

Stratigraphie und Genese fossiler Böden im Jungmoränengebiet südlich von Kiel

PETER FELIX-HENNINGSSEN & HANS-JÜRGEN STEPHAN *)

Pedogenesis, fossil lessivé soil, Warthe Glacial, boulder clay, Eemian Interglacial, overlain, glacial sedimentation, Weichsel Glacial, pit section, micromorphology test, macromorphology test, clay migration, climatic development, soil profile, size distribution, major element analysis. North West German Lowlands, Young Moraine Zone South Kiel, Schleswig-Holstein, TK 25 Nr.: 1726

Kurzfassung: Im weichselzeitlichen Moränengebiet südlich von Kiel sind häufig fossile Reste eemzeitlicher Parabraunerden auf warthezeitlichen Schmelzwassersedimenten oder Geschiebemergel aufgeschlossen. Die Bodenreste werden von der kalkhaltigen weichselzeitlichen Sedimentserie überlagert. Mittels makro- und mikromorphologischer Untersuchungen konnten die ursprünglichen Merkmale intensiver Tonverlagerung rekonstruiert werden. Pechochemische Analysen belegen eine große und tiefreichende Verwitterungsintensität. Der Klimaentwicklung im Eem-Interglazial entsprechend wurden die Parabraunerden gegen Ende der Warmzeit durch lokale Vergleyung überprägt. Noch vor dem ersten Vorstoß des weichselzeitlichen Inlandeises kam es zu einer periglazialen Überprägung der Böden und während der Vergletscherung zur Gefügeverdichtung und häufig zu Verknetungen durch Eisdruck und Eisschub.

[Stratigraphy and Genesis of Fossil Soils in the Young-Moraine Zone South of Kiel]

Abstract: In the area with Weichselian moraines south of Kiel fossil remnants of Eemian lessivé-soils are found. The soils had developed from Warthian meltwater sediments or tills. They are overlain by the calcareous Weichselian sediment series. The former marks of an intensive clay migration could be reconstructed by macro- and micromorphological investigations. Pechochemical analyses show a strong and deep-reaching weathering. The lessivé-soils were altered by local gleyification at the end of the Eemian interglacial parallel to the climatic development. Prior to the first advance of the Weichselian inland ice the soils were altered by periglacial processes. During the glaciation the soil horizons were compacted and frequently kneaded together due to push and pressure of the ice.

1. Einleitung

Eemzeitliche Fossilböden als stratigraphische Leithorizonte für die prä-weichselzeitliche Landoberfläche kommen besonders im „Jungmoränengebiet“ zwischen Brügge und Bissee, ca. 20 km südlich von Kiel, vor. Sie sind in den dort sehr zahlreichen Kiesgruben im Liegenden von weichselzeitlichen Moränen und Schmelzwassersedimenten aufgeschlossen. Detaillierte Aufschlußuntersuchungen erbrachten wesentliche Ergebnisse über den Verlauf der Weichseleiszeit in diesem Gebiet (STEPHAN 1974, 1979, 1981; STEPHAN & MENKE 1977). Die Untersuchungen ergaben, daß das „östliche Hügelland“ Schleswig-Holsteins, das seine Entstehung nach bisheriger Ansicht der weichselzeitlichen Vereisung verdanken sollte, bereits in wesentlichen Teilen während der Warthe-Eiszeit entstand. Denn die in der Jungmoränenlandschaft südlich von Kiel wie auch in der weiteren Umgebung (s. STEPHAN 1979, 1981) durchweg ziemlich hoch liegenden Eemböden belegen, daß das Gebiet in seiner Höhe und Morphologie bereits weitgehend warthezeitlich angelegt worden ist. Die weichselzeitlichen Gletscher sind in diese Landschaft eingedrungen und haben die höher liegenden Gebiete vielfach nur flach überlaufen oder sie — in der äußeren, westlichen Randzone der Vergletscherung — auch nur umlaufen. In den tiefer

*) Anschriften der Verfasser: Dr. P. Felix-Henningsen, Institut für Bodenkunde, Nußallee 13, D 53 Bonn. — Dr. H.-J. Stephan, Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein, Mercatorstr. 7, D 23 Kiel 21.

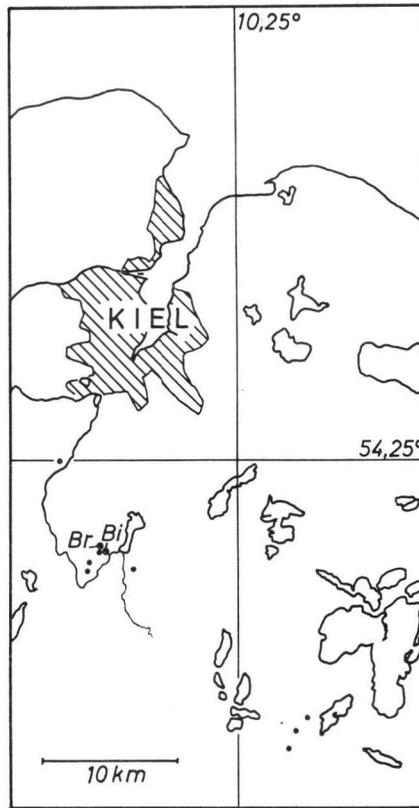


Abb. 1: Das Gebiet südlich von Kiel mit den Fundstellen eemzeitlicher Böden unter weichselzeitlichen Gletscherablagerungen.

Bi = Aufschluß Bissee (R 35 7195; H 60 0700)

Br = Aufschluß Brüggerholz (R 35 7120; H 60 0725)

liegenden Bereichen wurden eemzeitliche Böden oder Ablagerungen vom weichselzeitlichen Eis großenteils erodiert. Anzeichen für eine vorhergehende Schmelzwassertätigkeit fehlen weitgehend.

Die in den Hochlagen ausgedehnt erhaltenen Fossilböden bieten eine gute Möglichkeit für detailliertere paläopedologische Untersuchungen. Bisherige Kenntnisse über die Bodenentwicklung im Eem-Interglazial fußen vor allem auf Untersuchungen an Fossil- und Reliktböden im saalezeitlichen „Altmoränengebiet“ Schleswig-Holsteins (STREMME 1960, 1964, 1979, 1981; MENKE & BEHRE 1973; MENKE 1976; FELIX-HENNINGSEN 1979, 1980; STREMME & MENKE 1980). Hier aber haben die meisten Eemböden in starkem Maße der periglazialen Zerstörung und sekundären Veränderung durch holozäne Bodenbildungsprozesse unterlegen. Die Untersuchungen in den Aufschlüssen von Brüggerholz und Bissee hatten zum Ziel, die ursprünglichen Merkmale, das Spektrum der Bodentypen und ihre Veränderung durch die weichselzeitliche Überfahung und Moränenbedeckung zu rekonstruieren, um sowohl die bisherigen stratigraphischen Ergebnisse abzusichern, als auch die Kenntnis über Bodenentwicklung und Landschaftswandel im Eem-Interglazial zu erweitern. Neben Geländeuntersuchungen wurden mikromorphologische und pedochemische Analysen an ausgewählten Profilen vorgenommen.

2. Morphologische und pedochemische Merkmale der fossilen Bodenbildung

Die Schichtenfolge der Aufschlüsse von Brüggerholz und Bissee wird durch einen Verwitterungshorizont zweigeteilt, den STEPHAN (1979) dem Eem-Interglazial zuordnete. Die Fossilböden sind in kiesigen Sanden und Geschiebelehm der Warthe-Eiszeit ausgebildet, deren Stratigraphie durch sedimentpedrographische Untersuchungen belegt ist (STEPHAN 1979; KABEL pers. Mitt.). Durch die weichselzeitliche Exaration fehlen die oberen Horizonte der Bodenbildungen, so daß unter dem 0,5—1,5 m mächtigen Geschiebemergel des 1. Weichsel-Vorstosßes (Brügge-Moräne) nur noch ein Bodenrest wechselnder Mächtigkeit vorliegt. Über dem Geschiebemergel folgen stellenweise schluffig-feinsandige Beckensedimente, die in Depressionen der ehemaligen Gletscheroberfläche abgelagert wurden und darüber 10—20 m mächtige Vorschüttande des 2. Weichsel-Vorstosßes. Die weichseleiszeitliche Schichtfolge ist vom 2. Weichsel-Vorstosß häufig gestaucht worden (s. Abb. 2).

Da die weichselzeitliche Sedimentserie durchweg kalkhaltig ist, kann ausgeschlossen werden, daß eine sekundäre Veränderung der Fossilböden durch rezente Bodenbildungsprozesse erfolgt ist. Je nach Ausgangsmaterial treten verschiedene Typen fossiler Bodenbildung auf. Sie werden im folgenden differenziert betrachtet.

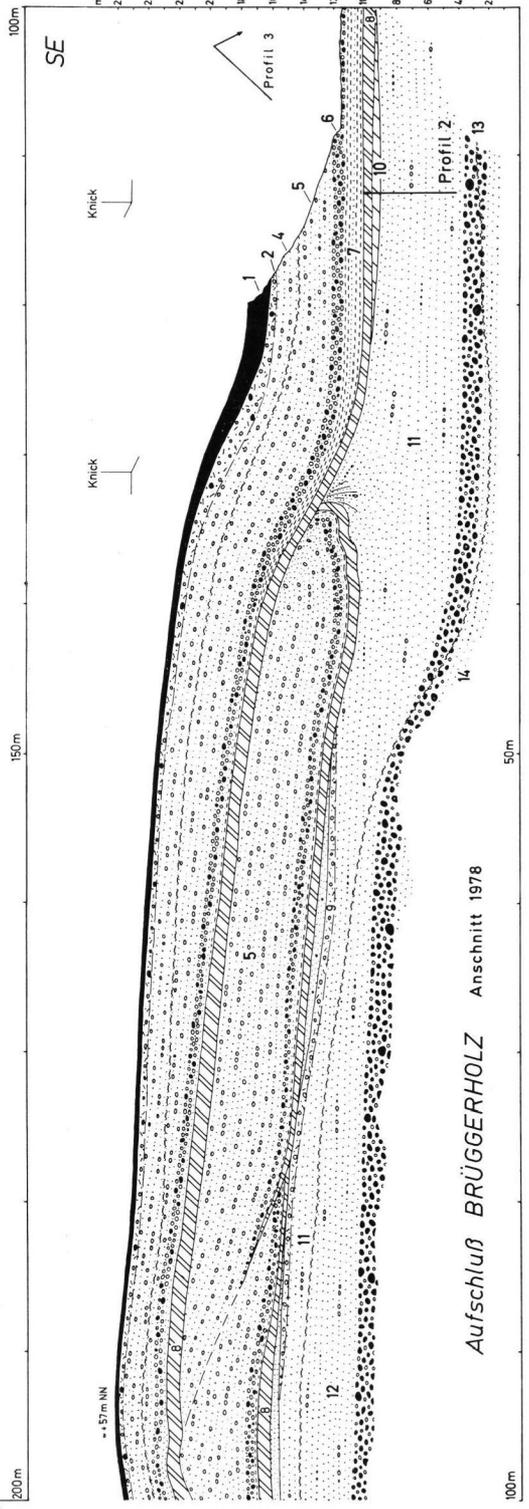
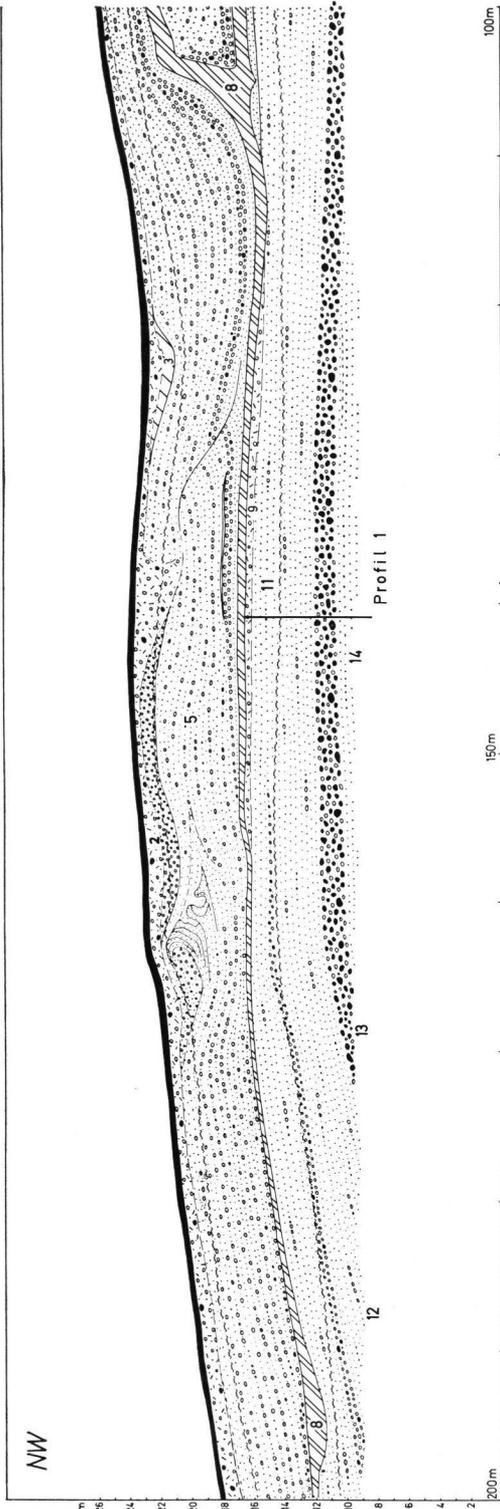
2.1. Fossile Bodenreste auf kiesig-sandigen Sedimenten

Im Aufschluß „Brüggerholz“ erstreckt sich eine 2—6 m mächtige, entkalkte Verwitterungszone im Liegenden der Weichsel-I-Moräne über 200 m weit im Streichen der NE-Wand (Abb. 2). Das Ausgangsmaterial dieses Bodenrestes sind kalkhaltige (ca. 10—20 % CaCO_3), kiesige Schmelzwassersande der Warthe-Eiszeit. Die entkalkten Sande schließen nach oben mit einer steinreichen Fließerde ab, in der ein markanter rostfarbener fB_{st} -Horizont ausgebildet ist (Abb. 3). Die starke Eisenoxid- und Tonanreicherung in Form schmieriger Skelettüberzüge festigt den Gefügeverband des steinig-sandigen Substrates. Aus den gleitenden Horizontübergängen und der ungeschichteten, kompakten Lagerung kann gefolgert werden, daß die Fließerde als ein warthezeitliches Sediment vor der Bodenbildung abgelagert wurde. Die Grenze zwischen Weichsel-Geschiebemergel und Fließerde mit dem obersten Bodenhorizont ist scharf gezogen, doch sind im basalen Teil der hangenden Moräne häufig feinschichtige, horizontale Einschleppungen von Bodenmaterial zu beobachten. Von dieser Kontaktzone aus ziehen einzelne Eiskeil-Pseudomorphosen sowie zahlreiche mit hellem, kalkhaltigen Feinsand gefüllte Frostspalten in die fossilen Bodenhorizonte hinab. Sie sind Merkmal einer Periglazialphase, die dem 1. Weichsel-Vorstosß voranging.

Der kompakte, rostbraune fB_{st} -Horizont in der Fließerde löst sich nach unten mit dem Übergang zu dem fluviatilen Sediment in breite horizontale Anreicherungsbänder auf. Sie nehmen in dem gelbbraunen, schwächer verwitterten Sand nach unten an Breite und Farbintensität ab und enden an der Entkalkungsgrenze. Diese im Streichen der Aufschlußwand über 100 m weit durchgehend zu verfolgenden Bodenhorizonte sind lateral sehr gleichförmig ausgebildet. In ihrer Mächtigkeit und Färbung sehr ähnliche fossile Bodenreste in gleicher stratigraphischer Position sind in zahlreichen Kiesgrubenaufschlüssen des Jungmoränengebietes südlich von Kiel anzutreffen.

Mikromorphologische und pedochemische Untersuchungen wurden an einem Profil gleichen Typs in einem Aufschluß bei „Bissee“ durchgeführt (s. Abb. 3; Taf. 1, Fig. 1).

Mit den Dünnschliffuntersuchungen sind die ursprünglichen Merkmale des Paläobodens und ihre sekundäre Veränderung sehr gut zu identifizieren:



Aufschluß BRÜGGERHOLZ Anschnitt 1978

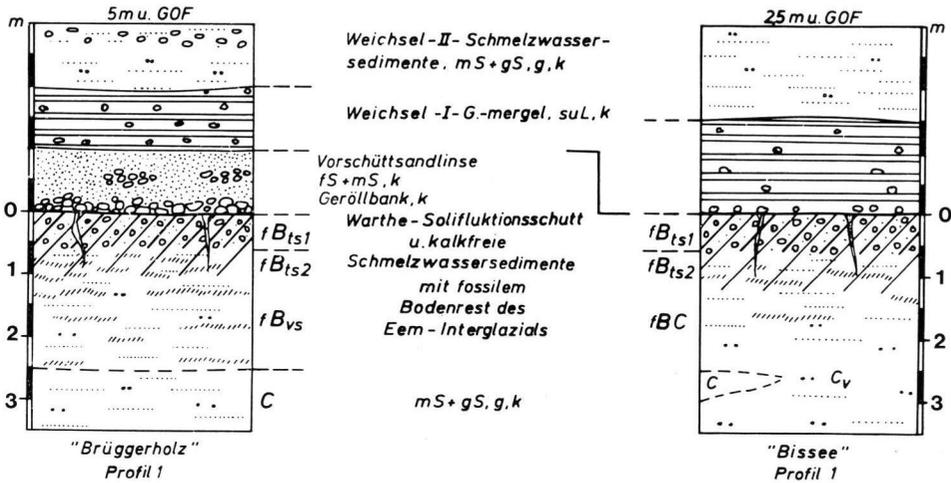


Abb. 3: Fossile Reste von Parabraunerden aus warthezeitlichen Schmelzwassersanden unter Sedimenten der Weichseleiszeit in Brüggerholz und Bissee.

Brüggerholz, Pofil 1:

- fb_{ts1} 0 — 50 cm: dunkelrotbrauner (5 YR 3/2-3, 7,5 YR 5/4-6) lehmiger Grob- und Mittelsand, stark steinig, kalkfrei, durch Ton und Eisenoxide verbacken; Fließerde
- fb_{ts2} 50 — 100 cm: gelbbrauner (10 YR 7/4) Grob- und Mittelsand, stark kiesig, kalkfrei, rostbraune B_{ts}-Bänder mit einem Abstand von 5—20 cm; Warthe-Schmelzwassersande
- fb_{vs} 100 — 250 cm: hellgelbbrauner (10 YR 7/2) Mittel- und Grobsand, kalkfrei, rostbraune B_{ts}-Bänder mit mehr als 20 cm Abstand
- C + 250 cm: gelbgrauer (2,5 YR 7/2) Mittel- bis Grobsand, kalkhaltig

Bissee, Profil 1:

- I C 150 — 0 cm: Weichsel-I-Geschiebemergel; schluffig-sandiger kalkiger Lehm, gelbgrau (10 YR 6/3)
- II fb_{ts1} 0 — 60 cm: dunkelbrauner (5 YR 4/4-7,5 YR 4/6) lehmiger Mittel- und Grobsand mit verbackenen Zonen durch starke Anreicherung von Ton und Eisenoxiden; kalkfrei, steinige Fließerde
- fb_{ts2} 60 — 90 cm: rostbrauner (7,5 YR 5/6) Mittelsand, kiesig, kalkfrei
- fBC + 90 cm: graubrauner (10 YR 6/4-6) kalkfreier Mittel- und Grobsand, mit heller kalkhaltiger Linse und feinen rostbraunen B-Bändern; Warthe-Schmelzwassersand

← Abb. 2: Der Aufschluß Brüggerholz, Nordostwand (nach STEPHAN 1979), mit Einzeichnung der beschriebenen Profile.

1 = Mutterboden und Abschlämmanmassen; 2—8 = weichselzeitliche Schichten: 2 = Fließerde, teilweise übergehend in Geschiebelehm; 3 = Geschiebelehm (Bordesholm-Moräne); 4 = (bis zur Häkchenlinie) Schmelzwassersande, stark kiesig, im Holozän verwittert; 5 = wie 4, jedoch unverwittert, kalkig; 6 = Kies-Geröllhorizont; 7 = Beckenschluff mit Sandlagen; 8 = Geschiebemergel (Brügge-Moräne); 9 = Fließerde aus eemzeitlicher Parabraunerde. z. T. mit Verbrodelung; 10 = Geschiebelehm als Pseudogley; 11 = (bis zur Häkchenlinie) warthezeitlicher Schmelzwassersand, kiesarm, „dünn-schichtig“, verwittert, mit zahlreichen Rostbändern; 12 = wie 11, jedoch unverwittert, kalkig; 13 = Geröllbank mit Kleinblöcken; 14 = Schmelzwassersande mit Kieslagen.

In den fB_{ts} -Horizonten ist das Sandskelett in eine dichte tonig-schluffige Grundmasse eingebettet und zeigt eine Tendenz zur horizontalen, feinplattigen Einregelung. Primäre Poren und Wurzelkanäle fehlen, waren aber ursprünglich einmal vorhanden. Die in diesen Hohlräumen im Zuge einer Tonverlagerung orientiert abgelagerten Feintonbeläge sind abgerissen oder zerdrückt und in die Matrix eingebettet, teilweise noch die ehemalige Porenform nachzeichnend. Schon in der weichselzeitlichen Periglazialphase, vor der ersten Gletscherüberfahrung, könnte die Zerstörung der porenorientierten Tonverlagerungsmerkmale durch Kryoturbation, die Bildung von Frostspalten und den Druck des Permafrostes erfolgt sein.

Während der Vergletscherung hat die Eisauflast zu einer Gefügeverdichtung geführt, so daß die Hohlräume schwanden, Tonbeläge isoliert wurden und sich plattige Gefügestrukturen bildeten. Für die Verdichtung durch Auflast sprechen ebenfalls dünne Druckhüllen aus oberflächenparallel orientierter Schluff- und Grobtonsubstanz um das Grobsandskelett (skelsepisches Gefüge, n. BREWER 1964: 312).

Die in der intensiv rostbraunen Horizontfärbung zum Ausdruck kommende Eisenoxid-Anreicherung wird ebenfalls mikromorphologisch sichtbar. Die Oxide stammen vor allem aus der Verwitterung von Biotiten, die auch jetzt noch mit den Merkmalen aller Verwitterungsstadien in der Schlufffraktion mengenmäßig dominieren, sind aber weder diffus in der Tonsubstanz verteilt wie bei einer normalen Parabraunerde, noch in Skeletthüllen angereichert wie bei einem Podsol. Die Oxide durchsetzen die tonige Feinsubstanz in zahllosen, relativ scharf begrenzten Granulaten ($2-10 \mu \phi$), die vermutlich eine Alterungsform von Eisenoxidgel darstellen (Taf. 1, Fig. 2).

In der Korngrößenverteilung und den pedochemischen Merkmalsgradienten treten die sedimentologischen und verwitterungsbedingten Unterschiede zwischen der hangenden Weichsel-Moräne und den fossilen Bodenhorizonten darunter deutlich hervor. Der Weichsel-Geschiebemergel ist gegenüber den warthezeitlichen Sedimenten durch einen hohen Ton- und Schluffgehalt, einen Karbonatgehalt von 18,6 % und geringe Gehalte an freien Sesquioxiden gekennzeichnet.

Die warthezeitliche Solifluktionsschicht und das fluviatile Sediment weisen in den am stärksten verwitterten fB_{st} -Horizonten bei sehr geringen Schluffgehalten einen beachtlichen Tongehalt von 11 % auf, der überwiegend die Folge von Neubildung und Anreiche-

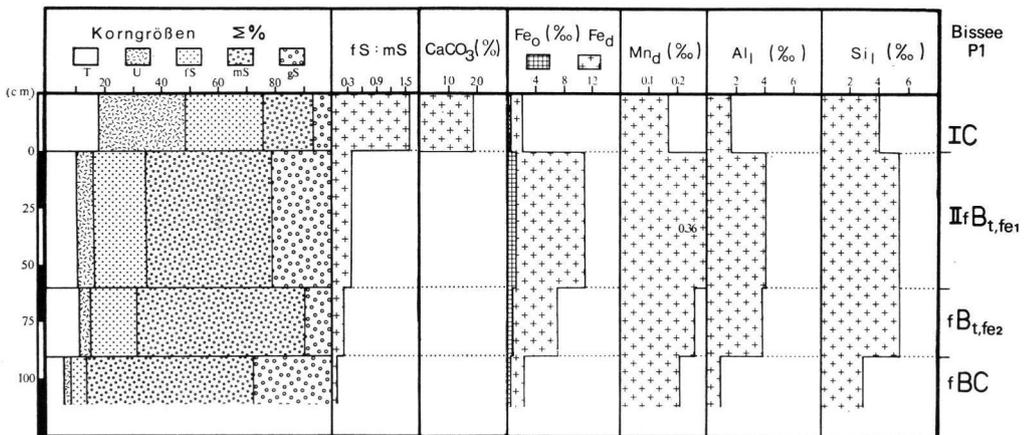


Abb. 4: Bissee, Profil 1 — Tiefenfunktionen der Korngrößenverteilung, des Karbonatgehaltes und der freien Oxide.

rung im Zuge der Lessivierung sein dürfte. Denn die sehr eng beieinanderliegenden fS : mS-Verhältnisse dieser Horizonte lassen darauf schließen, daß die Solifluktsdecke ein Umlagerungsprodukt des fluviatilen Sediments darstellt und somit ursprünglich tonärmer war.

In krassem Gegensatz zu dem unverwitterten Weichsel-Geschiebemergel sind die fossilen Bodenhorizonte durch sehr hohe Gehalte an freien Sesquioxiden gekennzeichnet, die entsprechend dem von einer ehemaligen Landoberfläche ausgehenden Verwitterungseinfluß zur Tiefe hin abnehmen. Da die Oberbodenhorizonte erodiert wurden, ist nicht abzu-sehen, ob Verlagerungsprozesse im Rahmen einer Podsolierung zu der intensiven Oxidakkumulation geführt haben. Die Gehalte an organischer Substanz liegen in allen Horizonten nur noch im Bereich der Nachweisgrenze ($< 0,2\%$). Durch die Infiltration kalkhaltiger Sickerwässer aus den hangenden Sedimenten wurden die fossilen Bodenhorizonte in der naturgemäß sehr labilen Lösungs- und Sorptionsphase sekundär verändert, so daß heute bei neutralen bis schwach alkalischen pH-Werten eine 100 %-ige Basensättigung vorliegt.

2.2. Fossile Bodenreste auf Warthe-Geschiebemergel

In mehreren Aufschlüssen lagern zwischen der hangenden weichselzeitlichen Sedimentserie und den liegenden warthezeitlichen Schmelzwassersanden Bänke aus Warthe-Geschiebemergel mit meist nur geringer Ausdehnung und Mächtigkeit. In ihrem oberen Bereich weisen sie eine vom weichselzeitlichen Gletscher mehr oder weniger stark erodierte Verwitterungszone aus Geschiebelehm auf, die stratigraphisch den zuvor beschriebenen und benachbarten rotbraunen fossilen Bodenhorizonten in den kiesigen Schmelzwassersanden entspricht. Die Nachbarschaft beider Substrattypen und die laterale Veränderung der fossilen Verwitterungszone beim Substratwechsel wurde an der NE-Wand im Aufschluß „Brüggerholz“ beobachtet. Die Rückverlegung dieser Wand durch den fortschreitenden Kiesabbau erlaubte es ebenfalls, die räumliche Veränderung der fossilen Bodenreste zu erfassen. Während die rotbraunen Bodenhorizonte in den kiesig-sandigen Sedimenten lateral oft sehr gleichförmig ausgebildet sind (s. Abb. 3), scheinen die Verwitterungstypen in Warthe-Geschiebelehm einem engräumigen Wechsel zu unterliegen. Braune fossile Bodenreste wechseln mit graugefärbten, hydromorphen Bodenresten, für die nachfolgend ein Beispiel in Abb. 5 aus dem Aufschluß „Brüggerholz“ dargestellt ist.

Eine grünlichgraue Linse aus Warthe-Geschiebelehm, auf warthezeitlichen Schmelzwassersanden liegend, wird von der Weichsel-Moräne gekappt. In einem seitlich begrenzten Bereich, nur unterhalb des grüngrauen Geschiebelehms, werden die liegenden Warthe-Sande von breiten, horizontal ausgedehnten Zonen mit schwarz- und rostbraunen Oxidakkumulationen durchzogen. Dazwischen verlaufen bis zur Entkalkungsgrenze hinab gelbbraune Ton-Eisenoxid-Bändchen. Auch nimmt in diesem Bereich die Mächtigkeit der Entkalkungszone zwischen dem kalkhaltigen warthezeitlichen Schmelzwassersand und der Weichsel-Moräne von sonst 2—2,5 m auf etwa 6 m zu. Beim weiteren Abbau wurden Bereiche angeschnitten, in denen die Entkalkung sogar tiefer als 8 m hinabreicht (vgl. STEPHAN 1981, Abb. 6).

Offenbar wurde an dieser Stelle eine kleine Hohlform der eemzeitlichen Landoberfläche vom weichselzeitlichen Gletscher überfahren. Ein Bodenrest aus dem tiefsten Teil der Senke blieb erhalten. Seine grünlichgraue Farbe sowie vereinzelt Rostflecken und -bändchen kennzeichnen den ehemaligen Reduktionshorizont eines Naßbodens (Gley oder extremer Pseudogley). Ein teilweise erhaltenes polyedrisches Gefüge und kräftige Tonbe-

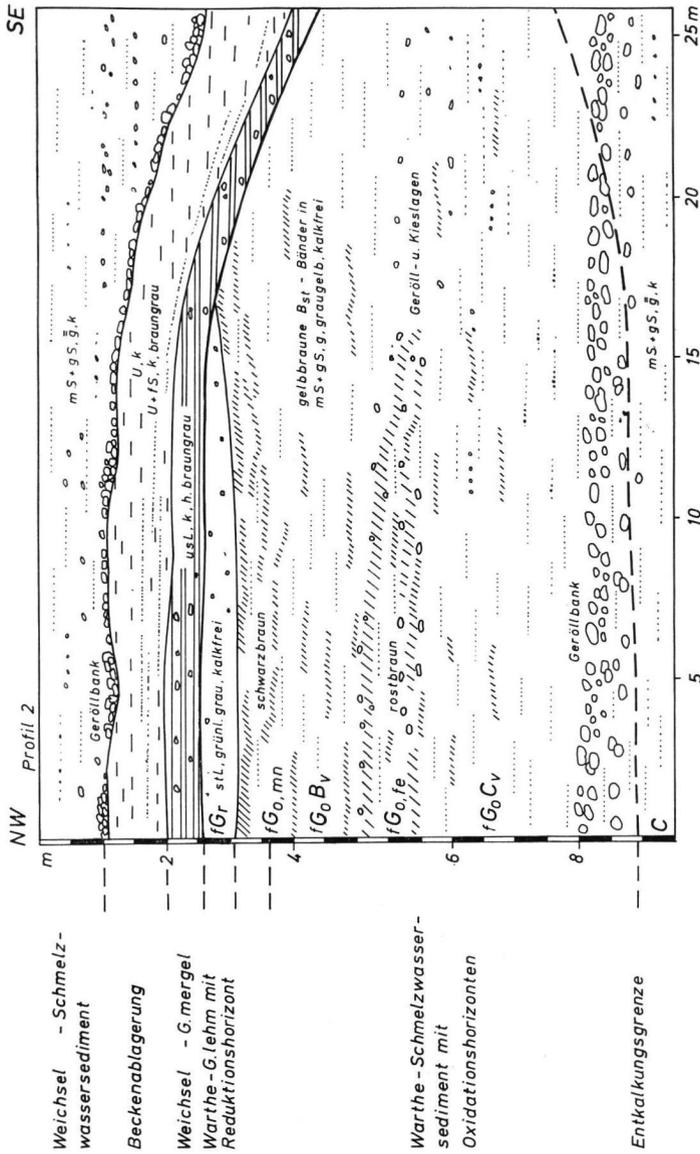


Abb. 5: Brüggerholz, Profil 2 — Fossile Naßbodenbildung aus Warthe-Geschiebelehm und Schmelzwassersanden unter Sedimenten der Weichseleiszeit.

läge auf den Gefüge- und Skelettoberflächen deuten auf eine polygenetische Entwicklung hin. Offenbar führte diese zunächst zur Bildung einer Parabraunerde, die später, vermutlich infolge klimatischer Veränderungen, durch Vergleyung überprägt wurde.

Beim weiteren Rückverlegen der Aufschlußwand um etwa 40 m nach Osten wurde die warthezeitliche Moränenbank in nur wenig höherer Position angeschnitten. Die braune Färbung der Verwitterungszone zeigt, daß jetzt eine flache Kuppenposition oder die Hangposition am Rande der oben beschriebenen Hohlform erfaßt wurde. Hier wurde ein Bodenprofil aufgenommen und morphologisch sowie pedochemisch untersucht (Abb. 6; Taf. 1, Fig. 3).

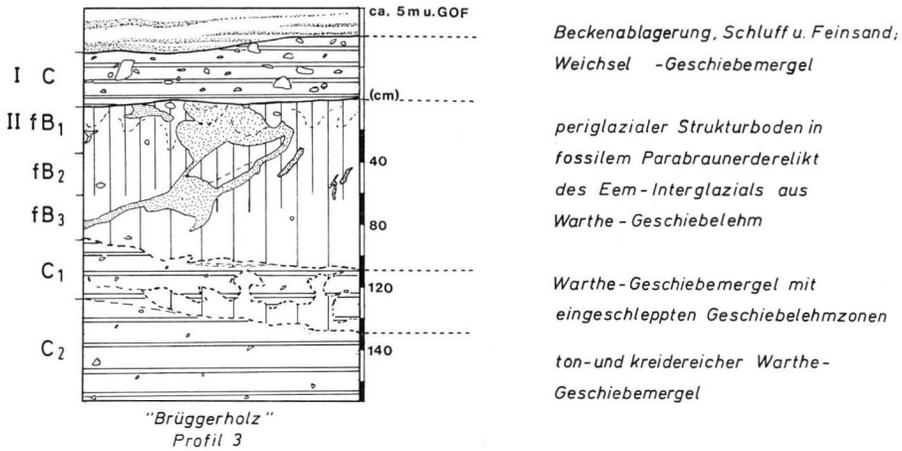


Abb. 6: Brüggerholz, Profil 3: Rest einer fossilen Parabraunerde aus Warthe-Geschiebelehm unter Sedimenten der Weichseleiszeit.

Brüggerholz, Profil 3:

IC	40 — 0 cm:	Weichsel-I-Geschiebemergel; hellgrauer (2,5 YR 6/2-4) sandig-schluffiger Lehm, steinig, kalkig
II fB ₁	0 — 30 cm:	Warthe-Geschiebelehm; rötlichbrauner (7,5 YR 4/4) stark lehmiger Sand, kalkfrei, schwache rostfarbene Flecken und Bändchen, hellgelbe, kalkhaltige Feinsandinseln neben gelbbraunen, kalkfreien Sandeinschlaltungen
fB ₂	30 — 60 cm:	dunkelgelbbrauner (10 YR 4/4) lehmiger Sand, kalkfrei
fB ₃	60 — 90 cm:	graubrauner (10 YR 4/3) lehmiger Sand, kalkfrei
C ₁	90 — 110 cm:	Warthe-Geschiebemergel; gelblichgrauer (10 YR 5/4) sandiger, kalkiger Lehm mit streifigen Einschaltungen aus kalkfreiem Geschiebelehm
C ₂	+ 110 cm	graugelber (10 YR 5/2) sandig-toniger, kalkiger Lehm; Warthe-Geschiebemergel mit Kreidegeschieben.

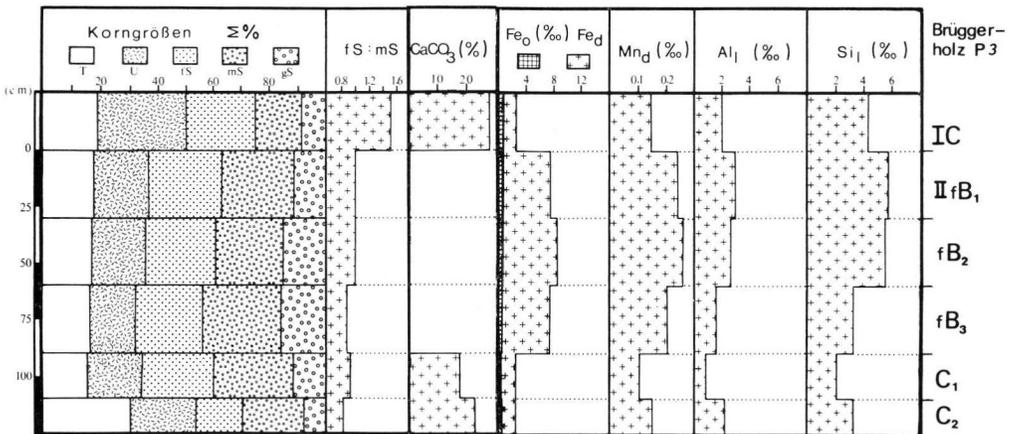


Abb. 7: Brüggerholz, Profil 3 — Tiefenfunktion der Korngrößenverteilung, des Karbonatgehaltes und der freien Oxide.

Der erste Weichsel-Geschiebemergel lagert mit einer scharf gezogenen Diskordanz auf der Warthe-Moräne, die aus etwa 1 m mächtigem rötlichbraunem Geschiebelehm über gelblich-grauem kreidereichem Geschiebemergel besteht. Der Geschiebelehm wurde aufgrund der deutlichen Verwitterung und Verbraunung, den Tonbelägen auf Skelettoberflächen und in einzelnen größeren Poren sowie der schwachen Rostfleckung als fossiler Bodenrest angesprochen. Es handelt sich um das Relikt einer Parabraunerde, deren Oberboden durch die weichselzeitlichen Eismassen erodiert wurde. Dabei kam es offenbar durch den auflastenden Eisdruck und durch den Eisschub zur Durchknetung und geringfügigen lateralen Verschleppung des gesamten Profils. So sind die Bodenhorizonte im Geschiebelehm mit sehr unregelmäßigem Grenzverlauf ausgebildet. Im basalen Profilsbereich ziehen Fahnen aus Geschiebemergel in den Geschiebelehm hinein, oder beide Bereiche sind stellenweise unregelmäßig, aber scharf gegeneinander abgegrenzt, miteinander verzahnt. Im oberen Bereich sind sandgefüllte Frostspalten oder Eiskeile abgerissen oder verschleppt worden und durchsetzen den Geschiebelehm als Sandschlieren unterschiedlicher Größe. Ein Teil von ihnen ist mit kalkhaltigem, hellem Feinsand gefüllt und steht oft noch mit der Obergrenze des Geschiebelehms in Verbindung. Diese Sandeinschaltungen treten in gleicher Art auch in den rotbraunen sandigen Bodenrelikten auf. Sie stammen aus der weichselzeitlichen Periglazialphase vor dem ersten Eisvorstoß. Daneben kommen ebenfalls verbreitet gelbbraune Sandeinschaltungen im Geschiebelehm vor, die entkalkt und verwittert sind. Sie treten bevorzugt ein wenig tiefer als die kalkhaltigen Einschaltungen auf und stellen die Reste eines sandigen, an Ton verarmten Oberbodens dar, der in der weichselzeitlichen Periglazialphase anfänglich in den Geschiebelehm eingearbeitet wurde. Es ist auch nicht völlig auszuschließen, daß es sich dabei sogar um Relikte warthezeitlicher Eiskeilpseudomorphosen, überprägt durch die eemzeitliche Verwitterung handelt. Jedoch spricht dagegen, daß die Sandlinsen und -schlieren sehr einheitlich zusammengesetzt und gefärbt sind und keine Horizontierung oder wandparallelen Ausfällungen zeigen, wie sie bei einer Überprägung durch Bodenbildungsprozesse üblicherweise auftreten.

Mikromorphologisch sind die primären, aber stark gestörten Merkmale einer Parabraunerde an den zgliederten Resten orientierter Tonbeläge deutlich zu erkennen. Eine sekundäre Verdichtung des Gefüges durch Eisdruck und -schub zeigt sich hier ebenfalls in feinplattigen Gefügestrukturen und der Hohlraumarmut (Taf. 1, Fig. 4).

Die Korngrößenverteilung (Abb. 7) weist zwischen Weichsel-Geschiebemergel und Warthe-Geschiebelehm deutliche Unterschiede im Schluffgehalt und dem Feinsand : Mittelsand-Verhältnis auf. Der fossile Bodenrest zwischen beiden Geschiebemergeln ist durch Karbonatauswaschung sowie durch hohe, in der Tendenz von unten nach oben zunehmende Gehalte an freien Oxiden und amorpher Kieselsäure aus der Silikatverwitterung gekennzeichnet. Die perglazialen und glazialen Strukturveränderungen und Umlagerungen bewirkten überraschenderweise keine intensive Durchmischung des Bodenmaterials, denn die typischen Verwitterungsgradienten sind auch heute noch deutlich erkennbar. Lediglich die pH- und Basensättigungswerte wurden auch hier sekundär durch die Infiltration kalkhaltiger Sickerwässer erhöht.

3. Stratigraphische und genetische Schlußfolgerungen

Die fossilen Bodenreste von „Brüggerholz“ und „Bisse“ wurden nach ihrer stratigraphischen Position, Mächtigkeit und Farbintensität von STEPHAN (1974, 1975, 1979, 1981) und STEPHAN & MENKE (1977) als Bodenbildungen des Eem-Interglazials gedeutet. Dieses wird durch die hier dargestellten paläopedologischen Befunde unterstützt. Die mikromorphologisch rekonstruierbaren ursprünglichen Merkmale der Tonanreicherung durch Verlagerungsprozesse kennzeichnen kräftig entwickelte Parabraunerden, die sowohl

auf karbonathaltigen, kiesigen Sanden als auch auf Geschiebemergel der Wartheeiszeit entstanden sind. Die intensive Verlehmung in den B_{ts} -Horizonten der kiesig-sandigen Bodenreste und die in allen Profilen tiefreichend hohen Gehalte an freien Fe- und Al-Oxiden sowie amorpher Kieselsäure sind als Ausdruck einer intensiven Silikatverwitterung zu werten. Zwar ist die ursprüngliche Mächtigkeit der fossilen Böden durch die wechsellzeitliche periglaziale und glaziale Erosion nicht mehr meßbar, doch dürfte nach der Intensität der Merkmalsausbildung in den obersten B-Horizonten ein Abtrag der untersuchten Profile von weniger als ein Meter anzusetzen sein. Danach betrug die eemzeitliche Verwitterungstiefe der kiesig-sandigen Sedimente in ebenen Lagen 3 bis 5 Meter und der Geschiebemergel 2 bis 3 Meter, im Bereich von Hohlformen allerdings erheblich mehr.

Eine Entstehung der untersuchten Bodenreste in einem frühen Interstadial des Weichselglazials als einzig mögliche stratigraphische Alternative, ist unwahrscheinlich. Bisher untersuchte Interstadialböden waren stets von geringerer Mächtigkeit (< 50 cm) und Verwitterungsintensität, ohne ausgeprägte Merkmale der Tonbildung und Tonverlagerung (DÜCKER & HUMMEL 1967; MENKE 1976; FELIX-HENNINGSSEN 1979, 1980; STREMMER 1979, 1981; STREMMER & MENKE 1980).

Durch pollenanalytische und paläopedologische Untersuchungen von Eem-Böden aus dem Altmoränengebiet Schleswig-Holsteins (MENKE 1975, 1976, 1979; FELIX-HENNINGSSEN 1979, 1980) liegen detaillierte Ergebnisse über Ablauf und Richtung von Bodenentwicklung und Landschaftswandel im Eem-Interglazial vor. In Anlehnung daran läßt sich aus den Merkmalen der fossilen Böden von „Brüggerholz“ und „Bisse“ ableiten, daß die warthezeitlichen Sedimente hier, ebenso wie im Altmoränengebiet, noch vor dem Einsetzen der Eem-Bodenbildung im Warthe-Spätglazial in weiten Bereichen mit einer Solifluktsionsdecke überzogen bzw. periglazial überprägt wurden. In diesem Ausgangsmaterial entstanden durch den eemzeitlichen Klimaverlauf und die damit verbundene Vegetationsentwicklung häufig polygenetische Böden, d. h. Böden mit den Merkmalen mehrerer Bodentypen, deren Bildung in Übereinstimmung mit den sich ändernden Umweltfaktoren stand. Dafür liefert die fossile Naßbodenbildung (Profil 2, Abb. 5) in „Brüggerholz“ ein gutes Beispiel:

Tonverlagerungsprozesse waren, der Entkalkung und Verbraunung folgend, im Klimaoptimum des Eems (Hasel- und Lindenzeit) in den Böden dominierend und führten auch in dem Geschiebelehm der Hohlform unter noch relativ trockenen Bedingungen zunächst zur Entwicklung einer Parabraunerde. Eine nach Überschreiten des Klimaoptimums durch allgemein abnehmende Sommertemperaturen, Nährstoffauswaschung und verstärkte Ausbreitung von Fichten und Heidekraut einsetzende und ab Ende der Hainbuchenzeit typische Podsolierung der Parabraunerden (MENKE 1975, 1976; FELIX-HENNINGSSEN 1979, 1980) ist auch für die hier untersuchten Profile anzunehmen, wegen der Erosion der Oberböden jedoch nicht beweisbar.

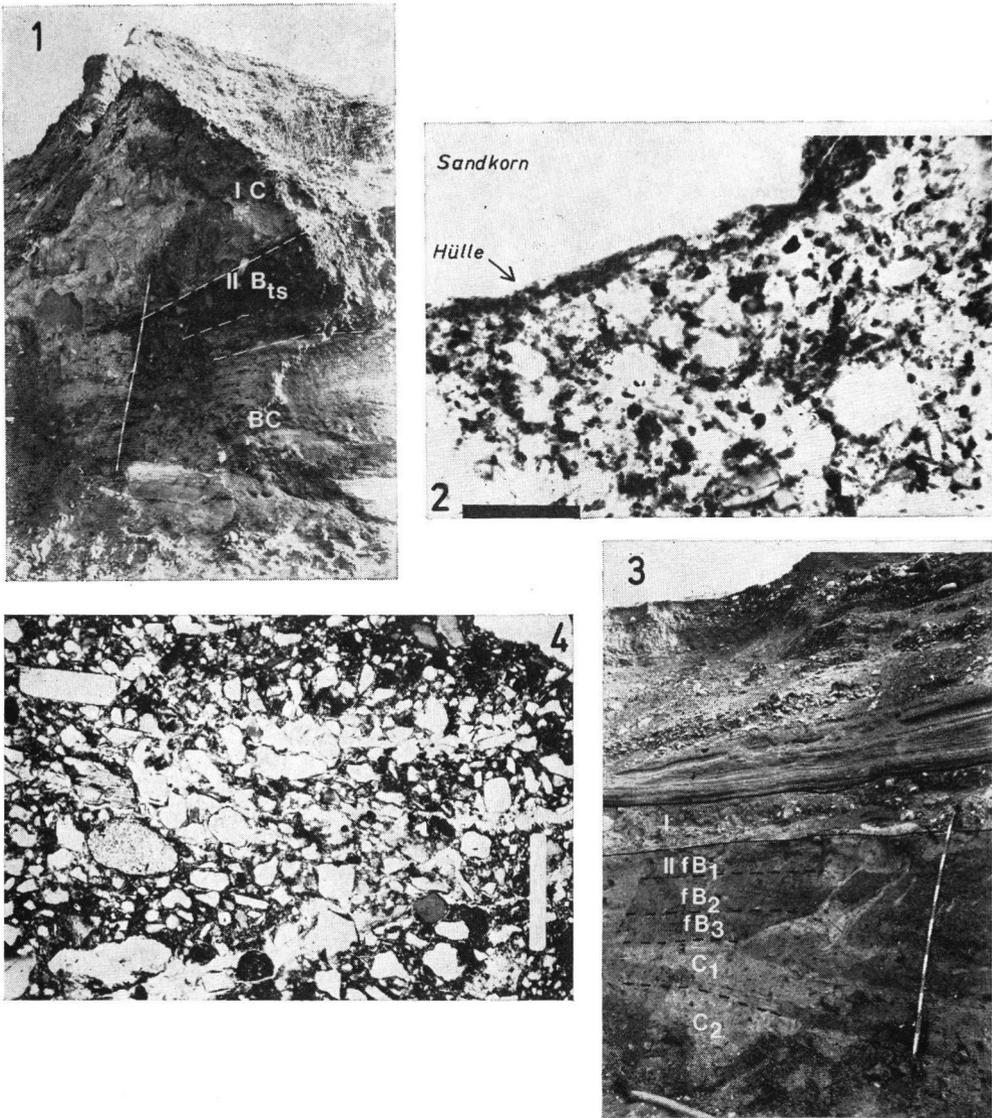
Der Wechsel zu kühl-humiden Klimabedingungen gegen Ende des Interglazials ließ in der Hohlform ein lokales Grundwasser entstehen, indem die Wasserzufuhr, verstärkt durch den seitlichen Wassereinzug, immer langfristiger die Versickerungsverluste übertraf. Dadurch wurde ebenfalls die Stoffumlagerung im Bereich der Hohlform intensiviert. Die sauren Bodenlösungen durchsickerten die Geschiebelehmabank und führten in den liegenden Schmelzwassersanden zu der besonders tiefreichenden Entkalkung. Hier wurden mitgeführte Tonminerale in B_t -Bändern abgelagert und durch Reduktion des Geschiebelehms gelöste Eisen- und Manganverbindungen oxidativ gefällt. Nach diesen Merkmalen hat ein Grundwasserkörper in den Sanden nicht existiert.

Der außerhalb der Hohlform gelegene fossile Boden mit braunem Geschiebelehm (Abb. 6 und Taf. 1, Fig. 3 und 4) weist trotz Unterlagerung mit tonreichem, dichtem Geschiebemergel nur schwache Staunässemerkmale auf. Somit ist für das Profil eine Aus-

bildung in Oberhang- oder Kuppenposition mit gutem seitlichen Wasserabzug anzunehmen. Insgesamt ergibt sich aus der Beobachtung der fossilen Böden eine Andeutung von der Morphologie der örtlichen eemzeitlichen Landoberfläche. Unter Einbeziehung von Erkenntnissen aus Aufschlußuntersuchungen in der näheren Umgebung ist sie offenbar mit einem teilweise engräumigen Wechsel von Hügeln und abflußlosen Senken der rezenten, wechsellzeitlich geprägten Oberfläche dieses Raumes recht ähnlich.

4. Schriftenverzeichnis

- BREWER, R. (1964): Fabric and mineral analysis of soils. — 470 S., New York (John Wiley a. Sons).
- DÜCKER, A. & HUMMEL, P. (1967): Die fossilen Böden von Odderade/Dithmarschen. — *Fundamenta*, B 2, 80—100; Köln-Graz.
- FELIX-HENNINGSSEN, P. (1979): Merkmale, Genese und Stratigraphie fossiler und reliktsicher Bodenbildungen in saalezeitlichen Geschiebelehmen Schleswig-Holsteins und Süd-Dänemarks. — Diss. Univ. Kiel: 218 S.; Kiel
- (1979): Bodenbildungen des Eem-Interglazials in Geschiebelehmen Schleswig-Holsteins. — *Mitt. Dt. Bodenkundl. Gesellsch.* 29: 911—916; Göttingen
- (1980): Eeminterglaziale Bodenbildungen. — In: „Quartär-Exkursionen in Schleswig-Holstein“, bearbeitet von H. E. STREMMER und B. MENKE: 76—78; Kiel (Geologisches Landesamt Schleswig-Holstein).
- MENKE, B. (1975): Vegetationsgeschichte und Florenstratigraphie Nordwestdeutschlands im Pliozän und Frühquartär. Mit einem Beitrag zur Biostratigraphie des Weichselfrühglazials. — *Geol. Jb.*, A 26: 3—151; Hannover.
- (1976): Neue Ergebnisse zur Stratigraphie und Landschaftsentwicklung im Jungpleistozän Westholsteins. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 27: 53—68; Öhringen.
- (1979): Markante Vegetationstypen im Quartär Westholsteins. — In: WILMANN, O. & TÜXEN, R. (Hrsg.): „Werden und Vergehen von Pflanzengesellschaften“: 153—164; Braunschweig (Cramer).
- & BEHRE, E.-K. (1973): State of research on the Quaternary of the Federal Republic of Germany: 2. History of vegetation and biostratigraphy. — *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 23/24: 251—267; Öhringen.
- STEPHAN, H.-J. (1974): Sedimentation auf Toteis in Schleswig-Holstein, diskutiert anhand einiger Beispiele. — *Meyniana*, 25: 95—100; Kiel.
- (1975): Erläuterungen zur ingenieurgeologischen Planungskarte Bordesholm (1:10 000): 76 S.; Kiel (Geol. L.-Amt Schleswig-Holstein).
- (1979): Der Aufschluß Brüggerholz, ein Schlüsselpunkt für das Verständnis der „Jungmoränenlandschaft“ Schleswig-Holsteins. — *Schr. Naturw. Ver. Schles.-Holst.*, 49: 25—34; Kiel.
- (1981): Eemzeitliche Verwitterungshorizonte im Jungmoränengebiet Schleswig-Holsteins. — *Verh. naturw. Ver. Hamburg*, (NF) 24 (2): 161—175; Hamburg.
- STEPHAN, H.-J. & MENKE, B. (1977): Untersuchungen über den Verlauf der Weichsel-Kaltzeit in Schleswig-Holstein. — *Z. Geomorph. N. F.*, Suppl. Bd. 27: 12—28; Berlin-Stuttgart.
- STREMMER, H. E. (1960): Bodenbildungen auf Geschiebelehmen verschiedenen Alters in Schleswig-Holstein. — *Z. dt. geol. Gesellsch.*, 112: 299—308; Hannover.
- (1964): Die Warmzeiten vor und nach der Warthe-Eiszeit in ihren Bodenbildungen bei Böxlund (westl. Flensburg). — *N. Jb. Geol.-Paläont. Mh.*, 4: 237—247; Stuttgart.
- (1979): Böden, Relief und Landschaftsgeschichte im nordwestdeutschen Raum. — *Z. Geomorph. N. F.*, Suppl.-Bd. 33: 216—222; Berlin-Stuttgart.
- (1981): Unterscheidung von Moränen durch Bodenbildungen. — *Meded. Rijks Geol. Dienst*, 34 — 8: 51—56; Den Haag.
- STREMMER, H. E. & MENKE, B. (1980): Quartär-Exkursion (Quaternary Excursions) in Schleswig-Holstein. — 7. Sitzung des IGCP Projekts 24: Quaternary glaciations in the northern hemisphere, Schleswig-Holstein, Germany, 21. 9. — 23. 9. 1980: 132 S.; Kiel (Geol. L.-Amt Schleswig-Holstein).



Tafel 1

Fig. 1: Bissee, Profil 1 — Rest einer fossilen Parabraunerde aus warthezeitlichem Schmelzwasser-sand unter Sedimenten der Weichseleiszeit; vgl. Abb. 3.

Fig. 2: Bissee, Profil 1 — Dünnschliffbild aus dem B_{ts1} -Horizont. Sandkorn mit Feinsubstanzhülle und unzähligen, scharf begrenzten Oxid-Granula in der tonigen Matrix.
Maßstab = 0,1 mm

Fig. 3: Brüggerholz, Profil 3 — Rest einer Parabraunerde aus Warthe-Geschiebelehm unter Sedi-menten der Weichseleiszeit; vgl. Abb. 6.

Fig. 4: Brüggerholz, Profil 3 — Dünnschliffbild aus dem II fB_1 -Horizont. Durch Eisdruck ver-dichteter Geschiebelehm mit plattigem Korngefüge.
Maßstab = 1 mm

