

H. Rohdenburg

Giessen

## EISKEILHORIZONTE IN SÜDNIEDERSÄCHSISCHEN UND NORDHESSISCHEN LÖSSPROFILEN

### Abstract

After a detailed stratigraphical classification of the periods of the Würm glaciation in some North-Hessian and Lower Saxon loess profiles the stratigraphical position of the numerous loess wedges was investigated. They are thought to be fossil ice wedges. There were indications of two ice wedge generations in the Middle-Würm and five in the Young-Würm. A regular alternation of periods of loess drift together with ice wedge development and warm periods during which the ice wedges were filled up and soils formed more or less was apparent. Also the phenomenon of seasonal frost action could be located in the latter period. From this may be deduced a frequent formation and degradation of permafrost during „climatic waves of the second order”.

Ice wedges found in the neighbourhood seem to prove that also during the Early-Würm (two generations of ice wedges) and in the Young Dryas permafrost was developed.

### EINLEITUNG

Seit den dreissiger Jahren werden die in unseren Lössprofilen auftretenden „Löss- oder Lehmkeile“ als Eiskeil-Pseudomorphosen angesehen und zugleich als Dauerfrostboden-Indikatoren anerkannt. Ihre Verbreitung in Mitteleuropa wurde mehrfach kartographisch festgehalten und zu paläoklimatischen Schlussfolgerungen ausgewertet.

Hingegen blieb es bei der Datierung von Eiskeilen bei Ansätzen; sie wurden in der Regel für würmzeitlich gehalten — eine durchaus befriedigende Alterseinstufung, solange die Würmkaltzeit für ungegliedert gelten konnte.

Infolge der stürmischen Fortschritte der Lössforschung, vor allem im letzten Jahrzehnt, durch die jetzt ein für ganz Mitteleuropa gültiges stratigraphisches Gerüst zur Verfügung steht (vgl. die Übersicht bei Haase, 1963), war es möglich zu beweisen, dass es im Würm verschiedenaltige Eiskeile gibt. Die m. W. erste Darstellung dieser Art stammt von Selzer (1936), weitere von Schönhals (1951), Brunnacker (1957, Abb. 11), Frechen u. Rosauer (1959), Ruske u. Wünsche (1964). Auch H. Brüning (frdl. mdl. Mitt., Mai 1963) entdeckte mehrere würmzeitliche Eiskeilhorizonte.

Eine nähere Einordnung, wie sie hier aus Südniedersachsen und Nordhessen vorgelegt wird, war allerdings erst nach einer feinstratigraphischen

Gliederung der Lössprofile möglich, die in den Jahren 1961—1964 ausgearbeitet wurde<sup>1</sup>. Diese Gliederung wird an anderer Stelle ausführlich dargestellt, in kürzerer Fassung ist sie in Schönhals, Rohdenburg u. Semmel (1964) enthalten; hier genügt deshalb ein kurzer Überblick anhand des Sammelprofils (Fig. 9).

Das letzte Interglazial (Eem) wird repräsentiert durch den kräftig entwickelten B-Horizont einer z. T. pseudovergleyten Parabraunerde. Das Altwürm<sup>2</sup> ist durch Humuszonen bzw. schwache Parabraunerden, Pseudogleye oder/und einen braunen, entkalkten Boden („Niedervellmarer Bodenkomplex“) vertreten. Der erste helle, lockere Löss tritt im Arbeitsgebiet im Mittelwürm<sup>2</sup> auf. Dieses Lösspaket kann durch den „Kirchberger Boden“ zweigeteilt werden. Wahrscheinlich ist es noch stärker gegliedert, aber die eingeschalteten Böden sind infolge starker Umlagerungen nirgends mehr *in situ* enthalten. Das Mittelwürm wird an seiner Oberkante vom „Löhner Bodenkomplex“ des Paudorfer Interstadials abgeschlossen, ein oft 1 m mächtiges, entkalktes, verbrauchtes und verlehmttes Lösspaket. Das Jungwürm<sup>2</sup> ist durch — in sehr vielen Aufschlüssen in immer gleicher Reihenfolge auftretende — schwache, nicht entkalkte, geringmächtige Böden in fünf Abschnitte gliederbar, die in sich z. T. wieder unterteilt werden können. Ein wertvolles Hilfsmittel für die Bodenstratigraphie ist das im Lösspaket  $j\ 3\alpha-\gamma$  liegende Tuffband (vgl. Schönhals 1959).

Im folgenden sollen zunächst die Belege für die Einordnung der Eiskeile, geordnet nach Fundstellen, abgehandelt werden. Dabei werden für jeden Eiskeilhorizont nur so viel Beispiele geboten, als nötig schien, um seine Existenz hinreichend nachzuweisen.

## PROFILDARSTELLUNGEN

### NIEDERVELLMAR

(NÖRDLICH KASSEL, VGL. FIG. 2, BILD 1, 2, 3, 4)

In beiden Gruben der Ziegeleien der Fa. Löber (östlich und westlich der Bundesstrasse 7 nördlich Kassel) sind mehrere Eiskeilhorizonte angeschnitten. Das Bild 1 stammt aus der westlichen Grube; über die stratigraphischen Verhältnisse unterrichtet die Legende.

<sup>1</sup> Auch an dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. F. Scheffer, Direktor d. Instituts f. Bodenkunde der Universität Göttingen, dafür danken, dass ich zunächst als Gast, später als sein Wiss. Mitarbeiter, in seinem Institut den notwendigen wissenschaftl. und techn. Rahmen für meine Arbeiten fand. Ebenfalls bin ich Herrn Oberass. Dr. B. Meyer für seine stete Anteilnahme zu Dank verpflichtet.

<sup>2</sup> stratigraphische Grundbegriffe nach Woldstedt (1962).



prä- oder posteemzeitlich einzuordnen ist; er wurde deshalb nicht in das Sammelprofil (Fig. 9) aufgenommen. Die im linken Teil der Abbildung erkennbare Verbindung zwischen den Keilen I d, e, f und g zeigt an, dass die Spalten als Teile eines engmaschigen Keilnetzes aufzufassen sind, das von der geneigten Aufschlusswand schräg angeschnitten wurde.

Wichtig für die Aufklärung der Eiskeilgenese ist die Beobachtung, dass fast alle Keile dieses Horizontes einen „Bart“ aus einzelnen feinen Spalten besitzen (Bild 2a und b). Diese Erscheinung wurde nur noch einmal, und zwar an sicher würmzeitlichen Keilen in der Ziegelei Albugen (Werra) beobachtet. Nach Gallwitz (1949) sind diese Spalten als einzelne Frostrisse aufzufassen<sup>3</sup>.

Die grossen Keile des Horizonts II sind mit noch kalkhaltigem Löss gefüllt. Sie gehören ins Mittelwürm, denn der Lohner Bodenkomplex (8) des Paudorfer Interstadials zieht ungestört über die Keile hinweg. Bei Keil II b ist der Niedervellmarer Bodenkomplex (4) an beiden Keilflanken aufgepresst worden. Solifluidale Bewegungen nach der Eiskeilfüllung führten zu fahnenartigem Ausziehen des aufgepressten braunen Bodenmaterials.

Eine weitergehende Gliederung ermöglichte die Untersuchung der

<sup>3</sup> Hierzu sei angefügt, dass die auf Bunge (1902) und Leffingwell (1915) zurückgehende Frostkontraktionstheorie durch die Arbeiten von Taber (1943) und Schenk (1955) m. E. nicht zwingend widerlegt worden ist. Die Taber-Theorie kann z. B. die Eiskeilentstehung in nichtbindigen Sedimenten nicht erklären, worauf schon Dücker (1951) und Kaiser (1960) hinwiesen, ohne dieses Argument jedoch gegen die genannte Theorie zu verwenden. Dücker (1951) ist der Auffassung, dass beim Gefrieren von Wasser in Spalten keine seitlichen Druckkräfte auftreten können, da nur ein offenes System vorliegt.

Da das Einfrieren von oben beginnen wird, darf m. E. doch mit der Annahme eines geschlossenen Systems und somit auch mit dem Vorhandensein von Druckkräften gerechnet werden.

Wenn die „Eisadern“ als Ergebnis eines einzigen, stetigen, nach abwärts gerichteten Gefrierprozesses aufgefasst werden müssten, wobei ein ständiger Zuschuss von Wasser aus dem Untergrund angenommen wird, so ist die nach unten schmaler werdende Keilform unverständlich. Eher wären dann nach unten gleichbleibende oder sogar zunehmende Dicke der Eisadern zu erwarten. Die Auffassung, Kontraktionsrisse bildeten keine polygonalen Strukturen, wird durch die Beobachtungen von Washburn, Smith u. Goddard (1963) widerlegt. Ebenfalls ist die Auffassung, in nichtbindigem Material fehlten Aufbiegungen an der Keilschulter, nicht uneingeschränkt gültig, wie sich aus den Beobachtungen von Gallwitz (1949, Abb. 9) ergibt. Die Seltenheit von Aufpressungen steht m. E. eher in Zusammenhang mit der durchschnittlich geringeren Spaltenbreite in sandig-kiesigem Material.

Für die Beteiligung von Kontraktionsrissen bei der Eiskeilbildung sprechen auch die Beobachtungen Picards (1957): vgl. auch die eindrucksvolle Zusammenstellung bei Frenzel (1959, S. 75).

Ostwand der östlichen Ziegeleigrube (Fig. 2, Bild 3). Keile des Horizonts I fehlen hier. Die grossen Keile des Mittelwürms sind dagegen gut ausgebildet (II c—d). An ihnen ist nicht nur der Niedervellmarer Bodenkomplex wie in der westlichen Grube, sondern auch der Bleichhorizont (3) samt liegender Konkretionslage (2) und der interglaziale Bt-Horizont aufgepresst worden. Bei Keil II d wurde das aufgepresste Material an der damaligen Oberfläche solifluidal verlagert, wahrscheinlich aber erst nach Füllung der Keile, denn über Keil II b legt sich — von rechts kommend — eine Solifluktionsschleppe aus Material der Horizonte 3—1 in inverser Lagerungsfolge. Sehr eindrucksvoll ist das Aufpressen des Keilschultermaterials an Keil II e (Bild 4) erkennbar. Das Füllmaterial der Keile II c—e besteht hauptsächlich aus mässig verbrauntem Mittelwürm-Löss, dem einige helle Lössschlieren eingelagert sind.

Zwei schmale Spalten (III a und b) sind von einer höheren Oberfläche aus gebildet worden. Sie gehören ebenfalls noch ins Mittelwürm. Ausserhalb des Bereiches von Bild 1 konnte dieser Spaltenhorizont auch in der westlichen Ziegeleigrube festgestellt werden. Unklar ist, ob das die Keilhorizonte II und III voneinander trennende, verlagerte braune Bodenmaterial (6) dem „Kirchberger Boden“ des Mittelwürms entspricht.

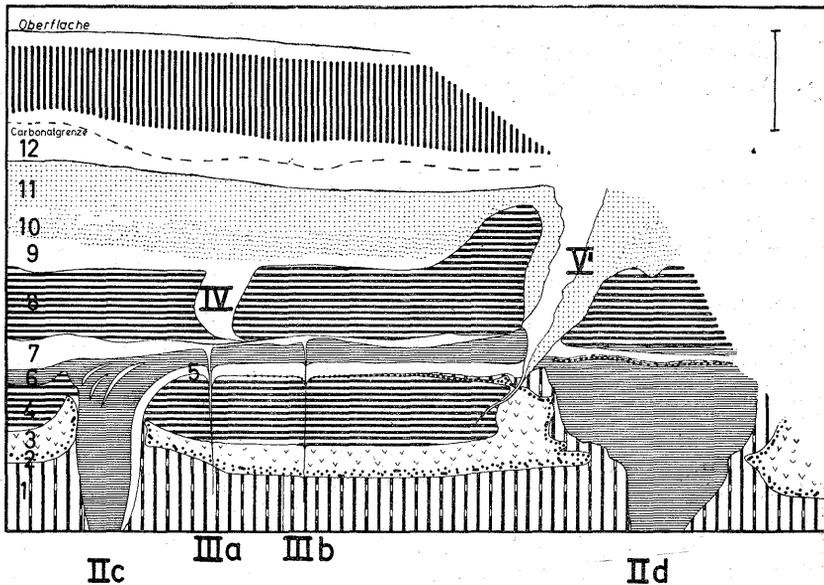


Fig. 2. Eiskeile aus dem Mittel- und Jungwürm (j1- und j3 [?] Generation). Niedervellmar, östliche Grube, Ostwand

1. Eem-Boden — B-Horizont; 2. Konkretionslage; 3. Bleichhorizont; 4. Niedervellmarer Bodenkomplex (NB); 5, 7. Mittelwürmlöss; 6. desgl., verbraunt; 8. Lohner Bodenkomplex (LB); 9—10. j1β; 11. j1γ; 12. j2a. Mass-Stab: 1 m. Erläuterung der Zeichen und Symbole in Fig. 9

Im Sammelprofil (Fig. 9) wurde eine genauere stratigraphische Einstufung beider Horizonte deshalb offengelassen.

Der nächstjüngere Keil IV, eine zwar breite, aber wenig tief reichende Spalte, entstand im  $j\ 1\alpha$ . Noch vor Bildung des  $j\ 1\gamma$  wurde sie wieder gefüllt.

Der sehr grosse Eiskeil V zeigt wieder Bodenaufpressung an der Keilschulter, jedoch bei diesem Exemplar nur einseitig. Da der hangende Abschnitt schon abgeziegelt ist, liess sich eine stratigraphische Einordnung dieses Keiles nicht sicher durchführen. Vermutlich gehört er dem  $j\ 3\ an$ .

## BILSHAUSEN

(EICHSFELD, NORDÖSTLICH VON GÖTTINGEN, VGL. FIG. 3—5, BILD 5)

Schon Selzer (1936) stellte hier zwei wärmzeitliche Eiskeilgenerationen fest. Weitere Beobachtungen teilte Poser (1951) mit.

Meine Untersuchungen wurden an der vom Abbau verlassenen hohen Ostwand der Grube durchgeführt. Über die Stratigraphie des Eem—Altwürm-Abschnittes wird an anderer Stelle ausführlich berichtet, deshalb soll hier nicht vorgegriffen werden. Im Gegensatz zu den Verhältnissen in Niedervellmar fehlt hier heller Mittelwürmlöss: Niedervellmarer (6) und Lohner (7) Bodenkomplex sind vollständig zusammengewachsen (Fig. 3); eine genauere Abgrenzung ist nicht möglich.

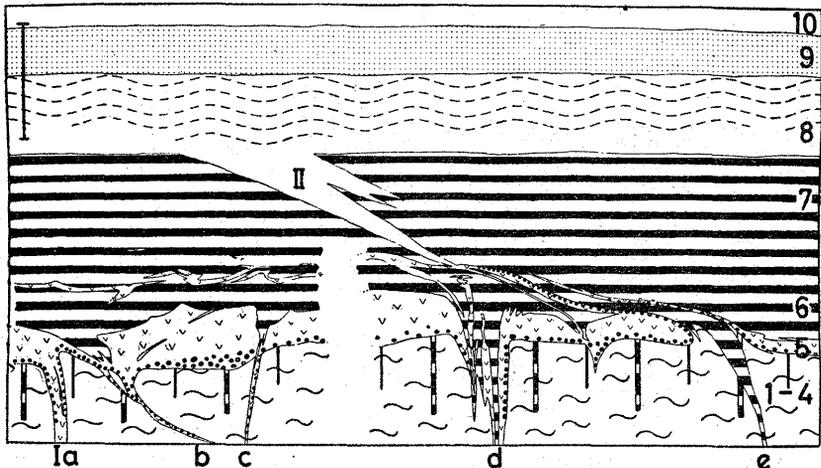


Fig. 3. Eiskeile des Mittelwürms und der  $j1$ -Generation. Bilshausen, Ostwand

1—4. Solifluktuationsmaterial aus Eem-Boden; 5. Bleichhorizont; 6. Niedervellmarer Bodenkomplex; 7. Lohner Bodenkomplex; 8.  $j1\beta$ ; 9.  $j1\gamma$ ; 10.  $j2a$ , Mass-Stab; 1 m

Dass aber innerhalb des braunen Lehmkomplexes 6/7 eine Kaltphase, und zwar die des Mittelwürms, anzunehmen ist, belegen die Schlieren von Bleichhorizontmaterial (5), welches durch Eiskeile aus dem Liegenden heraufgepresst und sekundär solifluidal verlagert wurde.

Durch die hangabwärtsgerichtete, vorwiegend laminare Bewegung wurden diese Eiskeile in starkem Masse verzerrt, so dass im einzelnen nicht mehr zu erkennen ist, von welcher Oberfläche sie ansetzten. Ebenfalls erscheint nicht sicher, ob sie sämtlich streng gleichaltrig sind; dem komplizierten Aufbau nach zu urteilen, wird man die Entstehung bzw. Füllung von Keil I d<sup>4</sup> kaum als einphasig auffassen können.

Wie in Fig. 3 zu ersehen ist, unterscheiden sich die Keile derselben Generation in ihren Füllungen erheblich. Wie in Niedervellmar wird dies auf rein lokale Umstände zurückgeführt. Da die Aufschlusswand der Fig. 3 nicht senkrecht ist, sondern eine Neigung von 50—60° besitzt,

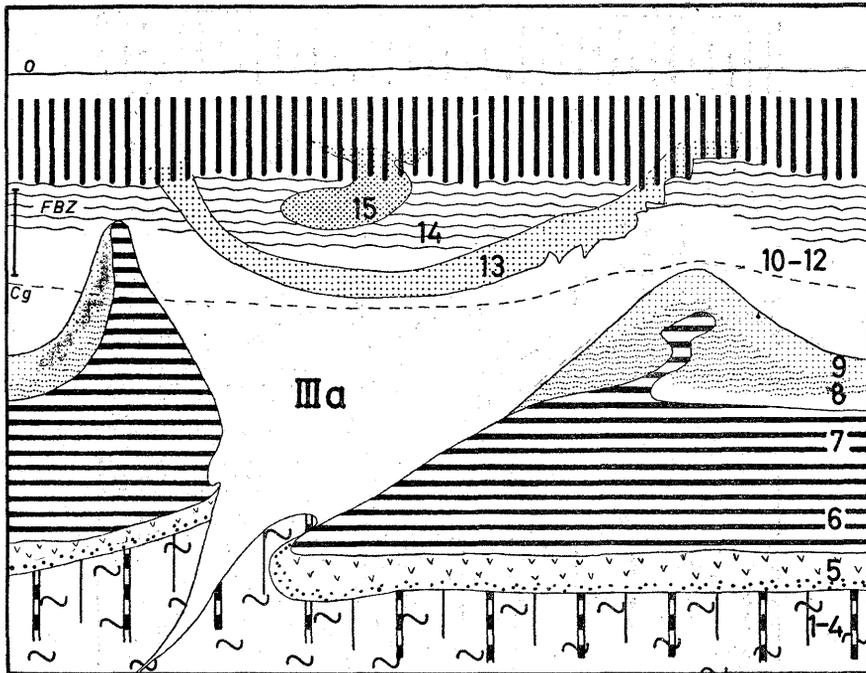


Fig. 4. j3-Eiskeil mit subterran durch postumes Tieftauen entstandener Sackungsmulde. Bilshausen, Ostwand

0 — Oberfläche; FBZ — Flecken-Bänder-Zone; Cg — Carbonatgrenze; 1—9. vgl. Fig. 3; 10—12. j2a—j3 a-γ (hier ungetrennt); 13. j3δ; 14. j4a; 15. j4β. Mass-Stab: 1 m

<sup>4</sup> Die Bezifferung der Keilgenerationen erfolgt für jeden Aufschluss getrennt. Bilshausen I entspricht sicher nicht Niedervellmar I, sondern vermutlich Niedervellmar II.

werden die einzelnen Spaltenzüge des Keilnetzes natürlich sehr unterschiedlich angeschnitten. So dürften die Keile I a—c + e ebenso wie I d annähernd senkrecht stehen, nur verlaufen sie in unterschiedlichen Winkeln zur etwa N—S streichenden Aufschlusswand.

Sehr spitz angeschnitten ist der jungwürmzeitliche Keil II, der wie der Keil Niedervellmar IV ins j 1 gehört. Auch hier fehlen randliche Aufpressungen.

Ausserordentlich stark dagegen sind die Keilschultern bei dem wesentlich tieferen Keil III a (Fig. 4) aufgebogen. Die extrem grosse obere Öffnung des Keiles erklärt sich durch den schrägen Anschnitt. Die Füllung dieses Keiles erfolgte vor der Bildung von j 3δ (Strate 13). Damit soll nicht gesagt sein, dass in der kurzen Wärmeschwankung, die zur Bil-

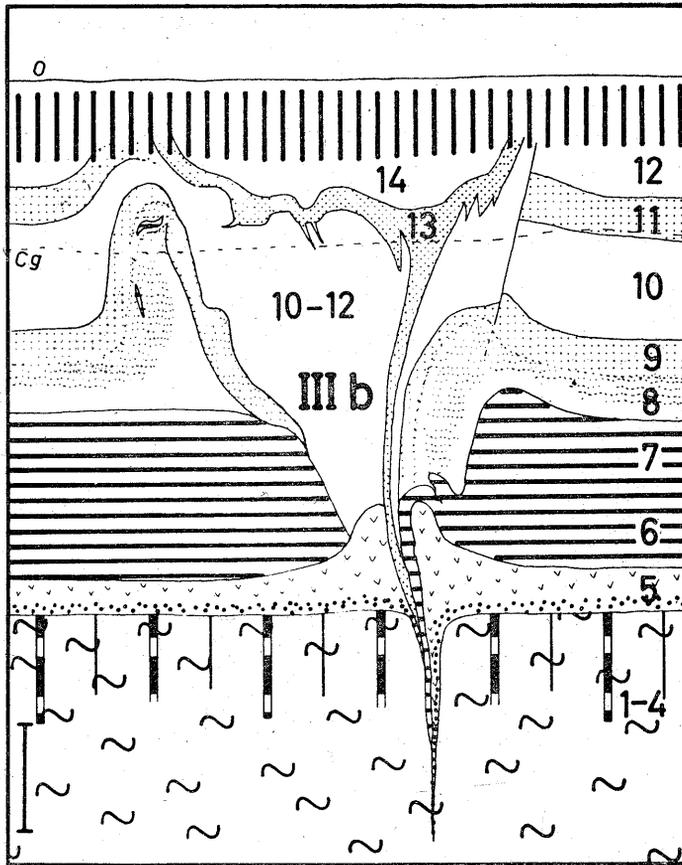


Fig. 5. j3-Eiskeil mit Sekundärspalte; Kleinkeile im j3δ. Bilshausen, Ostwand

Mass-Stab: 1 m. Legende: vgl. Fig. 3 und 4

dung dieses Bodens führte, auch schon die untersten Keilpartien aufgeschmolzen waren; die Deformation des Bodens j 4 $\beta$  kann nur durch ein nachträgliches Tieftauen erklärt werden. Daraus ergibt sich, dass die steilwandige Sackungsmulde des Bodens j 3 $\delta$  subterran entstanden ist.

Ein benachbarter, ungefähr senkrecht geschnittener Keil (III b) derselben Generation wurde in Fig. 5 dargestellt; in Tiefe, oberer Weite und Intensität der randlichen Aufpressung ist er III a sehr ähnlich. Die Füllung erfolgte ebenfalls zwischen j 2 $\beta$  und j 3 $\delta$  (13). Bemerkenswert ist hier eine sekundäre, recht tief reichende, aber westenlich schmalere Spalte, die lediglich mit j 3 $\delta$ -Material gefüllt ist. Da sie keinen jüngeren (j 4 $\alpha$ -) Löss enthält, der jetzt in Hangenden direkt anschliesst, muss sowohl ihre Bildung als auch ihre Füllung innerhalb eines relativ kurzen Zeitraumes von der Oberfläche des j 3 $\delta$ -Bodens aus erfolgt sein. Sekundärspalten dieser Art wurden auch in weiteren Keilen dieser Generation festgestellt, wie z. B. in Bild 5 und Fig. 6, 7.

GROSSENRIITTE  
(SÜDWESTLICH KASSEL, VGL. FIG. 6, 7; BILD 6—9)

In Fig. 6 ist der Kreuzungsbereich von zwei Spaltenzügen (Ia und Ib) desselben Eiskeilnetzes dargestellt. Dieses gehört, wie schon der Horizont Bilshausen III, dem w j 3 an. Auch hier ist, jedoch nur in dem in der Abbildung rechten Keil, eine Sekundärspalte ausgebildet, die mit j 3 $\delta$ -Material gefüllt wurde. Sodann ist eine noch jüngere Spalte (II) vorhanden; allerdings ist nicht auszumachen, von welcher Oberfläche

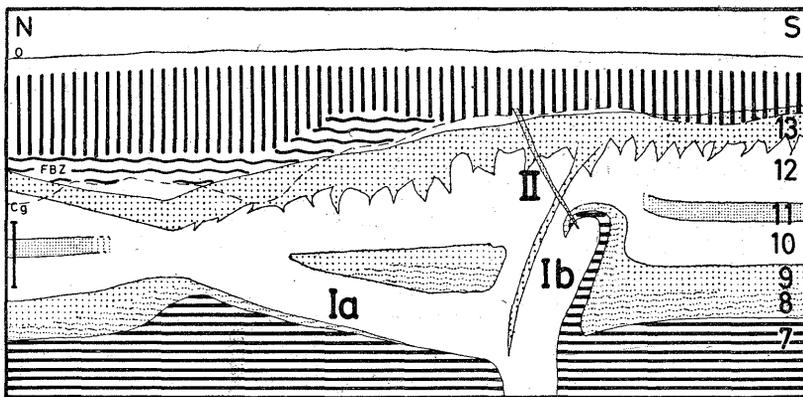


Fig. 6. Kreuzungsbereich zweier Eiskeilspalten der j3-Generation. Grossenritte, Ostwand  
0 — Oberfläche; FBZ — Flecken-Bänder-Zone; Cg — Carbonatgrenze; 7. Lohner Bodenkomplex;  
8. j1 $\beta$ ; 9. j1 $\gamma$ ; 10. j2 $\alpha$ ; 11. j2 $\beta$ ; 12. j3 $\alpha$ - $\gamma$ ; 13. j4 $\alpha$ . Mass-Stab: 1 m

sie ansetzte, da infolge der holozänen Bodenbildung in der obersten Lössdecke keine pleistozänen Strukturen mehr zu erkennen sind.

In Fig. 7 ist ein weiteres Beispiel der Keilgeneration I dargestellt. Hier konnte ein System von Bewegungsflächen beobachtet werden, welches auch in den j 4-Löss hineingreift. Die weitgehend symmetrische Ausbildung des Scherflächennetzes deutet auf einen Sackungsherd im Bereich des Eiskeiles hin. Die Sackung deformierte das Tuffbändchen und den Horizont j  $2\beta$  in gleicher Weise wie den Boden j  $3\delta$ . Die Sackungsmulde des j  $3\delta$  ist also auf die späteren Nachbewegungen beim Tieftauen zurückzuführen. Das entspricht vollkommen den anhand des Keiles Bils-  
hausen III a (Fig. 4) getroffenen Schlussfolgerungen<sup>5</sup>.

Die auch bei dem Keil der Fig. 7 festgestellte Sekundärspalte aus j  $3\delta$ -Material ist sicher vor der nachträglichen Sackung entstanden.

Anfängliche Erwägungen, dass aus dem kuppelförmigen Umbiegen der vertikalen Scherflächen eine nach oben gerichtete Bewegung im Sinne einer kurzfristigen Keil-Reaktivierung zu erschliessen sein könne, wurden nicht bestätigt. Es konnten stets nur Anzeichen für ein Absinken des Keilinneren gefunden werden. Aufgepresst sind — wie üblich — nur die Keilschultern (Hor. 9).

Vor Aufstellung der detaillierten Löss-Stratigraphie wurde im Herbst 1960 beim erstmaligen Besuch dieser Ziegeleigrube ein Keil (Bild 6) aufgenommen, der sicher ins Jungwürm gehört, aber nachträglich nicht näher eingeordnet werden kann. Als nur einmal beobachtete Besonder-

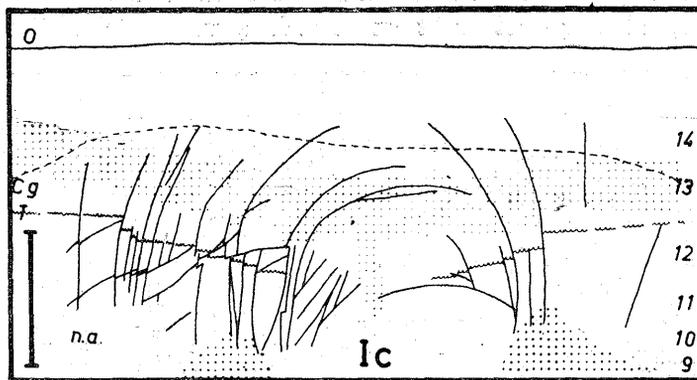


Fig. 7. Scherflächensystem durch Tieftauen eines j3-Eiskeiles (mit Sekundärspalte) im j4 (?). Grossenritte, Ostwand

Legende: vgl. Fig. 6; 14. j4a; T — Tuffband im j3 $\alpha$ - $\beta$ . Mass-Stab: 1 m

<sup>5</sup> Wie aus dem Scherflächenbild zu entnehmen ist, entstand hier durch die Sackungsbewegungen kein „Thermokarst“-Erdfall.

heit weist er einen breiten sekundären Keil (vgl. Brüning 1964) mit Füllung aus hellem Löss auf. Womöglich liegt hier der Fall einer Überlagerung zweier verschiedener Eiskeilgenerationen vor (evtl. j 2 und j 3).

Während bei der Keilfüllung das Nebengestein in tieferen Partien sehr oft plastisch verformt wurde, ist in oberen Profiltteilen eine blockartige Struktur verbreitet, wie z. B. in Bild 7 zu ersehen ist. Die Grenzen der einzelnen Lössblöcke sind durch Eisen-Mangan-Imprägnierungen in Form dünner dunkler Säume kenntlich, da die ehemaligen Bewegungsflächen später als Sickerwasser-Leitbahnen dienten. Die aufgezeigten Unterschiede im Bewegungsbild sind vermutlich darin begründet, dass der Löss bei der Keilfüllung in den oberen Partien schon ausgetrocknet war, in den unteren jedoch noch grösseren Wassergehalt besass (vgl. Brüning 1964). Auch das Bewegungsbildensystem in Fig. 7 ist in gleicher Weise dunkel imprägniert und dadurch überhaupt erst erkennbar.

Bemerkenswert in Grossenritte sind Kleinspalten an der Unterkante des j 3δ (Fig. 6, Bild 8, 9). Sie sind mit Material dieses Bodens gefüllt, und zwar bis in etwa 40—70 cm Tiefe, aber auch darunter sind die liegenden Schichten noch etwas deformiert. In Bild 8 ist zu erkennen, dass es sich wahrscheinlich um zwei einander überschneidende Kleinkeilhorizonte handelt.

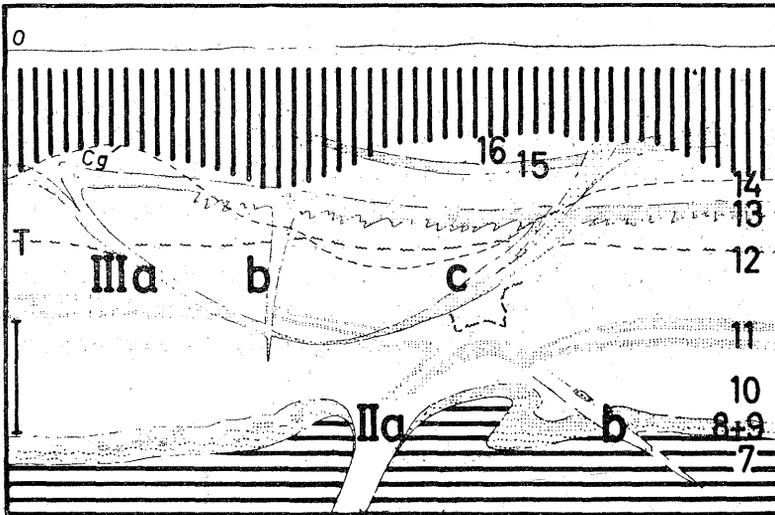


Fig. 8. Eiskeile der j3- und der j5-Generation. Vollmarshausen, Nordwand  
 7. Lohner Bodenkomplex; 8. j1β; 9. j1γ; 10. j2a; 11. j2β; 12. j3a-γ; 13. j3δ; 14. j4a; 15. j4β; 16. j5.  
 O — Oberfläche; Cg — Carbonatgrenze; T — Tuffband. Mass-Stab: 1 m

VOLLMARSHAUSEN  
(SÜDÖSTLICH KASSEL, FIG. 8, BILD 10)

Auch in dieser Ziegeleigrube wurden nur jungwürmzeitliche Eiskeile angetroffen. Die in Fig. 8 enthaltene Keilgeneration II gehört ins j 3. Das Tuffbändchen ist noch von Deformation infolge der Keilfüllung stark betroffen worden; der Boden j 3 $\delta$  zieht — nur etwas eingedellt — über den Keil hinweg. An der gleichen Aufschlusswand konnte 1965 ein grosser Keil der j 2-Generation (I) aufgefunden werden.

Wie in Grossenritte, so gibt es auch hier eine noch jüngere Keilgeneration (III), die hier in die nach oben nicht abgrenzbare Kaltphase j 5 gestellt wird, weil die schmalen Keile den Boden j 4 $\beta$  durchschlagen. Der j 3 $\delta$  besitzt wie in Grossenritte die beschriebenen Kleinkeile, allerdings in etwas anderer Ausbildung (Bild 10). In der Nordecke der Grube waren Kleinkeile auch im j 2 $\beta$  festzustellen.

HOFGEISMAR  
(NÖRDLICH KASSEL, BILD 11)

In der östlichen der beiden Ziegeleien wurde ein Eiskeil angetroffen, der den j 3 $\delta$  noch durchbricht, vom j 4 $\beta$  aber überlagert wird. Er gehört demnach ins j 4 (Bild 11).

HATTORF  
(EICHSFELD, NORDÖSTLICH GÖTTINGEN)

In der Lössgrube am westlichen Ortsausgang fand Herr Dr. B. Meyer, Göttingen, einen Keil, der dem j 2 angehört. Bei einem späteren gemeinsamen Profilbesuch konnte ein weiterer Keil derselben Generation angetroffen werden (nicht abgebildet). Dessen Füllung erfolgte nach Ausbildung des schwachen Rostfleckenbandes innerhalb des j 2 $\alpha$  und vor Bildung von j 2 $\beta$ . In beiden Böden des j 2 $\beta$  ist hier je ein Kleinkeilhorizont vorhanden (nicht abgebildet). Ausserdem wurden in Hattorf Keile der j 1- und der j 3 (oder einer jüngeren?) -Generation gefunden.

KIRCHBERG  
(SÜDLICH KASSEL)

In der Nordecke der hohen Westwand der Ziegeleigrube wurde ebenfalls ein Keil der j 2-Generation angetroffen (nicht abgebildet).

## DIE EISKEILHORIZONTE

Die im Abschnitt 2 beschriebenen Eiskeile sind in Fig. 9 zusammengestellt worden.

Im Arbeitsgebiet konnte keine sicher altwürmzeitliche Eiskeilgeneration aufgefunden werden. Lediglich die Generation Niedervellmar I könnte ins *wa* 1 gehören. Dagegen konnten Ruske u. Wünsche (1964, Tab. 3) im Saale-Unstrut-Gebiet (Braunkohlentagebau Rossbach) zwei Spaltengenerationen innerhalb des Humuszonenabschnitts feststellen.

Das Mittelwürm enthält mindestens zwei Spaltengenerationen; es war jedoch nicht zu ermitteln, wie sie stratigraphisch zum „Kirchberger Boden“ stehen. Die schmalen Spalten sind nur in Niedervellmar gefunden worden (dort Generation III), allerdings in beiden Gruben, d. h. an über 100 m von einander entfernten Fundpunkten.

Am häufigsten treten Eiskeile im mächtigen und sehr gut aufgeschlossenen Jungwürm abschnitt auf. Und zwar ist es so, dass jeder der bisher ausgeschiedenen 5 Kaltphasen eine Spaltengeneration entspricht. Bei weitem am häufigsten sind die Keile des *j* 3; in den anderen Kaltphasen waren Eiskeile offensichtlich weniger stark verbreitet. Jungtundrenzeitliche Keilspalten (vgl. Frechen und Rosauer 1959) konnten nicht festgestellt werden, da zur Unterscheidung notwendige Sedimentfolgen (z. B. Laacher Bims) im Untersuchungsgebiet zu selten sind.

## GRÖSSE UND HÄUFIGKEIT DER EISKEILE

Bekannt ist, dass Keile derselben Generation recht verschiedene obere Weiten und gegenseitige Abstände besitzen können bei ähnlicher Tiefenerstreckung (vgl. Johnsson 1964, Fig. 1). Nach den mir vorliegenden Beobachtungen erscheint es gerechtfertigt zu betonen, dass es auch generationsspezifische Charakteristika gibt.

So sind die *j* 3-Keile stets am grössten, sie besitzen Tiefen über 6 m und obere Öffnungen von mehr als 2 m. Die Keilschultern sind in der Regel sehr stark aufgepresst. Die Maschenweite des Keilnetzes beträgt — soweit sich das aus dem Keilabstand an den Aufschlusswänden beurteilen lässt — in der Regel 15—20 m.

Die selteneren Keile des Mittelwürms (Niedervellmar II), sowie des *j* 2 und *j* 4 können als mittelgross bezeichnet werden.

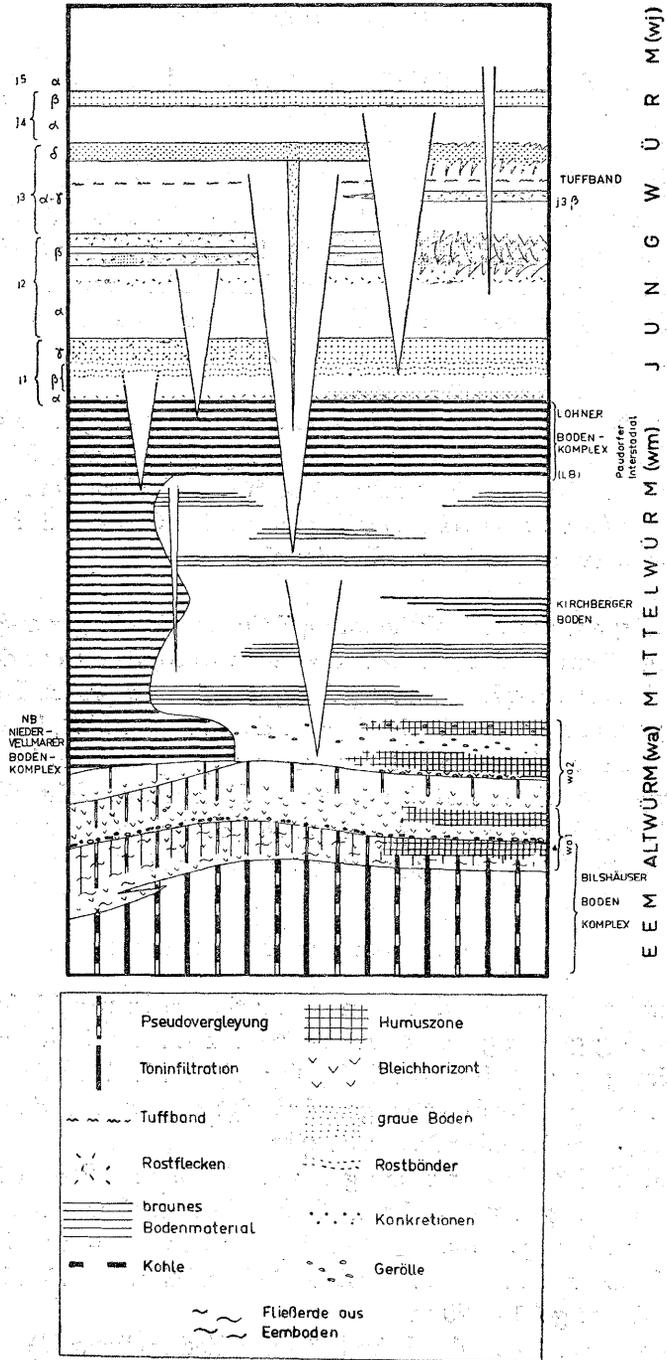


Fig. 9. Sammelprofil

Ihre Tiefe beträgt 2—4 m bei einer oberen Öffnung von 50—100 cm und einer in der Regel unter 10 m betragenden Maschenweite; randliche Schichtaufpressungen sind gut ausgebildet. Schmäler und ebenfalls recht selten sind die j 5-Keile. Ihr Tiefgang beträgt kaum 2 m, randliche Aufpressungen fehlen. Die Maschenweite der j 5-Generation ist sehr gering (2—5 m); zu diesem Formtyp ist auch die ältere Keilgeneration Niedervellmar I zu zählen.

Die j 1-Keile wurden bisher nur vereinzelt gefunden. Nun wird aus der Arktis wiederholt von Eiskeilnetzen mit über 50 m Maschenweite berichtet. Sollten solche Verhältnisse im j 1 vorgelegen haben, so wird man in einer Grube auch nicht mehr als 1 oder 2 Keile derselben Generation erwarten können. Ein isoliertes Auftreten einzelner Keile in kleineren Aufschlüssen spricht also nicht gegen die ehemalige Existenz eines Eiskeilnetzes; natürlich wird letzteres durch diese Überlegung nicht bewiesen.

Zur Erklärung der aufgezeigten Unterschiede wird man zunächst an klimatische Verschiedenheiten denken, in zweiter Linie aber auch daran, dass auch die Dauer einer Kaltphase von Einfluss gewesen sein wird<sup>6</sup>. Zweifellos hat im j 3 die grösste Neigung zur Ausbildung von Eiskeilen bestanden; man findet hier Keile auch an Standorten, die vorher und hinterher keine Spalten aufwiesen. Die grosse Tiefe dieser Keile verdient bei von der Oberfläche ausgehenden Temperaturwirkungen allergrösste Beachtung. Schliesslich wird man erwarten, dass die Bildung sehr breiter Keile mehr Zeit erforderte gegenüber schmalen Formen wie etwa Niedervellmar I oder Vollmarshausen II.

Im einzelnen dürfte es aber zu früh sein, die Wirkungen einzelner Faktoren gegeneinander abwägen zu wollen. Man muss nämlich in Rechnung stellen, dass es nicht nur ausreichender Kältespitzen bedarf; auch die von dem Humiditätsgrad des Klimas mittelbar abhängigen Bodenfeuchteverhältnisse müssen zur Ausbildung eines Eisspaltennetzes optimal sein (vgl. Frenzel 1959, S. 1012).

#### ZUM KLIMAGANG DER WÜRM-KALTZEIT

Nach allgemeinem Consensus darf aus gut ausgebildeten Eiskeilen auf Permafrost während der Bildungszeit geschlossen werden. Washburn, Smith und Goddard (1963) berichten zwar über „Frost cracking in a middle-latitude climate“ in einem besonders schneearmen

<sup>6</sup> Substratunterschiede als dritten, sehr wesentlichen Faktor kann man hier in erster Näherung ausklammern, da es sich in jedem Fall um Löss handelt, der allerdings wegen der eingelagerten Paläoböden nicht absolut gleichwertig ist.

und kalten Winter mit einer Frosteindringtiefe von 1,40—2,00 m<sup>7</sup>. Dabei handelt es sich aber um sehr schmale Spalten, wie die Autoren ausdrücklich hervorheben.

In der Regel ist aus der Existenz einwandfrei würmzeitlicher Eiskeile geschlossen worden, dass während der gesamten letzten Kaltzeit Dauerfrostboden in Mitteleuropa bestand. In Anbetracht des hier vorgelegten Materials über mehrfache Eiskeilbildung wird man folgern dürfen, dass nur in gewissen Perioden der letzten Kaltzeit im Untersuchungsgebiet Dauerfrostboden bestand. Diese Aussage gilt jedoch nur für die oberflächennahe Zone. Für den Bereich unter den tiefsten Eiskeilen (6—10 m) ist ohnehin noch kein Beweis für oder gegen eiszeitlichen Dauerfrostboden erbracht worden<sup>8</sup>.

In den z. T. kurzen Warmphasen hat also im oberflächennahen Bereich kein Dauerfrostboden bestanden, denn in ihnen erfolgte Austauen und Spaltenfüllung<sup>9</sup>. Dabei sei nachdrücklich hervorgehoben, dass hier die Feststellung der Eiskeilfüllung und nicht lediglich das Fehlen von Eiskeilen für Schlussfolgerungen über das Nichtvorhandensein von Permafrost benutzt wird.

Die Keile setzen stets im oberen Abschnitt des zugehörigen Lösspaketes an. Das lässt jedoch keinen Schluss auf ihre genaue Bildungszeit zu, denn sie könnten auch zu Beginn der jeweiligen Kaltphase entstanden und mit dem akkumulierten Löss hochgewachsen sein. Die Füllung erfolgte stets kurz vor der nächstfolgenden Bodenbildung, d. h. zu Beginn der Warmphase, als ein Boden noch nicht ausgebildet war. Der Boden zieht über den Keil hinweg, kann aber Sackungsmulden aufweisen, wenn das Tieftauen nicht in einer Warmphase erfolgte.

Die Nachbewegungen bei den j 3-Keilen deuten darauf hin, dass während der Bodenbildungsphase j 3 $\delta$  in mehreren Metern Tiefe (4 m?) noch Dauerfrostboden erhalten blieb. Wahrscheinlich verdanken die mehrfach erwähnten und abgebildeten Sekundärspalten diesem Dauerfrostboden (-Relikt?) z. T. ihre Bildungsumstände. Denn die zu ihrer Ausbildung erforderliche Kaltphase kann nur sehr kurz gewesen sein, ge-

<sup>7</sup> Normal für Hanover, New Hampshire, sind 0,60—0,90 m.

<sup>8</sup> Sollten nicht alle erwähnten und abgebildeten Keilspalten als Eiskeilpseudomorphosen anerkannt werden können, so etwa die j 1-Keile ohne randliche Bodenaufpressungen, so würden für weitere Phasen die Nachweise für Dauerfrostboden fehlen.

<sup>9</sup> Streng genommen gilt diese Aussage nur für die untersuchten Aufschlüsse, denn z. B. in Reliefdepressionen könnte auch in den Warmphasen oberflächennaher Dauerfrostboden erhaltengeblieben sein, wenn das Untersuchungsgebiet in diesen Phasen zur Zone des „discontinuous permafrost“ gehört haben sollte. Für eine Entscheidung über diese Möglichkeit liegen z. Zt. keine Beobachtungen vor.

messen an der Tatsache, dass noch kein neuer Löss (j 4 $\alpha$ ) angeweht worden war.

Zur Bildungszeit der Jungwürmböden j 3 $\delta$  und j 2 $\beta$  (bzw. direkt anschliessend) hat es auch in Oberflächennähe Frostbodenformen gegeben: die in den Fig. 6, 8 und Bild 8, 9, 10 dargestellten Kleinkeile. Diese dürften in Anbetracht sowohl ihrer geringen Tiefe als auch ihrer stratigraphischen Stellung auf nur jahreszeitlichen Bodenfrost in den Warmphasen zurückgeführt werden können. Im Sommer wurden dann die klaffenden Spalten des „Texturbodens“ mit dem Material des A-Horizontes gefüllt.

Nach den vorliegenden Ergebnissen ist die klimatische Gliederung der letzten Kaltzeit noch wesentlich vielfältiger, als vorher angenommen werden konnte. Durch die „Eiskeilstratigraphie“ können allerdings nur die Schwankungen der Temperaturkurve erfasst werden; die Niederschlagsverhältnisse bleiben weitgehend unberücksichtigt. Leider fehlen Hinweise auf die Dauer und Intensität der einzelnen Kalt- und Warmphasen, da die Eiskeilformen eine solche Auswertung beim gegenwärtigen Forschungsstand noch nicht erlauben. Über die Form der „Klimawellen 1. Ordnung“ (Büdel 1960, S. 25) kann keine Aussage getroffen werden. Es steht aber fest, dass es während der gesamten Würmkaltzeit, also auch während des kältesten Abschnittes (Jungwürm), Klimawellen zweiter Ordnung gegeben hat, in deren Warmzeiten die Bedingungen für Dauerfrostboden nicht gegeben waren. Im Jungwürm kann also die an sich schon detaillierte Kurve von Woldstedt (1962, S. 121) noch weiter gegliedert werden.

Während die Eiskeile vorwiegend Temperatur-Schwankungen anzeigen, die den Löss gliedernden „Nassböden“ dagegen mindestens als Feuchtoszillationen gedeutet werden müssen (Lieberoth 1963, S. 183), so kann aus der engen Beziehung beider Bildungen zueinander abgeleitet werden, dass die genannten Klimawellen zweiter Ordnung sowohl thermische als auch hygrische Klimaschwankungen darstellten. Für die Paläopedologie wichtig ist der Nachweis, dass die innerwürmzeitlichen Böden nicht über hochliegendem Dauerfrostboden, sondern in Zeiten grosser Auftautiefe entstanden.

Nach allen Beobachtungen über Bodenverlagerungserscheinungen in stratigraphisch deutbaren Profilen besteht die allgemein verbreitete Anschauung sicher zu recht, dass nämlich Kältespitzen und Zeiten maximaler Bodenbewegungen miteinander alternierten. Im einzelnen sind hier jedoch noch ausserordentlich viele Punkte zu klären, denn stratigraphisch deutbar sind ja nur die Profile, in denen möglichst wenig Schichtlücken auftreten. Für das Verständnis der letzteiszeitlichen Solifluktion, etwa

beim Vergleich mit rezenten Vorgängen in der Arktis, wäre z. B. sehr wichtig zu wissen, ob sie entsprechend der allgemeinen Annahme in Zeiten mit hochreichendem Dauerfrostboden erfolgte, oder ob dessen Bildung erst später im Ablauf der einzelnen Kaltphasen einsetzte<sup>10</sup>. Auch über die Bedeutung mikroklimatischer Standortsunterschiede auf Eiskeilbildung und -füllung gibt es keine Untersuchungen.

Bei der Aufstellung zukünftiger Eiskeilverbreitungskarten wäre zu wünschen, dass die stratigraphische Stellung der Eiskeile in stärkerem Masse als bisher berücksichtigt wird. Dafür bedarf es allerdings noch umfangreicher feinstratigraphischer Vorarbeiten.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Nach einer feinstratigraphischen Gliederung der würmkaltzeitlichen Abschnitte der niedersächsischen und nordhessischen Lössprofile wurde die stratigraphische Stellung der zahlreichen Lösskeile untersucht, die als fossile Eiskeile gedeutet werden. Für das Mittelwürm konnten 2, für das Jungwürm 5 Eiskeilgenerationen nachgewiesen werden, wobei ein regelhaftes Alternieren von Lössanwehungsphasen mit Eiskeilbildung und wärmeren Phasen mit Eiskeilfüllung, mehr oder weniger ausgeprägter Bodenbildung und z. T. jahreszeitlichen Frostbodenerscheinungen festzustellen ist. Daraus ergibt sich ein mehrfacher Auf- und Abbau des Dauerfrostbodens im Verlaufe von „Klimawellen 2. Ordnung“.

Nach Eiskeilfunden in Nachbargebieten muss man mit Dauerfrostboden auch im Altwürm (2 Keilgenerationen) und in der Jüngeren Tundrenzeit rechnen.

#### NACHTRAG

Nach Abschluss des Manuskriptes (Oktober 1965) erhielt der Verfasser Kenntnis von mehreren Arbeiten, die die hier niedergelegten Ergebnisse wesentlich stützen oder ergänzen. In einem Referat über „Eiszeitforschung in Mitteldeutschland“ (*Ztschr. f. Geomorph.*, N. F. Bd. 10, S. 183—190, 1966) berichtet K. Kaiser über die dem Verf. schon durch eine Führung durch den Bearbeiter bekannt gewesenen, bislang aber leider un veröffentlichten Untersuchungen D. Manias zur Feingliederung der letzten Kaltzeit in der Ascherslebener Depression. In einer sehr reich gegliederten Jungpleistozän-Serie treten hier (in einem Profil!) 6 Eis-

<sup>10</sup> Bei Rohdenburg, 1965 (Abb. 4) wird ein Beispiel für würmzeitliche Solifluktion in Mitteleuropa ohne Permafrost gegeben.

keilhorizonte übereinander auf. Leider kann die Seesedimentfolge im Tagebau Königsau noch nicht in das vorwiegend auf Löss-Untersuchungen beruhende stratigraphische Schema des Jungpleistozäns eingeordnet werden. Wichtig ist, dass auch aus Manias Untersuchungen ein vielfacher Auf- und Abbau des Dauerfrostbodens während der Würm-Kaltzeit zu folgen ist, und dass hier schon sehr früh im Würm Eiskeile auftreten, wenn auch deren stratigraphische Stellung nicht ganz sicher ist. A. Semmel (unveröff. Manuskript über „Studien über den Verlauf jungpleistozäner solifluidaler und verwandter Formung in Hessen, 1966) fand ebenfalls altwürmzeitliche Eiskeile, die hier vor Ausbildung der untersten Humuszone entstanden sein müssen. Ausserdem gibt Semmel weitere Belege für die erste jungwürmzeitliche Keilgeneration (Füllung vor j 1  $\gamma$ ) und teilt Beobachtungen mit, die für die Existenz einer in Nordhessen nicht aufgefundenen Eiskeilgeneration zwischen den beiden geringmächtigen Böden des j 2  $\beta$  sprechen. Weiterhin teilt Semmel zusätzliche Belege für jungtundrenzeitliche Eiskeile mit. (Auch der Verf. fand 1966 einen jungtundrenzeitlichen Eiskeil im Laacher Bims).

Die Arbeit H. Brünings (1966) über „Vorkommen und Entwicklungsrhythmus oberpleistozäner Periglazial-Erscheinungen und ihr Wert für pleistozäne Hangformung“ (*Forsch. z. Deutschen Landeskde*, Bd. 156) befasst sich u. a. auch mit den Eiskeilen der hier dargestellten Aufschlüsse in Niedervellmar (S. 39—42 u. Abb. 40), sodass hier eine Parallelisierung gegeben werden soll. Und zwar entspricht Brünings 3 Phase meiner Generation Niedervellmar I (wahrscheinlich frühes Altwürm, risszeitliches Alter nicht ganz ausgeschlossen) und Brünings 4 Phase meiner Generation Niedervellmar II (Mittelwürm). Der hier in Bild 1 u. 2 abgebildete Keil I; entspricht nicht, wie es vom Foto her scheinen könnte, der von Brünings ausgeschiedenen 2 Phase (vgl. seine Abb. 40); die nach oben durchgehend vorhandene Verbindung tritt nämlich nur wegen einer abweichenden Feuchteverteilung im oberen Teil nicht deutlich heraus.

Herrn Prof. Dr. J. Dylik danke ich für die freundlichst erteilte Erlaubnis für einen Vorabdruck dieses Aufsatzes in einem Sonderheft zur Tagung der Deutschen Quartärvereinigung („Lössforschungen in Südniedersachsen und Nordhessen“, August 1966, zugleich *Mitt. d. Deutschen Bodenkdl. Ges.*, Bd. 5, S. 137—170).

## Literatur

- Brüning, H. 1957 — Eiszeitliche „Klein-Frostbodenformen“ im Talrandlöss von Magdeburg. *Hallesches Jhb. f. Mitteldtsch. Erdgesch.*, Bd. 2; S. 247—257.
- Brüning, H. 1964 — Kinematische Phasen und Denudationsvorgänge bei der Fossilisation von Eiskeilen. *Zeitschr. f. Geomorph.*, Bd. 8; S. 345—350.
- Brunnacker, K. 1957 — Die Geschichte der Böden im jüngeren Pleistozän in Bayern. *Geologica Bavarica*, 34.
- Büdel, J. 1950 — Die Klimaphasen der Würmeiszeit. *Die Naturwiss.*, 37; S. 438—449.
- Büdel, J. 1960 — Die Gliederung der Würmkaltzeit. *Würzburger Geogr. Arb.*, H. 8.
- Bunge, A. v. 1902 — Einige Worte zur Bodeneisfrage. *Russ. K. Mineral. Ges., Verh.*, 2. Ser., 40.
- Dücker, A. 1951 — Über die Entstehung von Frostspalten. *Schr. Naturw. Ver. Schleswig-Holstein*, 25; S. 58—64.
- Frechen, J. u. Rosauer, E. A. 1959 — Aufbau und Gliederung des Würm-Löss-Profils von Kärlich im Neuwieder Becken. *Fortschr. d. Geol. v. Rheinld. u. Westf.*, 4; S. 267—282.
- Frenzel, B. 1959 — Die Vegetations- und Landschaftszonen Nord-Eurasiens während der letzten Eiszeit und während der postglazialen Wärmezeit, I. Teil: Allgemeine Grundlagen. *Akad. d. Wiss. u. d. Lit.*, Abh. d. Math.-Naturw. Kl., Jg. 1959, Nr. 13; Mainz 1960.
- Gallwitz, H. 1937 — Fliesserde und Frostspalten als Zeitmarken im Löss bei Dresden. *Geol. Rundschau*, Bd. 28; S. 612—632.
- Gallwitz, H. 1949 — Eiskeile und glaziale Sedimentation. *Geologica*, Bd. 2; S. 1—24.
- Haase, G. 1963 — Stand und Probleme der Lössforschung in Europa. *Geogr. Ber.*, H. 27; S. 97—129.
- Johnsson, G. 1959 — True and false ice-wedges in Southern Sweden. *Geogr. Annaler*, vol. 41; S. 15—33.
- Kaiser, K. 1960 — Klimazeugen des periglazialen Dauerfrostbodens in Mittel- und Westeuropa. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, Bd. 11; S. 121—141.
- Keilhack, K. 1931 — Über die „atektonische Faltung“-Stiche in der Trias des Harzvorlandes. *Zeitschr. d. Dtsch. Geol. Ges.*, Bd. 83.
- Krüger, H. 1932 — Periglaziale Frostwirkung im Bereich der Borgentreicher Börde. *Zeitschr. f. Geomorph.*, Bd. 7; S. 206—230.
- Leffingwell, E. 1915 — Ground-ice wedges. The dominant form of ground-ice on the North Coast of Alaska. *Jour. Geol.*, vol. 23; S. 635—654.
- Lieberoth, I. 1963 — Löss-Sedimentation und Bodenbildung während des Pleistozäns in Sachsen. *Geologie*, Jhg. 12; S. 149—187.
- Picard, K. 1952 — Eiskeile in Sanden bei Dülmen (Westf.). *Geol. Rundschau*, Bd. 40; S. 51—55.
- Picard, K. 1957 — Eiskeile bei Kellinghusen. *N. Jhb. Geol., Pal., Mhe.*, Jhg. 1956; S. 365—373.
- Poser, H. 1947a — Dauerfrostboden und Temperaturverhältnisse während der Würm-Eiszeit im nichtverreisten Mittel- und Westeuropa. *Die Naturwiss.*, 34; S. 10—18.

- Poser, H. 1947b — Auftautiefe und Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit. *Die Naturwiss.*, 34; S. 232—238 u. 262—267.
- Poser, H. 1948 — Boden- und Klimaverhältnisse in Mittel- und Westeuropa während der Würmeiszeit. *Erdkunde*, Bd. 2; S. 53—68.
- Poser, H. 1951 — Die nördliche Lössgrenze in Mitteleuropa und das spätglaziale Klima. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, Bd. 1; S. 27—55.
- Ruske, R. u. Wünsche, M. 1964 — Zur Gliederung des Pleistozäns im Raum der unteren Unstrut. *Geologie*, Bd. 13; S. 211—222.
- Rohdenburg, H. 1965 — Untersuchungen zur quartären Formung am Beispiel der Westabdachung des Göttinger Waldes. *Giessener Geograph. Schriften*, H. 7.
- Schenk, E. 1955 — Die Mechanik der periglazialen Strukturböden. *Abh. d. Hess. Landesamtes f. Bodenforsch.*, H. 13; Wiesbaden.
- Schönhals, E., 1950 — Riss- und würmzeitliche Frostboden-Strukturen aus der Magdeburger Börde. *Geol. Jahrb.*, Bd. 65; S. 589—602.
- Schönhals, E. 1951 — Über fossile Böden im nichtvereisten Gebiet. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, Bd. 1; S. 109—130.
- Schönhals, E. 1959 — Der Basaltuff von Kärlich als Leithorizont des Würm-Hochglazials. *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 4; S. 313—322.
- Schönhals, E., Rohdenburg, H. u. Semmel, A. 1964 — Ergebnisse neuerer Untersuchungen zur Würmlöss-Gliederung in Hessen. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, Bd. 15; S. 199—206.
- Schott, C. 1932 — Das Problem des Dauerfrostbodens in den Randgebieten des norddeutschen Inlandeises. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin*, 1932; S. 287—299.
- Schostakowitsch, W. B. 1927 — Der ewig gefrorene Boden Sibiriens. *Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin*, 1927; S. 394—427.
- Selzer, G. 1936 — Diluviale Lösskeile und Lösskeilnetze aus der Umgebung Göttingens. *Geol. Rundschau*, Bd. 27; S. 275—293.
- Semmelmann, F. R. 1963 — Periglazialschutt und Eiskeilspalten am Alten Berg im nördlichen Sprendlinger Horst. *Rhein-Mainische Forsch.*, 54; S. 147—157.
- Soergel, W. 1932 — Diluviale Frostspalten im Deckschichtenprofil von Ehringsdorf. *Fortschr. d. Geol. u. Pal.*, H. 36; S. 439—460.
- Soergel, W. 1936 — Diluviale Eiskeile. *Zeitschr. d. Dtsch. Geol. Ges.*, Bd. 88; S. 223—247.
- Taber, St. M. 1943 — Perennially frozen ground in Alaska: its origin and history. *Geol. Soc. Am., Bull.*, vol. 54; S. 1433—1548.
- Troll, C. 1948 — Der subnivale oder periglaziale Zyklus der Denudation. *Erdkunde*, Bd. 2; S. 1—21.
- Washburn, A. L., Smith, D. D. u. Goddard, R. H. 1963 — Frost cracking in a middle-latitude climate. *Biuletyn Peryglacjalny*, no. 12; S. 175—189.
- Weinberger, L. 1944 — Frostspalten und Froststrukturen in Schottern bei Leipzig. *Geol. Rundschau*, Bd. 34; S. 539—544.
- Woldstedt, P. 1962 — Über die Gliederung des Quartärs und Pleistozäns. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, Bd. 13; S. 115—124.
- Zeuner, Fr. E. 1935 — Diluviale Frostspalten in Schlesien. *Jahresber. Geol. Ver. O. Schles.*, 1935; S. 97—105.



Билд 1. Еискеиле аус Рисс одер Алтвүрм (I) унд Миттелвүрм (II). Нидервеллмар, вестliche Grube

1. Еем-Боден — В-Норизонт; 2. Конкретionslage; 3. Блехноризонт; 4. Нидервеллмарер Боденкомплекс; 5—7. Миттелвүрмлöss; 8. Лöhнер Боденкомплекс; 9—12. Юнгвүрмлöss; I, II — Еискеилгенератюнен. Ерлöhтерунг дер Символе in Fig. 9. Масс-Стаб: 1 м

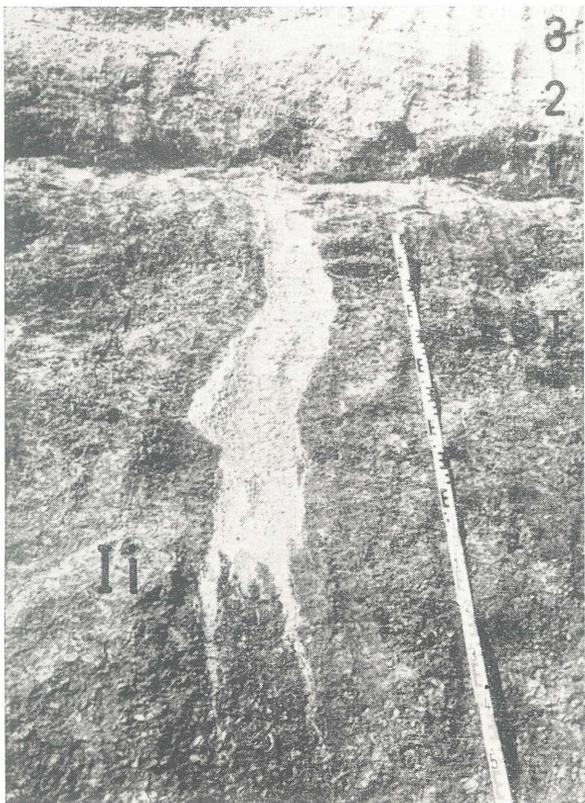
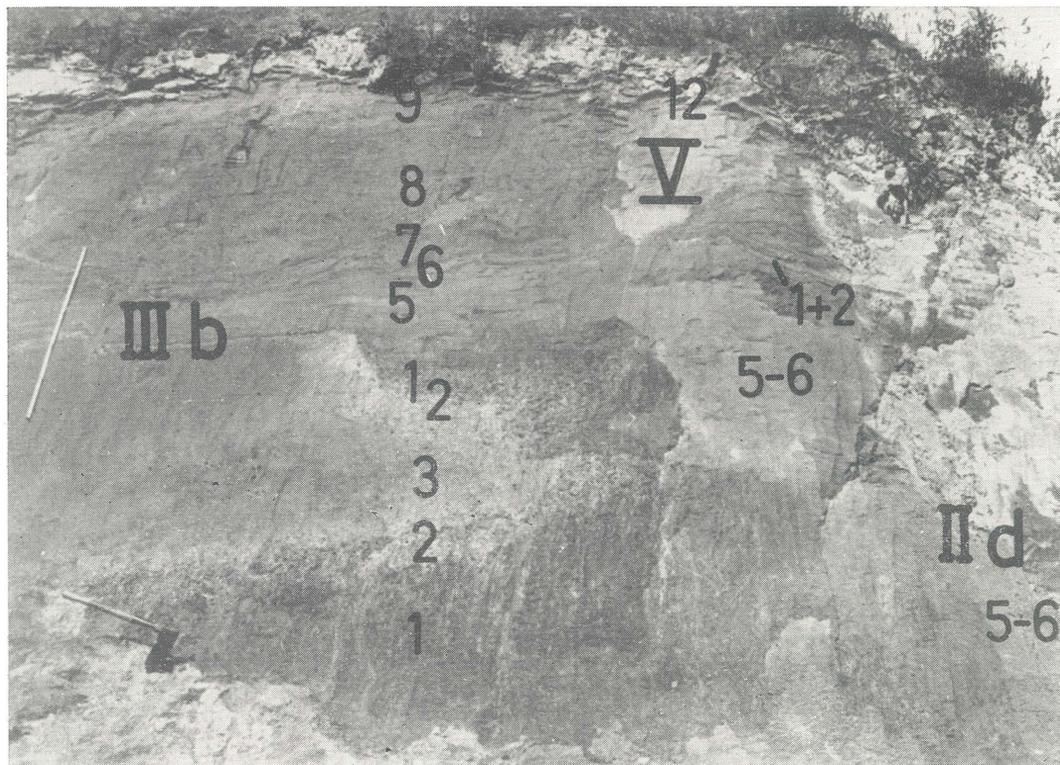


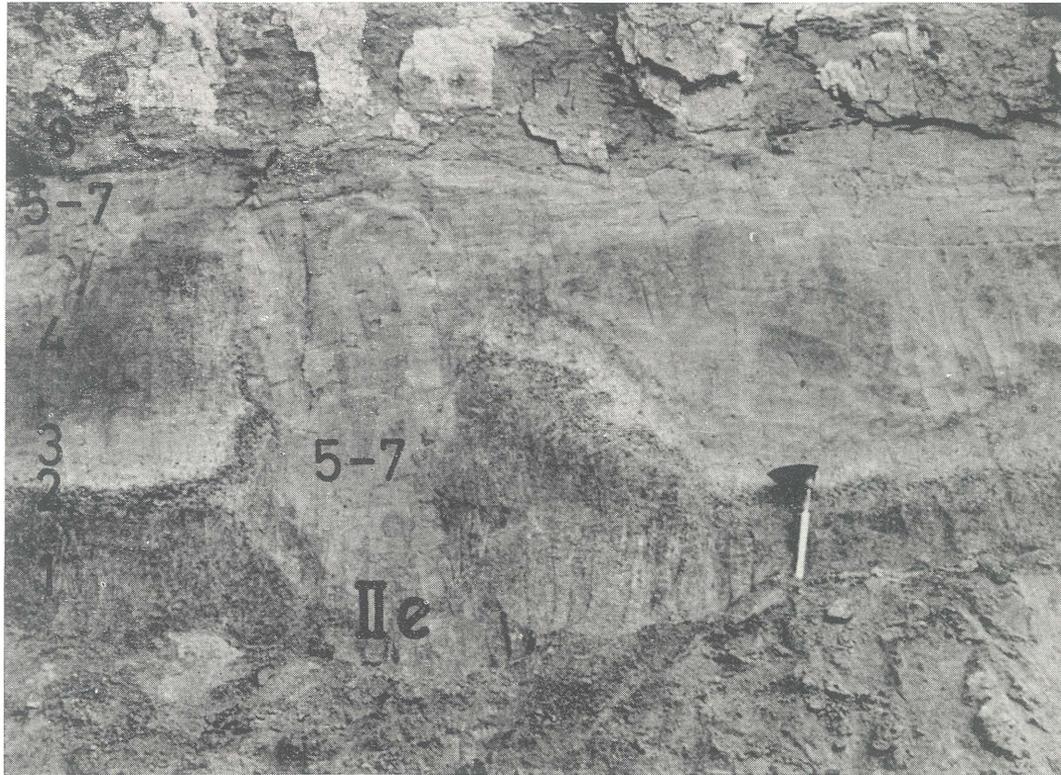
Bild 2. Eiskeil mit „Bart“ aus Frostspalten. Niedervellmar, westliche Grube. Ausschnitt aus Bild 1  
Mass-Stab mit Zentimeterteilung



Aufnahme: 1963

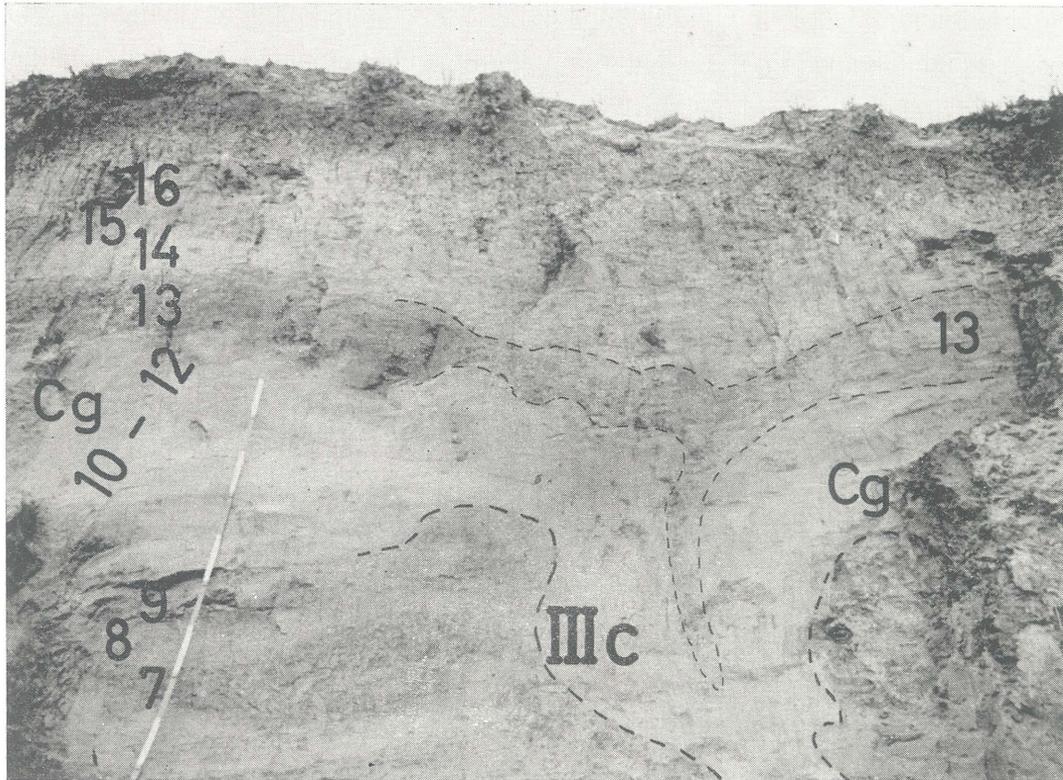
Bild 3. Eiskeile aus dem Mittel- und Jungwürm. Niedervellmar, östliche Grube, Ostwand Ausschnitt aus dem Bereich der Fig. 2

Legende: vgl. Fig. 2. Mass-Stab: 1 m



Билд 4. Миттелwürм-Еискеил мит стартен рандличен Аупрессунген. Ниедверлмар, өстliche Грубе, Остwand

Клappspaten: 50 cm. 1—8. vgl. Fig. 2



Билд 5. j3-Еискеил мѣт Сѣкундѣрспалте. Билшгаузен, Сѣдостванд

Легенде: вгл. Fig. 3 и 4. Масс-Стаб мѣт 20 см-Тѣилунг



Bild 6. Eiskeil mit zweifacher Füllung. Grossenritte, Nordwand  
1—4. Eem-Boden — B-Horizont; 5. Bleichhorizont; 6. Niedervellmarer Bodenkomplex; 7—12. vgl. Fig. 6;  
Cg — Carbonatgrenze. Klappspaten: 50 cm

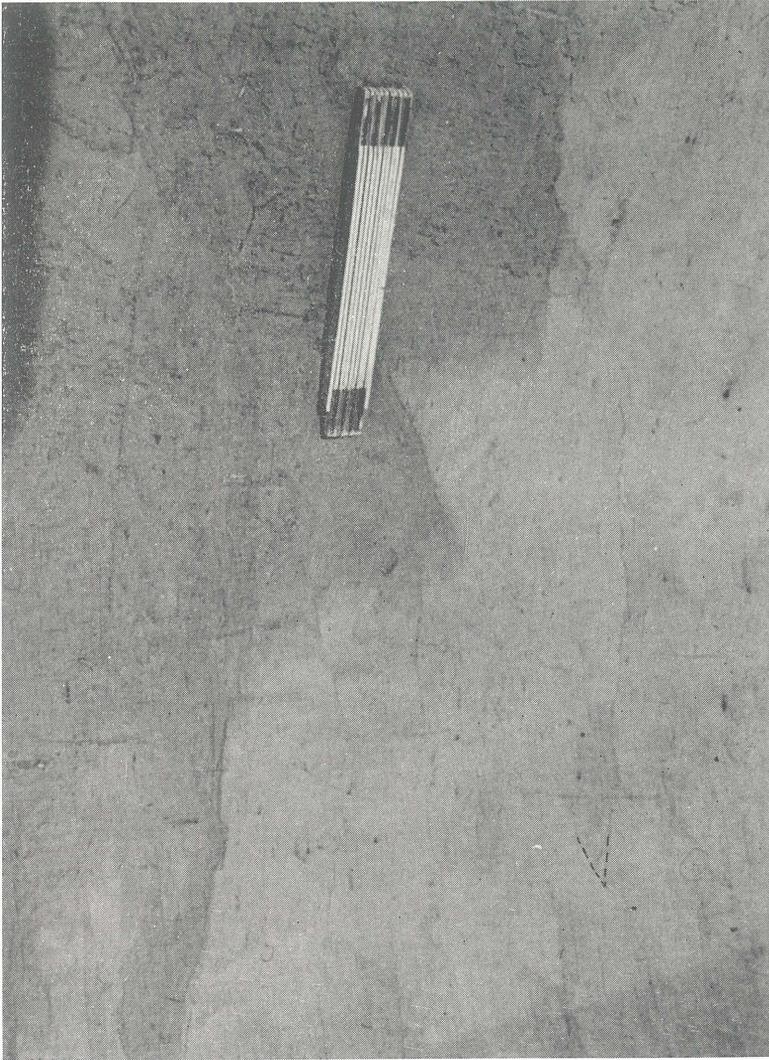


Bild 7. Blockgefüge am Eiskeilrand. Grossenritte, Nordwand. Ausschnitt aus Bild 6 (linke Keilschulter)

Einzeichnung: Spitze eines dreieckförmigen Lössblockes. Mass-Stab: 20 cm

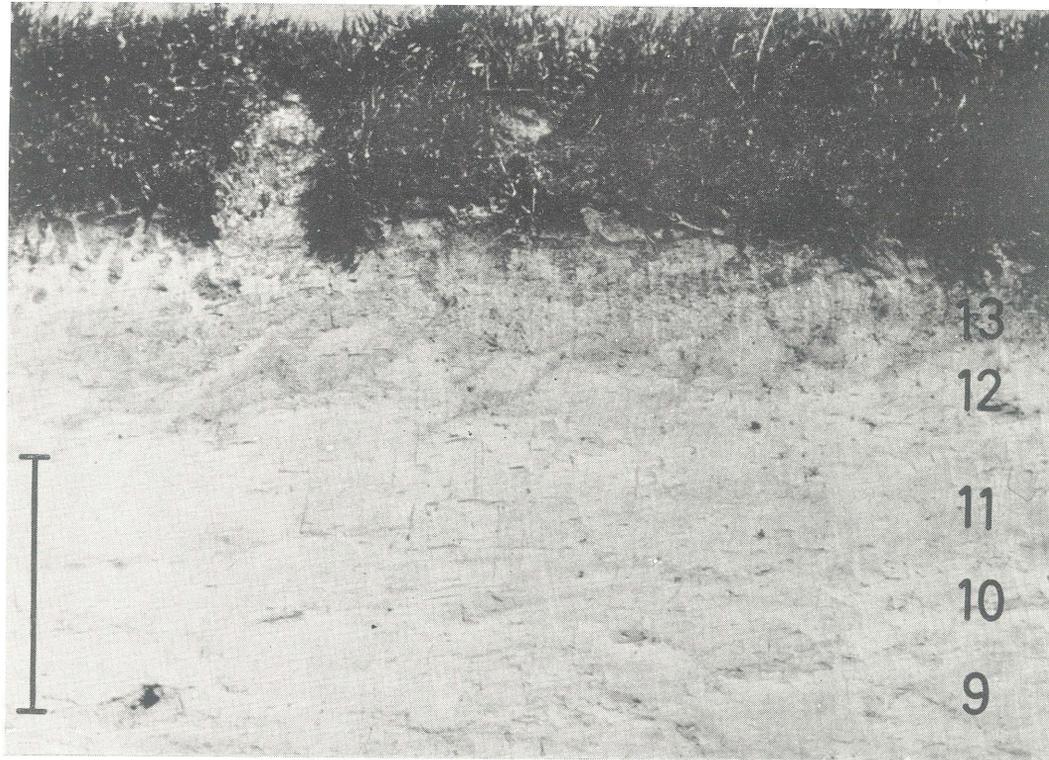
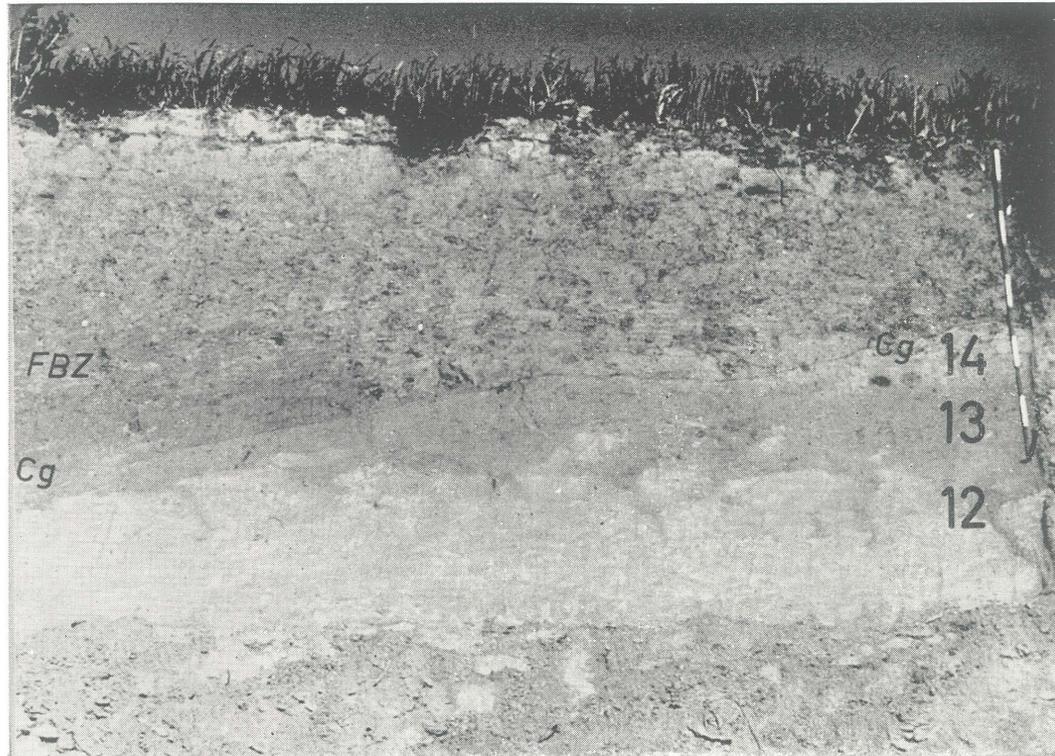


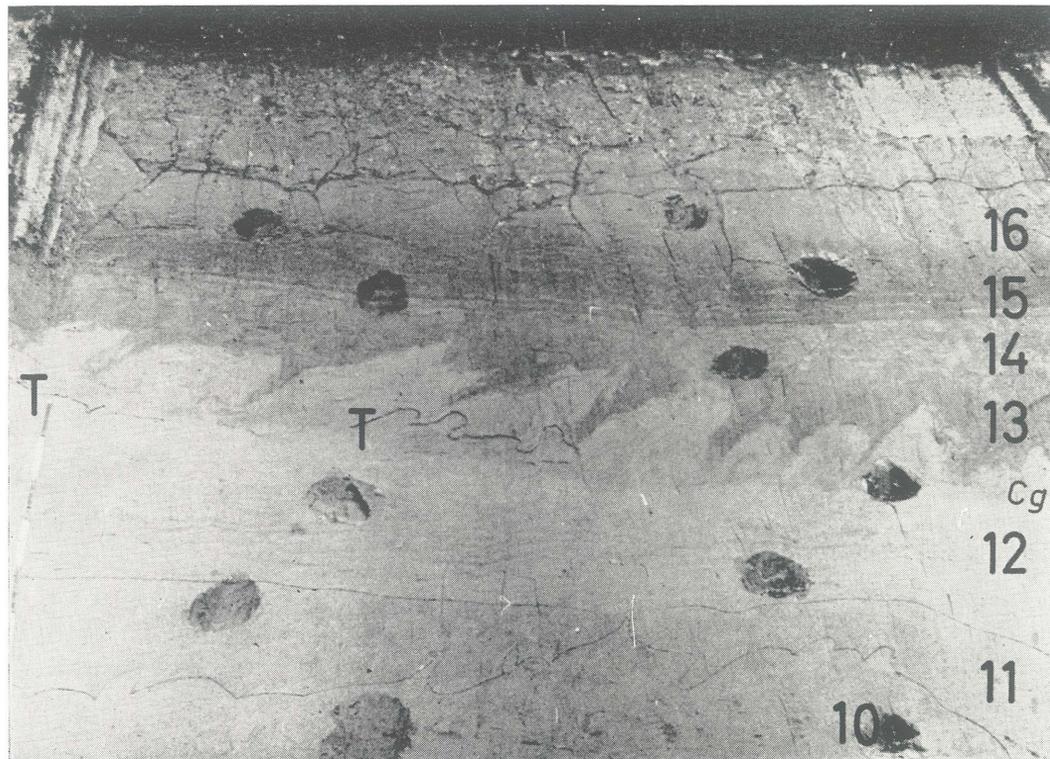
Bild 8. Sich überschneidende Kleinkeile im j3 $\delta$ . Grossenrite, Ostwand

Mass-Stab: 1 m. Links an Fig. 6 anschliessend. Legende: vgl. Fig. 6. Oberer Teil des Bildausschnittes bewachsen



Билд 9. Клеинкеиле им ј3δ. Гроссенрилле, Оствалл. Аусснитт аус Fig. 6 (Миттелтеил)

Масс-Стаб мит 20 см-Теилунг. Легенде: вгл. Fig. 6



Билд 10. Клинкелы им  $j3\delta$  (13). Вольмаршгаузен, Нордванд

Масс-Стаб с 20 см-деленем. Легенда: см. Фиг. 8. Почва  $j4\beta$  (15) находится в области зоны пятен-полос.



Bild 11. Eiskeil der j4-Generation. Hofgeismar, östliche Grube

Mass-Stab mit 20 cm-Teilung. Cg — Carbonatgrenze; 10. j2 $\alpha$ ; 11. j2 $\beta$ ; 12. j3 $\alpha$ - $\gamma$ ; 13. j3 $\delta$ ; 14. j4 $\alpha$ ; 15. j4 $\beta$