

Arktische Böden West-Grönlands: Pedovarianz in Abhängigkeit vom geoökologischen Milieu

Von Gerhard Stäblein *

Zusammenfassung: Um im westgrönländischen Küstenbereich die Pedovarianz, die auftretenden unterschiedlichen Bodentypen im planetarischen, regionalen und geoökologischen Wandel zu erfassen, werden aus der Umgebung von Holsteinsborg (66° 56' N / 54° 20' W) und Jakobshavn (69° 13' N / 51° 03' W) Bodenprofile und deren charakteristische Abfolge in der Bodencatena vorgestellt. Deren typologische Einordnung wird vergleichend nach den verschiedenen terminologischen Systemen (KUBIENA, TEDROW, SOIL SURVEY STAFF) vorgenommen. Weit verbreitet findet sich die arktische Braunerde (arctic brown soil bzw. cryumbrept), die man als den Klimaxboden, die zonale klimaphytomorphe Bodenbildung ansprechen wird.

Unter dem Aspekt der differenzierten Bodendrainage und Bodenfrosterscheinungen spielen jedoch die hydromorphen Tundrenböden (meadow tundra soil bzw. cryaquept) als intrazonale Böden eine bedeutende Rolle. Da sie jedoch charakteristisch kryoturbiert gestört und der Permafrost des Untergrundes meist die Ursache der hydrogenen Bodenprozesse darstellt, kann man die Tundrenböden als kryomorphe und damit doch als zonale Bildungen in Übereinstimmung mit zonalen Effekten von Klima und Vegetation bezeichnen. Kryomorph sind auch die durch Kryosolifluktion und Kryoturbation gemusterte Struktur-Ramark (patterned lithosols und regosols bzw. lithic cryorthent und cryochrept) und Rutmark. Diese sind zusammen mit der häufiger auftretenden amorphen arktischen Ramark und Hamada-Ramark (arctic desert soil) lithomorphe, azonale Bodentypen, die wegen des hohen Anteils der Gebirgsareale am Relief von Westgrönland einen Großteil der Fläche einnehmen.

Summary: Soil profiles and their characteristic sequence (catena) from near Holsteinsborg (66° 56' / 54° 20' W) and Jakobshavn (69° 13' N / 51° 03' W) are described to illustrate „pedovariance“, the different soil types caused by planetary, regional and geoeological change, in the coastal area of Western Greenland. The soil types are classified comparatively according to the different systems of terminology (KUBIENA, TEDROW, SOIL SURVEY STAFF). Arctic brown soil (or cryumbrept) is widespread and is classified as climax soil, zonal climaphytomorphous soil formation.

From the point of view of differentiated soil drainage and ground frost phenomena, however hydromorphous meadow tundra soils (or cryaquepts) play an important part as intrazonal soils. But since they are characteristically disrupted by cryoturbation and permafrost is generally the cause of hydrogenic soil processes, the tundra soils can be described as cryomorphous and thus as zonal formations corresponding to zonal effects of climate and vegetation. The patterned ground soils are also cryomorphous. Together with the more frequent amorphous arctic desert soils, they are lithomorphous, azonal soil types which, owing to the high proportion of mountainous relief in Western Greenland, cover a large portion of the area.

Es soll hier berichtet werden über die unterschiedlichen arktischen Bodentypen, die im eisfreien, periglazialen Küstenbereich von Westgrönland bei Holsteinsborg und Jakobshavn zwischen 65 und 70° N auftreten (Abb. 1). Die zugrunde liegenden Geländeuntersuchungen mit Bodenaufnahmen und Messungen wurden im Sommer 1974 durchgeführt. Es werden die planetarischen, regionalen und lokalen Unterschiede der arktischen Böden in Abhängigkeit von den pedogenetischen Parametern bzw. dem geoökologischen Milieu aufgezeigt. Das glazial geprägte Relief des westgrönländischen Küstenbereichs ist erst vor 10.000 Jahren eisfrei geworden, so daß die verschiedenen auftretenden Böden als rezente periglaziale Bildungen gelten können (STÄBLEIN 1975).

Für die Beschreibung der Böden und Bodenhorizonte werden die Begriffe und Abkürzungen verwandt, wie sie in der Kartieranleitung für die Bodenkarte 1:25.000 der Arbeitsgemeinschaft Bodenkunde der Geologischen Landesämter der Bundesrepublik empfohlen sind (KOHL 1971). Für die genaue Farbansprache wurden die MUNSELLSchen Farbtafeln verwendet.

* Prof. Dr. Gerhard Stäblein, Institut für Physische Geographie der Freien Universität, Altensteinstr. 19, 1000 Berlin 33.

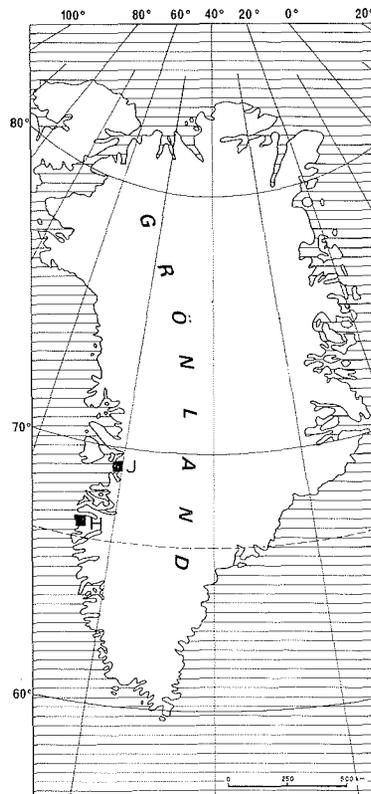
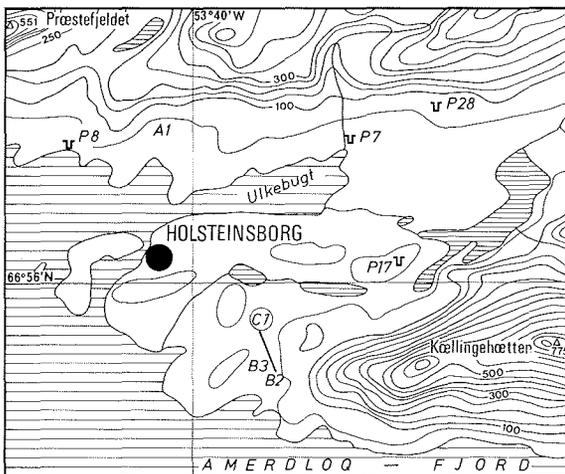
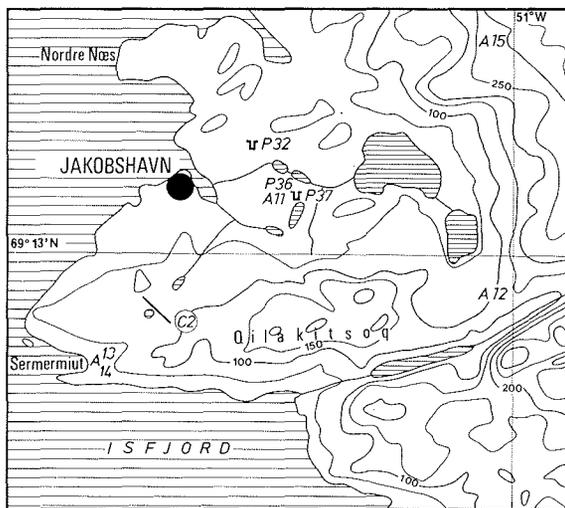


Abb. 1: Lage der Untersuchungsgebiete und der beschriebenen Bodenprofile in Westgrönland.

Fig. 1: Location in Western Greenland of the study areas and the soil profiles described.

1. DIE ARKTISCHEN BODENTYPEN

1.1 Arktische Braunerde

Sehr häufig findet man in Westgrönland unter Tundravegetation einen intensiv braunen mittelgründigen Mineralboden. Er ist in der Regel 20 bis 40 cm mächtig, zeigt nur eine schwache Horizontdifferenzierung und wird z. T. bei 20 bis 130 cm Tiefe von einer Permafrosttafel unterlagert (STABLEIN 1977 c). Folgende Horizonte lassen sich unterscheiden (vgl. Abb. 2).

Ah (0–7 cm), rötlich schwarzbraun (5 YR 2,5/2), lehmiger Schluff (IU), Humusform Mull-Moder.
 Bv (7–13 cm), rostbraun (5 YR 3/3), lockerer schluffiger Sand (uS), mit einzelnen Steinen bis 6 cm ϕ .
 Bv/Cv (13–42 + cm), angewittert, von Feinmaterial des Bodensolums durchsetzter Solifluktionsschutt aus Gneis des darunterliegenden Anstehenden.

Dies ist der Typ der arktischen Braunerde. Stellenweise sind rostbraune Streifen im Bodenprofil vorhanden, die von der zeitlich variierenden Auftautiefe und den damit

verbundenen Bodenwasserverhältnissen herrühren. Man könnte sie als „Frostboden-grundwasserbänder“ bezeichnen. Am Übergang vom Ah- zum Bv-Horizont werden häufig Spuren der Kryoturbation sichtbar.

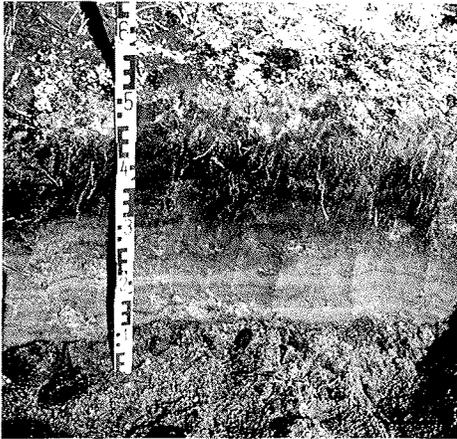


Abb. 2: Arktische Braunerde bei Holsteinsborg (B 2, Abb. 1) auf verwittertem Solifluktionsschutt aus Gneis unter Tundravegetation. Ah von 42 bis 35 bzgl. der dm-Meßlatte, Bv von 35 bis 29, darunter Bv/Cv; Horizontbeschreibung siehe Text. (Foto: Juli 1974)

Fig. 2: Arctic brown soil near Holsteinsborg (B 2, Fig. 1) over weathered solifluctional gneiss debris under tundra vegetation. Ah from 42 to 35 on the dm-rod, Bv from 35 to 29, below that Bv/Cv; for horizon description see text. (Photo: July 1974)



Abb. 3: Tundragley bei Holsteinsborg (B 3, Abb. 1), auf marinen tonig-schluffigen Terrassensedimenten mit Permafrosttafel in 45 cm Tiefe unter mineralreicher Torfschicht der Feuchttundra. Ah/H von 35 bis 28 bzgl. der dm-Meßlatte, von 28 bis 16 Bv, von 16 bis 4 Go. (Oxydationshorizont), darunter bis zur Permafrosttafel Gr (Reduktionshorizont). (Foto: Juli 1974)

Fig. 3: Meadow tundra soil near Holsteinsborg (B 3, Fig. 1) over marine clayey-silty terrace sediments with permafrost table at depth of 45 cm below mineral-rich peat layer of the wet tundra. Ah/H from 35 to 28 on the dm-rod, from 28 to 16 Bv, from 16 to 4 Go (oxydation horizon), beneath that Gr up to the permafrost table (reduction horizon). (Photo: July 1974)

1.2 Systematiken der Bodentypen

Wenn wir diesen Bodentyp als arktische Braunerde bezeichnen, so folgen wir den bodensystematischen Bezeichnungen von KUBIENA (1953), der in seinem „Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas“ auch polare Bodentypen beschrieben hat. Danach wird ein Bodentyp durch eine bestimmte Abfolge der Bodenhorizonte definiert (vgl. Abb. 4, 8, 9). In bisherigen Arbeiten über polare Böden findet man jedoch meist andere

KOHL 1971 — KUBIENA 1953: TEDROW 1958 / SOIL SURVEY 1967

B — arktische Braunerde: arctic brown soil / pergelic Cryumbrept

O — arktischer Gesteinsrohboden: lithosol / lithic Cryochrept

O — Hamada-Ramark: arctic desert soil / lithic Cryorthent

H — Tundratorfmoor: bog soil / pergelic Cryofibrist

N — Tundraranker: upland tundra soil / pergelic Cryumbrept

G — Tundragley: meadow tundra soil / pergelic Cryaquept

S — Tundrapseudogley: meadow tundra soil / pergelic Cryaquept

P — Tundrapodsol: podsol like soil / pergelic Cryorthod

Die Begriffe sind nicht synonym, da sie nach unterschiedlichen Kriterien definiert werden.

The terms are defined according to different criteria and are therefore not synonymous.

Tab. 1: Arktische Böden in ihrer äquivalenten Benennung nach verschiedenen Bodensystematiken.

Tab. 1: Equivalent nomenclature of arctic soils according to different soil classification systems.

Systematiken angewandt (Tab.). Die von TEDROW u. a. (1958) bei der Untersuchung der Böden Alaskas entwickelten Begriffe wie „arctic brown“, „upland tundra“, „meadow tundra“, „arctic desert“ und „bog“ wurden auch auf andere arktische Gebiete übertragen. Da dabei in den Bodennamen z. T. lediglich Vegetationsformationen und Bodenfarben angesprochen sind, ohne nähere Definition der Horizontabfolge und Horizontausbildung, wird diese Nomenklatur oft unterschiedlich und mißverständlich verwendet. Auch auf einem „arctic brown soil“ wächst Tundra. Dieser Boden ist deshalb aber noch nicht ein „upland tundra soil“ im Sinne TEDROWS.

Ähnliche Vorbehalte gelten bezüglich der in der UdSSR verwendeten Bodentypenbezeichnungen von ROZOV & IVANOVA (1967), obwohl dabei eingehendere Beschreibungen zur näheren Charakterisierung bestehen.

Strenger definiert sind die Begriffe des US-amerikanischen Soil Survey (1960, 1967), die nach einem Baukastensystem zusammengesetzt werden entsprechend der Bodenmerkmale und weniger nach Klima- und Vegetationsverhältnissen. In diesem System — das von RIEGER (1974) auf die arktischen Böden ganz allgemein angewendet wurde — würde die arktische Braunerde als „pergelic Cryumbrept“ bezeichnet. Mit pergelic wird zum Ausdruck gebracht, daß es sich um einen Boden handelt, dessen Bodentemperatur im Jahresmittel unter 0° C liegt, also von Permafrost unterlagert wird. Das Suffix Cry- zeigt an, daß der Boden durch Bodenfrost und Frostklima beeinflusst ist. Die Endung -ept gibt an, daß es ein Boden aus der Klasse der Inceptisole ist, d. h. Böden mit deutlicher pedogenetischer Horizontierung jedoch ohne Anreicherungshorizonte. Die Silbe -umbr- weist darauf hin, daß der Boden einen dunklen basenarmen Oberboden hat.

1.3 Lithomorphe und hydromorphe Böden

In unmittelbarer Nachbarschaft zum beschriebenen Bodenprofil der arktischen Braunerde finden sich Standorte, wo bei gleichen regionalen Randbedingungen, auf dem gleichen in Westgrönland fast überall vorhandenen Ausgangsgestein Gneis, nur Gesteinsrohböden bzw. Initialböden mit Ai-Cv-Cn-Profil lückenhaft entwickelt sind im Bereich mit Fjellformation. Nach KUBIENA könnte man von einer Hamada-Ramark, nach TEDROW von einem Lithosol und nach dem Survey-System von lithic Cryorthent sprechen.

Im Bereich der Tiefenlinien und der häufigen glazialen Hohlformen geht die Vegetation in eine Feucht-Tundra und in Moossümpfe über. Hier trifft man eine hochliegende Permafrosttafel bei nur 10 bis 20 cm und extrem schlechte Bodendrainage an. Es treten dort bis mehrere Meter mächtige Tundratorfmoore auf; nach TEDROW als Bog Soil und nach dem Survey-System als pergelic Cryofibrist zu bezeichnen.

Bei anderer Zusammensetzung der Vegetation und damit des organischen Oberbodens kann sich auch auf den feuchten Standorten ein dann meist mächtiger mineralischer Ah-Horizont bilden, der mit kryoturbatem Übergang dem unterschiedlichen Ausgangssubstrat auflagert. Zum Teil wird der Untergrund von grauen marinen, tonigen Schluffen gebildet, die bis 80 m über dem heutigen Meeresniveau auf den glazialisostatischen Strandterrassen weit verbreitet sind (STÄBLEIN 1975: 77). Je nach der verschiedenen Bodendrainage und dem Untergrund handelt es sich bei solchen Böden um Tundraranker, Tundrapseudogley bzw. Tundragley; oder nach TEDROW Upland-Tundra Soil bzw. Meadow-Tundra Soil oder Cryaquepts nach dem Survey-System, wobei durch die Silbe -aqu- die schlechte Drainage der Böden besonders angesprochen wird (Abb. 3).

1.4 Pedodynamische Effekte

Die vorgestellten Grundtypen der arktischen Böden in Westgrönland weisen in ihren Ausprägungen zahlreiche Übergangsformen und zusätzliche pedodynamische Effekte auf.

Auf sehr gut drainierten, reichlich beregneten oder durch Abfluß von höheren Reliefteilen mit Wasser gut versorgten Standorten kann eine Podsolierung der arktischen Braunerde erfolgen (vgl. Profil 17 Abb. 4). Nach TEDROW (1970a: 190) ist bei Jahres-

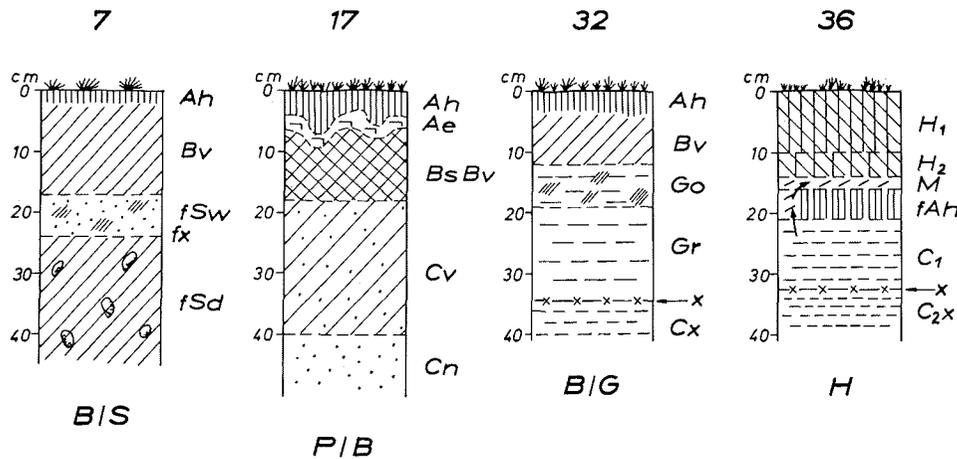


Abb. 4: Arktische Bodenprofile (Lage vgl. Abb. 1).
 7 = arktische Braunerde-Pseudogley (15 m ü. M.), auf Terrassensedimenten mit fossiler Permafrostgrenzschicht (f x).
 17 = podsolierte arktische Braunerde kryoturbat gestört (72 m ü. M.) auf verwitterter Gneisschuttdecke,
 32 = arktischer Braunerde-Tundragley (38 m ü. M.) auf marinen schluffigen Feinsedimenten mit Permafrosttafel (x).
 36 = Tundratorfmoor (39 m ü. M.) mit kryoturбаты Migrationshorizonten (m) über schluffigen marinen Feinsedimenten mit Permafrosttafel (x). (Aufnahme: Juli/August 1974).

Fig. 4: Arctic soil profile (location, see Fig. 1).
 7 = arctic brown soil-pseudogley (15 m above sea level) over terrace sediments with fossil permafrost boundary layer (f x).
 17 = podsolised arctic brown soil disrupted by cryoturbation (72 m above sea level) over layer of weathered gneiss debris.
 32 = arctic brown soil-meadow tundra soil (38 m above sea level) over marine silty fine sediments with permafrost table (x).
 36 = bog soil (39 m above sea level) with cryoturbate migration horizons (m) over silty, marine fine sediments with permafrost table (x). (July/August 1974).

niederschlägen von mehr als 250 mm die Podsolierung im arktischen Tundrenbereich der Normalfall. Der hellgraue Eluvialhorizont ist meist nur wenige cm mächtig und häufig kryoturbat gestört. Die Horizontabfolge und Ausbildung erlaubt nicht, diesen Boden entsprechend den von SEMMEL (1969:6) und KUBIENA (1953: 329—330) aus dem europäischen subarktischen Bereich beschriebenen Profilen als Nanopodsol zu bezeichnen, sondern als podsolierte arktische Braunerde. Nur in wenigen Profilen sind die Podsolierungserscheinungen so dominierend, daß man von einem Tundrapodsol sprechen kann.

Bei schlechter Drainage tritt auch bei der arktischen Braunerde eine Vergleyung auf, wobei sich gestaut von der Permafrosttafel ein graublauer Reduktionshorizont und darüber ein rostfleckiger Oxydationshorizont ausbilden (vgl. Profil 32 Abb. 4).

In schichtigem Substrat und in Verbindung mit den Spuren fossiler Lagen der Permafrosttafel findet man rostfleckige pseudovergleyte Unterbodenhorizonte, die häufig als subfossile bodengenetiche Erscheinungen anzusprechen sind (vgl. Profil 7 Abb. 4). Die Kryoturbation spielt in den feuchten Tundraböden und im Tundratorfmoor eine besonders große Rolle. Durch Bodenhorizonte kann Material aus tieferen Horizonten als Migrationshorizont kryoturbat nach oben gelangen und die normale pedogenetische Horizontabfolge stören (vgl. Profil 36 Abb. 4). Dies wird besonders bei den Formen der Mudpits,

den bis 70 cm großen Tundrenfeinerdeflecken deutlich. Daneben zeigt sich die Kryoturbation in den Formen der Palsen und Steinkernbülten (STABLEIN 1977 d).

Im Bereich der trockeneren Tundra und der Fjellformation findet man an einzelnen Standorten bei breitem granulometrischem Spektrum auch gemusterte Gesteinsrohböden und Tundraprotoranker mit mächtigerem Ah auf anstehendem unverwittertem Gestein. Die sortierten Strukturböden mit Steinringen und die nichtsortierten Texturböden mit Spaltennetzen und sekundären Steinpolygonen stellen eindeutig die seltenen Ausnahmen im Spektrum der Bodentypen dar (STABLEIN 1977 a).

2. GEOÖKOLOGISCHES MILIEU UND BODENEIGENSCHAFTEN

2.1 Faktoren der Pedovarianz

Die systematische Aufnahme der Bodentypen im Gelände hat ergeben, daß eine kleinräumige Pedovarianz auftritt. Sie wird vor allem durch folgende drei Faktoren bestimmt, die sich in ihrer Auswirkung gegenseitig beeinflussen und das jeweilige geoökologische Milieu des Standortes bestimmen:

- die kleinräumigen Reliefunterschiede und die daraus folgenden Unterschiede des oberflächennahen Untergrundes,
- die kleinräumigen Unterschiede des Bodenwasserhaushalts und der Bodendrainage,
- die unterschiedliche Lage der Permafrosttafel als Basis der sommerlichen Auftauschicht, sowie dadurch unterschiedliche Beanspruchung durch Kryoturbation.

Eine Tendenz einer planetarischen, nicht lokalen Pedovarianz konnte im Untersuchungsgebiet, das 300 km in NS-Erstreckung mißt, nicht festgestellt werden (vgl. Abb. 1, 8, 9). Obwohl die lokalen Unterschiede des Untergrundes, besonders dessen Mächtigkeit, entscheidend sind, ist das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung relativ einheitlich im Untersuchungsgebiet. Neben vorherrschend mechanisch weniger oder stärker verwitterten Gneisfelsen bildet deren Verwitterungsschutt bzw. Verwitterungsgrus sowie Soliflukationsdecken und Moränen an den meisten Standorten das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung. Außerdem treten, wie schon erwähnt, in den küstennahen Bereichen bis 80 m über dem Meer stellenweise marine tonige Schluffe und Sande der marinen Terrassenniveaus auf, die z. T. von glazifluvialen Grobkiesen und Sanden im Bereich der Talmündungen überschüttet sind (STABLEIN 1977 b).

Wegen der klimatisch bedingten geringen chemischen Verwitterung spiegeln praktisch in allen Fällen die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Böden die des Ausgangsmaterials wider. In anderen Klimaten leicht verwitterbare Minerale, wie z. B. Feldspäte, treten im Bodensubstrat kaum zersetzt auf. Nur dem Eisengehalt des kristallinen Ausgangsgesteins kommt eine gewisse Mobilität zu. Weit verbreitet tritt eine Eisenabfuhr aus dem Oberboden durch Podsolierung auf. Eisenoxyd verleiht den Gesteinsrohböden ihre gelbe bis braune Patina und dispers der arktischen Braunerde ihr Erscheinungsbild. Auch die erwähnten rostbraunen Frostbodengrundwasserbänder sind Zeugnisse der Eisenverlagerung.

Die pH-Werte liegen in den Bodenhorizonten der verschiedenen Bodentypen zwischen 4 und 6, d. h. stark bis mäßig sauer, während die Ausgangssubstrate meist höhere Werte von über 7 bis 8,5 aufweisen und damit schwach alkalisch sind. Die gemessenen Werte liegen bei den feuchteren Bodentypen etwa bei 5 im Oberboden und nehmen nach unten auf fast 4 ab. Bei den trockeneren Bodentypen, etwa bei der arktischen Braunerde, liegen die Werte höher und die Tendenz ist gerade umgekehrt mit Werten von um 5 im Oberboden und um 6 im Unterboden. Die Verhältnisse der Bodenlösung lassen sich damit als im allgemeinen günstig für eine Bodenentwicklung und den Nährstoffhaushalt ansprechen.

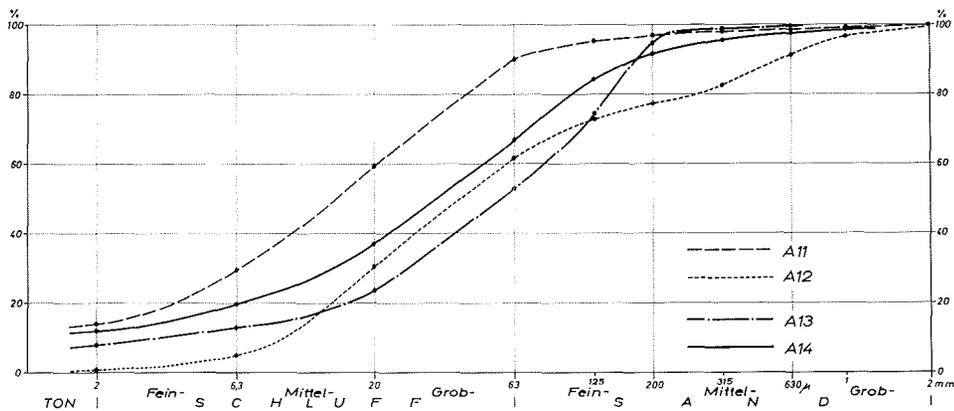


Abb. 5: Korngrößendiagramme des Feinmaterialanteils kleiner 2 mm von Ausgangsmaterial für die Bodenbildung (Cv-Material) (Lage von A 11, A 12, A 13, vgl. Abb. 1), sowie daraus entstandenem Solum (Bv-Material, A 14 aus A 13).

- A 11 = marine Feinsedimente der 40 m Terrasse bei Jakobshavn
- A 12 = Verwitterungsdecke aus Gneis des 110 m Niveaus bei Jakobshavn
- A 13 = marine Terrassensedimente der 12 m Terrasse bei Sermermiut
- A 14 = Solum auf der 12 m Terrasse bei Sermermiut

Fig. 5: Particle size diagrams of fine material less than 2 mm from initial material for soil formation (Cv material) (location of A 11, A 12, A 13 see Fig. 1) and solum formed from it (Bv material, A 14 from A 13).
 A 11 = marine fine sediments from the 40 m terrace near Jakobshavn
 A 12 = weathering mantle of gneiss from the 110 m level near Jakobshavn
 A 13 = marine terrace sediments from the 12 m terrace near Sermermiut
 A 14 = solum on the 12 m terrace near Sermermiut

Bezüglich der Bodenarten handelt es sich in der Hauptsache um Sand- und Schluffböden. Im Diagramm der granulometrischen Summenkurven (Abb. 5) zeigen die gerissenen Linien die Charakteristik der Feinbodenanteile (kleiner 2 mm) der zwei typischen verschiedenen Ausgangsmaterialien für die Bodenbildung, die tonreichen sandarmen Schluffe der marinen Terrassen (gerissene Linie, A 11) und die sand- und schluffreichen Verwitterungsdecken (feingerissene Linie, A 12). Die beiden anderen Kurven zeigen den Vergleich der Korngrößenverteilung des Substrats unter 2 mm vom Ausgangsmaterial (strichpunktiierte Linie, A 13) und darüber entwickeltem Solum (durchgezogene Linie, A 14). Beim Ausgangsmaterial handelt es sich um einen schluffig-lehmigen Sand. Das Solummaterial ist dagegen ein sandig-lehmiger Schluff. Vor allem durch den Prozeß der Kryoklastik in Abhängigkeit von den häufigen Frostwechselln im Bodenbereich hat durch die Bodenbildung der Tongehalt um 3,6% zugenommen, der Schluffanteil besonders stark um 10%, der Sandanteil ist jedoch um 13,7% zurückgegangen.

Die Bodentextur wird zum Teil auch durch exogenen Bodenabtrag, insbesondere durch den selektiven äolischen Transport verändert und bestimmt. Rezente Deflationswannen mit einer kaum nennenswerten Bodenentwicklung zeigen diesen Prozeß deutlich. Die zugehörige Korngrößenkurve (Abb. 6) entspricht einem residualen Mittelsand (durchgezogene Linie, A 1); die feineren Fraktionen sind ausgeweht. Andererseits findet man extrem schluffreiche Bodenprofile in Leelagen (gerissene Linie, A 15). Man kann diese Böden aufgrund der feintexturellen Charakteristik als rezente periglaziale synsedimentäre Lößböden ansprechen. Es handelt sich dabei um mittelgründige lockere arktische Braunerde mit nur schwacher Horizontdifferenzierung und durch Kryoturbation verwischten Schichtungsspuren.

3. KLIMABEDINGUNGEN UND BODENTEMPERATUREN

Nachdem die wesentlichen Bodentypen beschrieben sind und auf die unterschiedlichen Vegetationsverhältnisse und das Ausgangsmaterial als differenzierende Bodenparameter

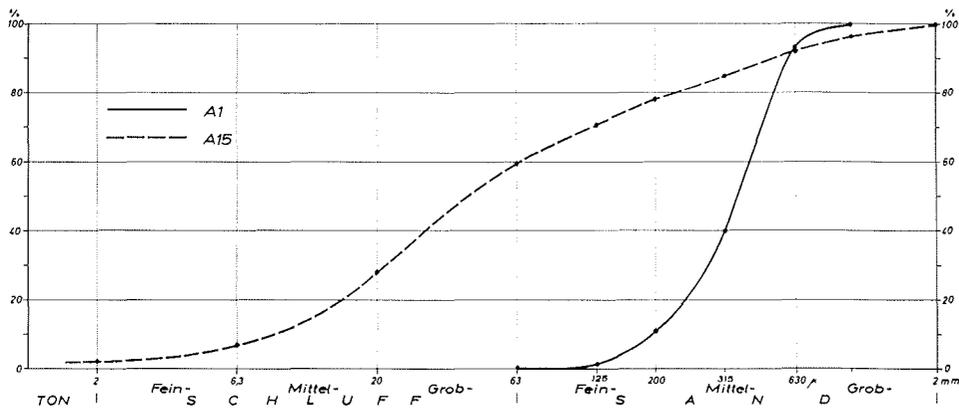


Abb. 6: Korngroßendiagramme des Feinmaterialanteils kleiner 2 mm von äolisch beeinflussten Substraten. A 1 = Sandboden einer Deflationswanne der 40 m Terrasse nördlich von Holsteinsborg, Residualcharakteristik.

A 15 = Schluffboden aus äolischem Feinsediment in einer Leelage 257 m ü. M. nördlich von Jakobshavn, Akkumulationscharakteristik.

(Lage von A 1 und A 15 vgl. Abb. 1)

Fig. 6: Particle size diagrams of fine material less than 2 mm from wind-influenced substrata.

A 1 = sandy soil from a deflation trough in the 40 m terrace north of Holsteinsborg, residual character. A 15 = silty soil from aeolian fine sediment in a lee site 257 m above sea level north of Jakobshavn, accumulation character.

(location of A 1 and A 15 see Fig. 1)

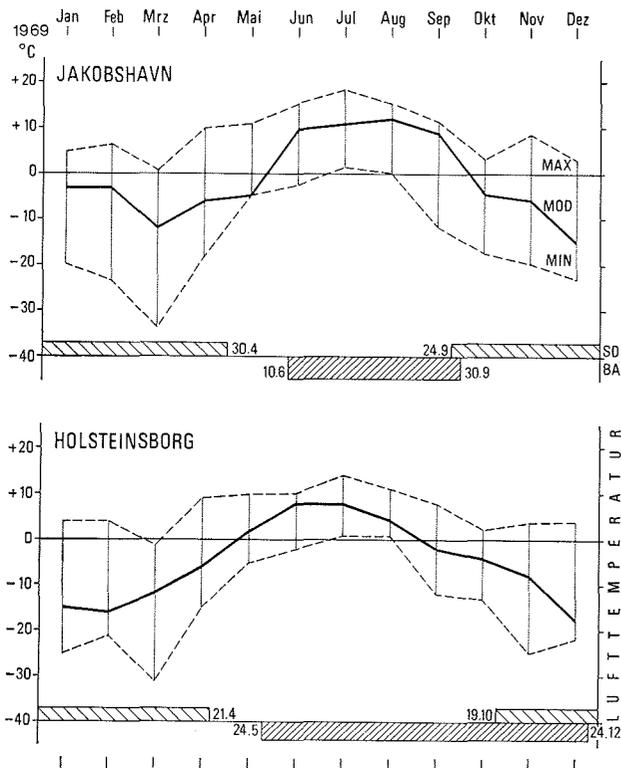


Abb. 7: Diagramme der Lufttemperaturen, monatliche Maxima (= MAX), Modalwerte (= MOD), Minima (= MIN), Schneebedeckung (= SD) und Bodenauftau (= BA) bei 25 cm Tiefe an den Bodentemperaturmeßstationen des Grönländischen Geologischen Dienstes (GGU) für Jakobshavn und Holsteinsborg für 1969.

Fig. 7: Diagrams of the air temperatures, monthly maxima (= MAX), modal values (= MOD), minima (= MIN), snow cover (= SD) and ground thawing (= BA) in a depth of 25 cm at the ground temperature measurement stations of the Geological Survey of Greenland (GGU) in Jakobshavn and Holsteinsborg for 1969.

hingewiesen wurde, sollen die klimatischen Bedingungen für die Bodenentwicklung charakterisiert werden (Abb. 7). Betrachten wir zunächst den Gang der Lufttemperatur für 1969 an den Stationen Jakobshavn und Holsteinsborg. Die Modalwerte der Wintermonate reichen bis -18°C und die Extreme bis -34°C im März. In den Sommermonaten liegen die Temperaturen um $+8$ bis $+12^{\circ}\text{C}$, wobei vereinzelt Maxima bis $+18^{\circ}\text{C}$ auftreten können. Frostwechseltage fehlen nur in manchen Jahren im Juli und August. Die Zahl der Frostwechseltage im Jahr schwankt zwischen 50 und über 80.

Die jährlichen Niederschlagssummen schwanken zwischen nur 200 und 500 mm. Da diese Niederschlagsmengen durch die winterliche Ansammlung bis zur Schneeschmelzzeit und in der Auftauzeit des Polarsommers durch den Permafrost des Untergrundes zeitlich konzentriert in der Bodendecke zur Verfügung stehen, ist es verständlich, daß trotz der geringen Jahresniederschläge hydromorphe Böden eine weite Verbreitung haben. Die Dauer der aktiven Zeit des Auftaubodens im Sommer wird nicht in erster Linie von der Lufttemperatur über Null Grad, sondern von der Dauer der Schneedecke gesteuert. Erst wenn die Schneedecke verschwunden ist, kann die Wärme stärker in den Boden eindringen, und die Bodentemperaturen steigen über Null Grad. Damit bildet sich die „tauaktive Schicht“ des sommerlichen Auftaubodens, der an den Meßstationen bis 1 bzw. 3 m Tiefe reicht (STABLEIN 1977 c).

Die Auftauzeit des Bodens reicht im allgemeinen von Mai bis Oktober. Durch die expositions- und reliefbedingten sehr unterschiedlichen Schneemächtigkeiten sind die Länge und der Beginn der Auftauzeiten des Bodens für die einzelnen Standorte äußerst unterschiedlich. Stellenweise halten sich Schneeflecken auch in niedrigen Lagen über den ganzen Sommer. Eine Bodenaustrocknung erfolgt nur an wenigen Stellen.

Die Bodentemperaturen nach den Messungen der GGU steigen in 25 cm Tiefe im Juli/August am feuchten Tundrastandort in Jakobshavn bis $+6^{\circ}\text{C}$, am besser drainierten Tundrastandort in Holsteinsborg bis über $+7^{\circ}\text{C}$. Im Februar/März fallen die Bodentemperaturen in 25 cm Tiefe bis unter -10°C . In einer Tiefe von 5 m wurden an den beiden Meßstationen der GGU mit mehrjährigen Messungen ab 1968, auf die wir uns beziehen (OLESEN 1967, 1971), quasi isotherme Verhältnisse mit um -3°C in Jakobshavn und um 0°C in Holsteinsborg festgestellt. Dies ist die Tiefe der thermischen Nullamplitude, die die „thermoaktive Schicht“ nach unten abgrenzt.

Für das unterschiedliche Ausmaß der kryoturbaten Beeinflussung der Böden ist die Zahl der Frostwechsel im Boden und damit verbundenen Volumenveränderungen in Abhängigkeit von Bodenart und Bodenwassergehalt entscheidend. Es gibt in der Regel 50 bis 70 Frostwechseltage pro Jahr im Boden. Der Bodenfrost, der Permafrost und deren Wirkungen stellen einen ganz charakteristischen Faktor der arktischen Bodenentwicklung dar. Dessen unterschiedliche Wirksamkeit kann zu einer bodentypologischen Differenzierung verwandt werden (vgl. TEDROW 1962). Es erscheint berechtigt, die arktischen Böden in Ergänzung der bisherigen bodenkundlichen Begriffsreihe — lithomorph, klimaphytomorph, hydromorph, anthropomorph (SCHROEDER 1972: 98) — als kryomorphe Böden zu bezeichnen.

4. RELIEFBEDINGUNGEN UND PEDOVARIANZ

Wie sehr zusätzlich zu den bisher angesprochenen übergeordneten Bodenbildungsparametern, wie Klima, Vegetation und Ausgangsmaterial, die ökologischen Bedingungen für die Bodenstandorte durch das Relief kleinräumig differenziert werden, läßt sich an der Pedovarianz in Bodencatenen aufzeigen, wobei Unterschiede der Exposition und der Morphodynamik als mittelbare reliefabhängige Bodenbildungsparameter mit erfaßt werden.

4.1 Bodencatena bei Holsteinsborg

In der Catena bei Holsteinsborg (Abb. 8) handelt es sich um einen Ausschnitt aus der glazialen Rundbuckellandschaft mit Reliefenergie bis 60 m und Hangneigungen bis mehr als 30°. Die postglaziale Küstenentwicklung brachte mit hohen Meeressständen in die Tiefenlinien marine Feinsedimente, die im charakteristischen Gegensatz zum Gneis des Anstehenden einen Wechsel des Ausgangssubstrats für die Bodenbildung bewirken. Das Auftreten von Permafrost im Untergrund und Stauwasser, das zu dichter Vegetation und Torfbildung Anlaß gibt, wird wechselseitig in der Weise beeinflusst, daß gerade an den feuchten vegetationsreichen Standorten der Permafrost besonders nahe unter der Oberfläche gefunden wird. Dies stellt neben den Unterschieden des oberflächennahen Substrats den zweiten grundlegenden Gesichtspunkt der durch den Untergrund bedingten ökologischen Varianz in der Bodencatena dar. Damit im Zusammenhang wechselt in den Bodenprofilen der Grad der Beeinflussung durch Bodenfrost bzw. Kryoturbation.

Der Abfluß führt ebenfalls zu einer unterschiedlichen Beeinflussung der Bodenprofile. Von den kahlen Felsflanken mit hohem Oberflächenabflußfaktor gehen Impulse zur Bodenabspülung in den basalen Randbereichen aus. Dabei werden nicht nur einzelne Korngrößen oberflächlich durch den Overlandflow abgeführt, sondern Bodenabtrag kann in Form eines Interflows, vor allem solange im Untergrund noch eine Frosttafel vorhanden ist, im Sinne der von BUDEL (1962: 352) in Spitzbergen beobachteten basalen Drainagespülung auftreten. Daneben erfolgt Bodenabtrag durch Solifluktion in Form von Fließzungen (oberhalb P 11) bzw. z. T. durch Vegetation gebunden in Form von Fließterrassetten. Der Bodenabtrag auf den höheren und geneigten Reliefteilen beeinflusst durch Kolluvium und Zufuhrsolifluktion die Bodenentwicklung, speziell der Hangfußzonen (P 11, P 14 b, P 6).

Auf den höchsten Reliefabschnitten der Bodencatena finden sich flachgründige Gesteinsrohböden mit Ai-Cv-Cn-Profil (0/P 9). Stellenweise können sie in Form von Frostpflastern mit einer Anreicherung von Bodenskelett an der Oberfläche ausgebildet sein. Auch in unserem speziellen Catenabereich treten Frostmusterformen auf, strukturierte Ramark und texturierte Rutmark im Sinne KUBIENAS bzw. patterned Lithosol und Regosol nach TEDROW bzw. lithic Cryorthent und Cryodrept nach dem Survey-System. Diese bodenartigen Verwitterungsprofile sind zwar dem von TEDROW (1970 b) für die nördliche aride Arktis als zonale Klimaxböden erkannten Arctic Desert Soils verwandt, aber wegen ihrer hier in Westgrönland azonalen Verbreitung auf lokal begrenzten, edaphisch bedingten Standorten auf steilen Hängen, Felsrundbuckeln und Gebirgsrelief nicht ohne weiteres gleichzusetzen.

Sowohl auf Gneis und Gneisschuttdecken als auch auf den marinen Schluffen tritt in sehr unterschiedlicher Mächtigkeit Tundra-Ranker auf (N/P 10, P 14, P 4, P 5). Auf den aktiven Mudpitflecken kann sich nur ein Protoranker bilden. In deren Randbereichen sind dagegen durch laterale, kryoturbate Übersichtung häufig mehrere Ah-Horizonte von Migrationshorizonten getrennt zu finden (P 4).

Am Hangfuß sinkt, in den Nachbarprofilen (P 14 a, b, c) zu verfolgen, unter das sich lateral ausweitende Tundratorfmoor der ältere Tundra-Ranker ab. Die Permafrosttafel steigt schließlich in die organischen Horizonte hinein. Durch die stellenweise extreme Durchnässung und verbunden mit einer lateralen Materialzufuhr vom Hang ist zum Teil ein anmooriger Aa-Horizont ausgebildet. Daneben findet man flachgründigere Tundratorfmoorprofile (H/P 13), bei denen die Permafrosttafel erst bei fast 70 cm Tiefe in den marinen Feinsedimenten angetroffen wird.

An der Oberfläche sind häufig Bülten, z. T. mit Steinkernen (P 13) oder Palsen ausgebildet. In den Palsen wechselt die Ausbildung des Tundratorfmoors je nach der Bodendrainage (P 1, P 2, P 3). In den austrocknenden Gipfelbereichen beginnt bereits

eine Überprägung zu einer arktischen Braunerde (P 2). An den Flanken zeigt sich eine Tendenz zur Stagnogleybildung (P 1) und in den nassen Randrinnen ist eine ausgesprochene Vergleyung (P 3), besonders in den den Torf unterlagernden marinen Feinsedimenten festzustellen.

Die Bildung der arktischen Braunerde scheint am wenigsten von Sonderbedingungen des jeweiligen Standorts beeinflusst zu sein. Es sind meist flachgründige Profile unter Tundra in nur wenig geneigter Reliefposition besonders auf Schuttdecken entwickelt (B / P 11). Arktische Braunerde findet man auch auf Solifluktuationsdecken, die hier mehrschichtig mit fossilen Bodenhorizonten ein älteres Tundratorfmoor überlagert (P 6). Die Schichtigkeit des Materials wird auch die Ursache dafür sein, daß hier eine Pseudovergleyung erfolgt. Unter lückenhafter Tundravegetation ist bei guter Bodendrainage über Terrassensedimenten ein Tundrapodsol mit sehr flachem Ah-Horizont ausgebildet (P / P 12).

4.2 *Bodencatena bei Jakobshavn*

Die zweite Bodencatena (Abb. 9), mit der etwas weiter gespannt als mit der ersten die Pedovarianz südlich von Jakobshavn erfaßt wird, zeigt im wesentlichen übereinstimmende Elemente der Bodenabfolge und die gleichen interdependenten Bedingungen und Prozesse der Bodengenese, die schon für die Umgebung von Holsteinsborg im einzelnen diskutiert wurden.

Wenn hier in der Catena von Jakobshavn die verschiedenen, zum Teil podsolierten Ausprägungen der arktischen Braunerde häufiger auftreten und das Tundratorfmoor nur durch ein Bodenprofil (P 41) repräsentiert wird, so liegt das am größeren Anteil von höheren Reliefformen mit zahlreichen Verflachungen, nicht an einem grundsätzlichen Unterschied der bodengenetischen Randbedingungen. Die Mächtigkeit der Bodenprofile und deren Horizonte ist bei vergleichbaren Standorten in etwa gleich wie in der Umgebung von Holsteinsborg, nämlich flachgründig, vereinzelt mittelgründig.

Das glazial gestaltete Relief als Basis für eine Bodenentwicklung ist hier bei Jakobshavn erst einige tausend Jahre später als die Umgebung von Holsteinsborg eisfrei geworden (vgl. WEIDICK 1968, STÄBLEIN 1975). Da diese Unterschiede der für die Bodenbildungen zur Verfügung stehenden Zeit sich nicht durch unterschiedliche Prägnanz der verschiedenen Bodentypen ausgewirkt haben, kann man annehmen, daß trotz der durch kaltes Klima und Bodeneigenschaften sehr langsamen Bodenprozesse in beiden Catenen auch bei den flachgründigen Bodenprofilen voll entwickelte Klimaxböden in Anpassung an die jeweils wechselnden geoökologischen Standortbedingungen vorliegen und auch eine längere Wirksamkeit der Bodenprozesse bei gleichbleibenden Klimabedingungen keine anderen Bodentypen und keine anderen Ausprägungen zu schaffen vermag.

5. ZONALER KLIMAXBODEN UND PEDOVARIANZ

Die eingehenden bisher nur jeweils regionalen Untersuchungen der arktischen Böden in Westgrönland haben allgemeine Ergebnisse gebracht, die die folgenden Aussagen begründen. Die arktische Braunerde (arctic Brown Soil / Cryumbrept) kann man für den periglazialen Bereich von Westgrönland als die zonale Klimaxbodenbildung ansprechen. Unter dem Aspekt der differenzierten Bodendrainage und Bodenfrosterscheinungen spielen jedoch die hydromorphen Tundraböden (Meadow Tundra Soil / Cryaquept) eine bedeutende Rolle.

Die Pedovarianz zeigt im Untersuchungsgebiet ein kleinräumiges Muster entsprechend den lokalen Unterschieden der edaphischen und geoökologischen Bedingungen; regionale

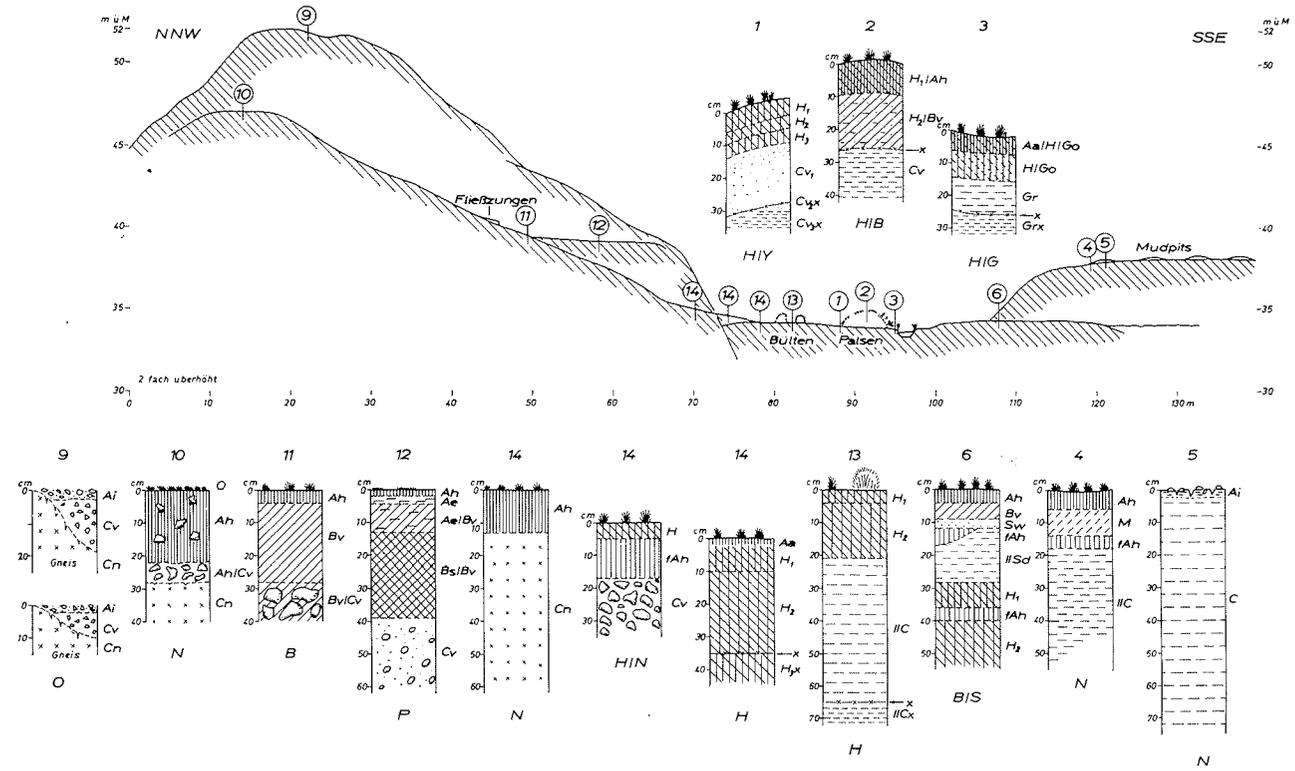


Abb 8: Bodencatena bei Holsteinsborg (C 1, Lage vgl. Abb. 1). Abkürzungen der Bodenhorizonte und Bodentypen (vgl. Tab.) nach den Richtlinien für die deutschen Bodenkarten 1:25.000 (KOHL 1971). (Aufnahmen: Sommer 1974).

Fig. 8: Soil catena near Holsteinsborg (C 1, location see Fig. 1). Abbreviations of soil horizons and types (cf. table) according to the guidelines for German soil maps 1:25.000 (KOHL 1971). (Summer 1974).

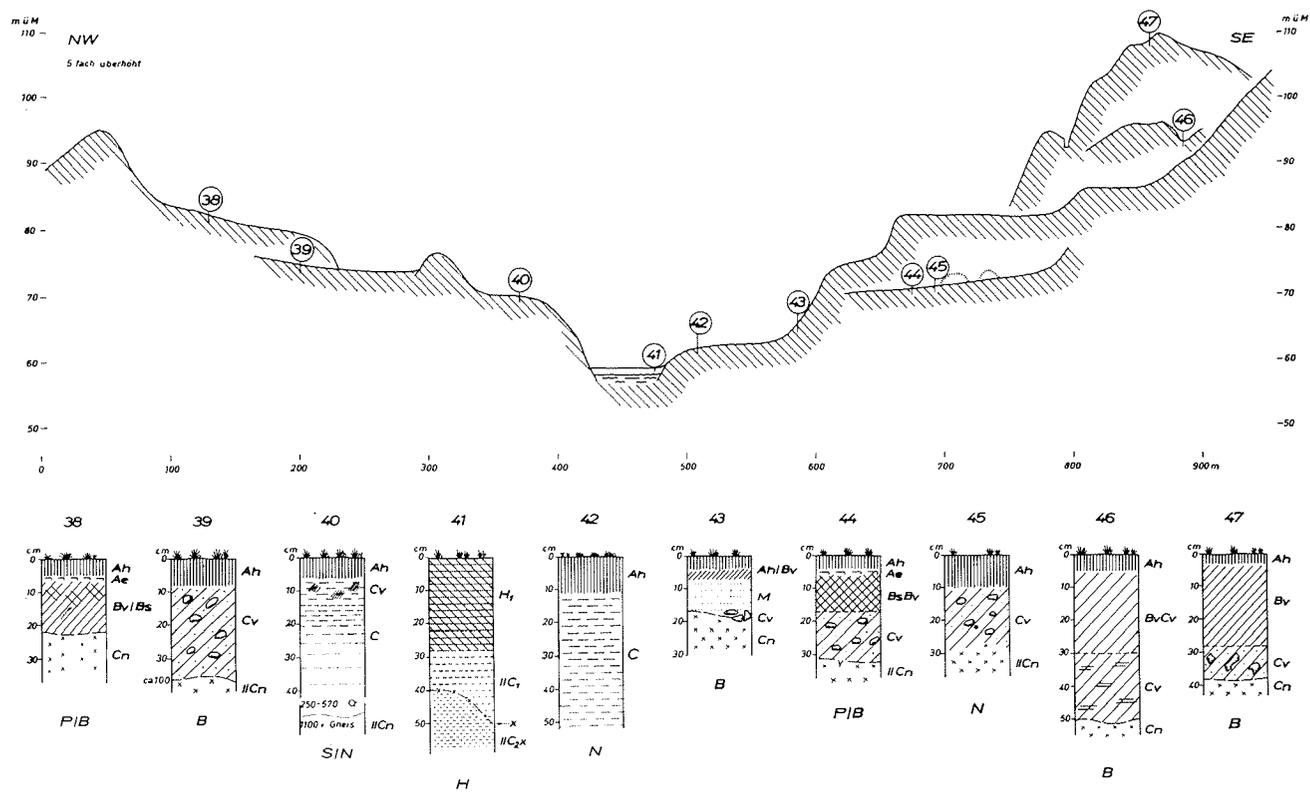


Abb. 9: Bodencatena bei Jakobshavn (C 2, Lage vgl. Abb. 1). Abkürzungen der Bodenhorizonte und Bodentypen (vgl. Tab.) nach den Richtlinien für die deutschen Bodenkarten 1:25.000 (KOHL 1971). (Aufnahmen: Sommer 1974).

Fig. 9: Soil catena near Jakobshavn (C 2, location see Fig. 1). Abbreviations of soil horizons and types (cf. table) according to the guidelines for German soil maps 1:25.000 (KOHL 1971). (Summer 1974).

Unterschiede entsprechend den planetarischen Veränderungen der klimatischen Bedingungen konnten im westgrönländischen Küstenbereich nicht festgestellt werden.

Der eigentliche zonale klimaphytomorphe Bodentyp, die arktische Braunerde, die z. T. podsoliert vorkommt, bleibt nur auf wenige Standorte beschränkt und bildet quantitativ eher eine Ausnahme. Demgegenüber sind die hydromorphen, häufig pseudovergleyten und vergleyten Tundraböden eindeutig überwiegend. Man könnte sie als intrazonale Böden auffassen. Denkt man jedoch daran, daß sie charakteristisch kryoturbat durch den Bodenfrost gestört sind und der Permafrost des Untergrundes meist die Ursache der hydrogenen Bodenprozesse darstellt, so könnte man die Tundraböden als kryomorphe, und damit doch als zonale Bildungen in Übereinstimmung mit zonalen Effekten von Klima und Vegetation bezeichnen. Als kryomorph sind ebenfalls die durch Kryosolifluktion und Kryoturbation gemusterte Struktur-Ramark (patterned Lithosols und Regosols / lithic Cryorthent und Cryochrept) und texturierte Rutmark zu nennen. Diese sind zusammen mit der häufigeren amorphen arktischen Ramark und Hamada-Ramark (arctic Desert Soil) lithomorphe, azonale Bodentypen, die wegen des hohen Anteils der Gebirgsareale am Relief von Westgrönland einen Großteil der Fläche einnehmen.

Vergleicht man die hier vorgestellten regionalen Ergebnisse mit Untersuchungen aus anderen Teilen der Arktis, um nur einige zu nennen, etwa von DOUGLAS u. a. (1960) aus Alaska, von IVANOVA (1963) aus Sibirien, von HOLOWAYCHUK u. a. (1966, 1972) aus Alaska und SW-Grönland, von UGOLINI (1966 a, b) aus E-Grönland, von JAMES (1970) aus N-Kanada und von TEDROW (1970 b) aus NW-Grönland, so können die Anschauungen als repräsentativ für die arktische Zone gelten.

Für die Beurteilung der pedologischen Verhältnisse der pleistozänen Periglazialgebiete in den Mittelbreiten ist man auf das Studium der aktuellen Böden der Polargebiete angewiesen. Bisher hat die Quartärforschung den Phänomenen der Bodenbildung besonders im Hinblick auf die Lößstratigraphie Beachtung geschenkt, und dabei vor allem die warmzeitlichen und interstadialen Bodenbildungen eingehend untersucht (SEMMELE & STABLEIN 1971 u. a.). Aus den Kaltphasen des Quartärs sind bisher nur die Frostmusterböden und die bodenartigen Verwitterungsdecken und Solifluktionsdecken der früheren Permafrostbereiche näher bekannt (POSER 1948, SEMMELE 1968 u. a.). Für paläopedologische Fragestellungen sind genaue Kenntnisse über die rezenten arktischen Böden von besonderer Bedeutung. Inwieweit die Anschauungen über die Bodentypologie des rezenten arktischen Periglazials auf das pleistozäne Mittelbreiten-Periglazial übertragen werden darf, bleibt vorerst fraglich.

Literatur

- Büdel, J. (1962): Die Abtragungsvorgänge auf Spitzbergen im Umkreis der Barentsinsel auf Grund der Stauerland-Expedition 1959/60. — Verh. 33. Dt. Geogr. Tag Köln 1961: 337—375, Wiesbaden.
- Douglas, L. A. & J. C. Tedrow 1960: Tundra soils of arctic Alaska. — Trans. 7th Int. Congress Soil Sci. 4: 291—304.
- Holowaychuk, N. & K. R. Everett (1972): Soils of the Tasersiaq Area, Greenland. — Medd. Grönland 188 (6): 1—35.
- Ivanova, Y. N., Hrsg. (1963): Soils of Eastern Siberia. — Transl. TT69—55073. US Dept. of Comm. Clearinghouse for Fed. Sci. and Techn. Inf., Springfield.
- James, P. A. (1970): The soils of the Rankin Inlet Area, Keewatin. NWT, Canada. — Arctic and Alpine Research 2 (4): 293—302.
- Kohl, F., Hrsg. (1971): Kartieranleitung, Anleitung und Richtlinien zur Herstellung der Bodenkarte 1:25.000. — Arb. Gem. Bodenkunde: 1—169, Hannover.
- Kubienna, W. L. (1953): Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. — 1—392, Stuttgart.
- Olesen, O. B. (1967): Ground temperature measurements in West Greenland. — Rapp. Grönlands Geol. Unders. 15: 25—26.
- Olesen, O. B. (1971): A new station for ground temperature measurements at Christianshab, Central West Greenland. — Rapp. Grönlands Geol. Unders. 45: 20—21.

- Poser, H. (1948/1949): Boden- und Klimaverhältnisse in Mittel- und Westeuropa während der Würm-Eiszeit. — *Erdkunde* 2: 53—68.
- Rieger, S. (1974): Arctic Soils. — In: Ives, J. D. & R. G. Barry, Hrsg.: *Arctic and Alpine Environments*: 749—769, London.
- Rozov, N. N. & Y. N. Ivanova (1967): Classification of the soils of the UdSSR. — *Soviet Soil Sci.* 2: 147—156; 3: 288—300.
- Schroeder, D. (1972): *Bodenkunde in Stichworten*. — 1—144, Kiel.
- Semmel, A. (1969): Studien über den Verlauf jungpleistozäner Formung in Hessen. — *Frankfurter Geogr. Hefte* 45: 1—133, Frankfurt.
- Semmel, A. (1969): Verwitterungs- und Abtragungerscheinungen in rezenten Periglazialgebieten, Lappland und Spitzbergen. — *Würzburger Geogr. Arb.* 26: 1—82, Würzburg.
- Semmel, A. & G. Stäblein (1971): Zur Entwicklung quartärer Hohlformen in Franken. — *Eiszeitalter und Gegenwart* 22: 23—34.
- Soil Survey Staff (1960): *Soil Classification, a comprehensive system: 7th approximation*. — US Dept. of Agric., Soil Conserv. Serv.: 1—265, Washington.
- Soil Survey Staff (1967): *Supplement to soil classification system: 7th approximation*. — US Dept. of Agric., Conserv. Service: 1—207, Washington.
- Stäblein, G. (1975): Eisrandlagen und Küstenentwicklung in West-Grönland. — *Polarforschung* 45 (2): 71—86.
- Stäblein, G. (1977a): Periglaziale Höhenstufen zwischen Subarktis und Äquator; Bericht über das geomorphologische Symposium der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, 19. bis 23. September 1976. — *Die Erde* 108: 151—154.
- Stäblein, G. (1977b): Rezente Morphodynamik und Vorzeitrelieffluenz bei der Hang- und Talentwicklung in Westgrönland. — *Z. Geomorph. NF, Suppl. Bd.* 28: 181—199.
- Stäblein, G. (1977c): Permafrost im periglazialen Westgrönland. — *Erdkunde* 31 (4): 271—279.
- Stäblein, G. (1977d): Periglaziale Formengesellschaften und rezente Formungsbedingungen in Grönland. — *Abh. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. III*, 31: 17—33, Göttingen.
- Tedrow, J. C. F., Drew, J. V., Shanks, R. E. & J. J. Koranda (1958): Rate and depth of thaw in arctic soils. — *Trans. Amer. Geophys. Union* 39: 697—701.
- Tedrow, J. C. F. (1962): Morphological evidence of frost action in arctic soils. — *Biuletyn Peryglacjalny* 11: 343—352.
- Tedrow, J. C. F. (1970a): Soils of the subarctic regions. — In: *UNESCO Proceedings of the Helsinki symposium 1966*: 189—205, Paris.
- Tedrow, J. C. F. (1970b): Soil Investigations in Inglefield Land, Greenland. — *Medd. Grønland* 188 (3): 1—93.
- Ugolini, F. C. (1966a): Soils of the Mesters Vig District, northeast Greenland, I: The arctic brown and related soils. — *Medd. Grønland* 176 (1): 1—22.
- Ugolini, F. C. (1966b): Soils of the Mesters Vig District, northeast Greenland, II: Exclusive of Arctic Brown and Podzol-like soils. — *Medd. Grønland* 176 (2): 1—25.
- Weidick, A. (1968): Observations on some Holocene Glacial Fluctuations in West Greenland. — *Medd. Grønland* 165 (6): 1—202.