04103 Leipzig

Dipl.-Ing. ROLAND WIMMER, Paul-Schiebel-Straße 38a, D-06809 Roitzsch