

# Wechselwirkungen zwischen Boden- und Vegetationsentwicklung in der Kontinentalen Antarktis

H.-P. Blume und M. Bölter\*

## Synopsis

Correlations between soil formation and vegetation cover of the Continental East-Antarctic near the Australian Casey Station with mean annual temperature of  $-9,3^{\circ}\text{C}$  and 176 mm precipitation were described. Sandy to gravelly Lepti-gelic Podzols are covered by dense stands of macrolichens whereas loamy Dystrigelic Leptosols have no vegetation cover. Terri-gelic Histosols are formed under dense stands of bryophytes whereas Fibri-gelic Histosols are formed in a meltwater lake. The reasons of the findings are discussed.

(1986, 1990) hat die auftretenden Pflanzengesellschaften in Abhängigkeit vom Relief und den Feuchteverhältnissen beschrieben. Eigene Untersuchungen ergaben als Böden ein Nebeneinander von sandigen bis steinigen Podsolen, flachgründigen und schluffig-lehmigen Leptosolen, schluffigen Regosolen sowie organischen Histosolen, die alle im Unterboden Permafrost aufweisen, außerdem »belebte« Felsen und Steine als Lithosole (BLUME und BÖLTER 1993). Zwischen den Bodeneigenschaften sowie Art und Bedeckung der Vegetation konnten deutliche Wechselbeziehungen beobachtet werden, über die im Folgenden berichtet werden soll.

## 1 Einleitung

Die kontinentale Antarktis ist überwiegend mit Eis bedeckt. Kleine Küstensäume der Ostantarktis sind eisfrei und zeigen dann Boden- und teilweise auch Vegetationsbedeckung. Die Bailey-Halbinsel mit der australischen Forschungsstation Casey an der Budd-Küste von Wilkesland gehört dazu. Hier hat sich teils schütterere, teils dichte Cryptogamenflora entwickelt: manche Bereiche werden von Strauchflechten beherrscht, an anderen dominieren Moose. SMITH

## Geomorphologie, Lithologie und Klima

Untersucht wurden die Bodenverhältnisse eines 6,4 ha großen Areals unmittelbar südlich der australischen Station Casey (Abb. 1). Ein 35 bis 46 m hoher Hügel aus steil gestellten Gneisen und Schiefen (BLIGHT und OLIVER 1977) ist großenteils mit Blöcken bzw. mit einer dünnen Decke feinerkörnigen, carbonatfreien Moränenmaterials bedeckt; an Unterhängen ist das schluffig-kiesige Moränenmaterial z.T. mächtiger;

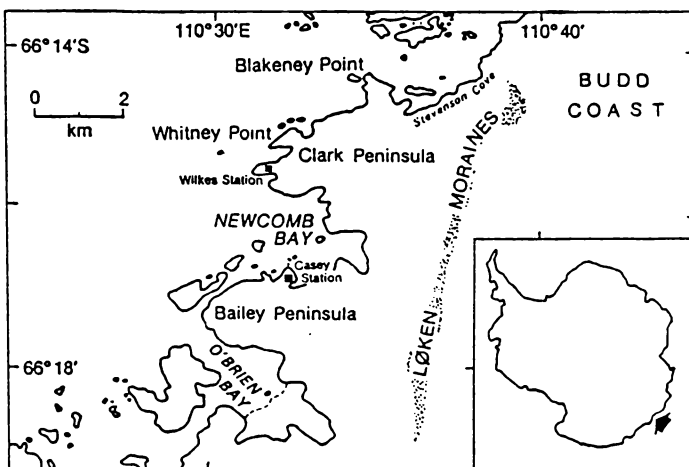


Abb. 1  
Ausschnitt der kontinentalen Ostantarktis mit der australischen Station Casey (aus SMITH, 1990)

Fig. 1  
Part of the Continental East-Antarctic with the Australian Casey Station

\* Herrn Prof. Dr. Reinhard Bornkamm zum 65. Geburtstag gewidmet

Abb. 2  
Klimaverhältnisse der australischen Station Casey. Abgeleitet aus unpublizierten Meßwerten von 1960-1991

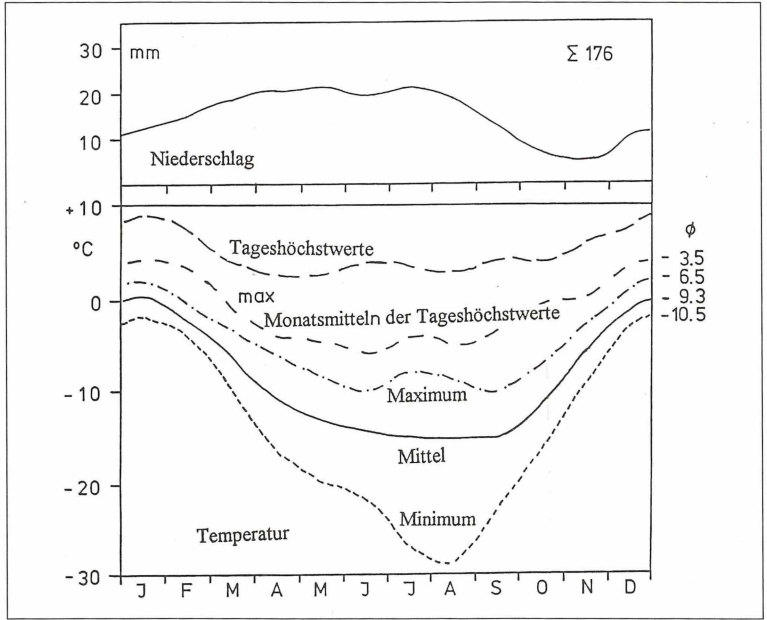


Fig. 2  
Climatic conditions of Casey, Antarctica; after unpublished Australian data from 1960 to 1991

Abb. 3  
Eigenschaften eines sandigen Lepti-gelic Podzol with salic and gelundic phase auf Leucogneiss unter Strauchflechten

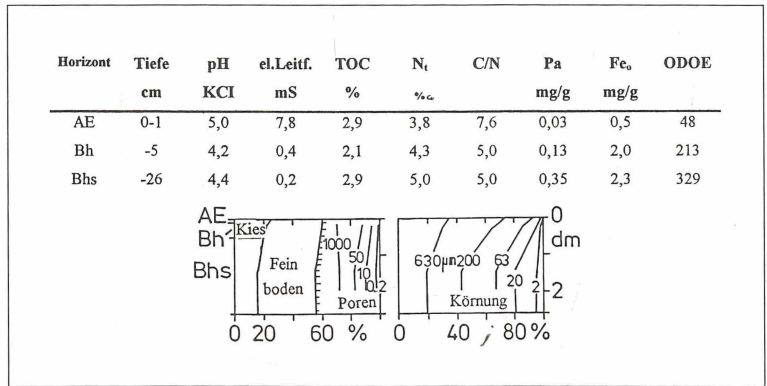


Fig. 3  
Soil conditions of a sandy Lepti-gelic Podzol with salic and gelundic phase on leucogneiss under lichens

Abb. 4  
Mikromorphologie des Bh-Horizontes eines sandigen Lepti-gelic Podzol (Sandkörner mit Humus-Häutchen); Länge 3 mm



Fig. 4  
Micromorphology of the Bh horizon of a sandy Lepti-gelic Podzol (sand grains with black organic coatings); length 3 mm

weite Mulden sind selbst im Sommer nur teilweise schneefrei und werden dann von Blockmeeren oder flachen Schmelzwasserseen eingenommen.

Die Jahresmitteltemperatur beträgt  $-9,3^{\circ}\text{C}$ . Der Januar ist der wärmste Monat mit einer Mitteltemperatur von  $+0,2^{\circ}\text{C}$  (Abb. 2). In manchen Jahren liegen auch die Dezember- und Februarmittel über  $0^{\circ}\text{C}$ , in anderen Jahren nicht einmal der Januar. Einzelne Tageshöchsttemperaturen können aber in allen Monaten über  $+5^{\circ}\text{C}$  liegen (Abb. 2), und in 5 cm Bodentiefe werden auch Temperaturen über  $10^{\circ}\text{C}$  gemessen.

Der Jahresniederschlag (im Mittel 176 mm) fällt praktisch nur als Schnee: statistisch regnet es lediglich an 2 Tagen des Jahres. Starke Stürme, vor allem küstenparallel aus Ost, bewirken eine starke Umverteilung des Schnees. Auch aus diesem Grunde sind nur Rücken und Hänge oberhalb 33 bis 34 m NN jeden Sommer für 1–3 Monate schneefrei (die sonnenexponierten Nord-Unterhänge auch tiefer) und zeigen teilweise reiche Vegetationsbedeckung durch Moose und Flechten. Tiefer gelegene Bereiche sind nur in manchen Jahren für wenige Wochen schneefrei und daher praktisch vegetationsfrei. Der Bodenfrost taut im Sommer in schneefreien Bereichen 40–80 cm tief.

Das Areal ist seit ca. 5500 Jahren eisfrei (GOODWIN 1993). Teile des Hügels waren vor einigen Jahrtausenden von Adelige-Pinguinen besiedelt (LLANO 1959, SMITH 1990, WOEHLENER et al. 1991).

### 3 Methoden

Von 90 Bodenprofilen wurden Körnung, Gefüge, Farbe und Feuchte der Horizonte im Felde beschrieben und teilweise die Redoxpotentiale (mittels für 8–12 Stunden installierter Pt-Elektroden) gemessen, außerdem im Labor die Wasser-, Kies- und Steingehalte sowie die pH ( $\text{H}_2\text{O}$ )-Werte und elektrische Leitfähigkeiten (nach 25 ml  $\text{H}_2\text{O}$  zu 10 g Feinboden; Bezug auf Wassergehalt der Gleichgewichtsbodenlösung GBL) und die pH ( $\text{CaCl}_2$ )-Werte gemessen. Horizont- und Bodenbezeichnungen erfolgten nach FAO/UNESCO (1990).

Von mehreren Leitprofilen wurden Gewichts- und Volumenproben horizontweise entnommen und nach SCHLICHTING et al. (1995) in Kiel untersucht: Körnung (Sieb- und Pipettmethode nach  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Behandlung und Galgon-Dispergierung); org. Kohlenstoff (TOC: trockene Oxidation bei  $1200^{\circ}\text{C}$  und coulometr.  $\text{CO}_2$ -Bestimmung); Gesamtstickstoff ( $\text{N}_t$ ; Kjeldalaufschluß, kolor.  $\text{NH}_4$ -Bestimmung); austauschbare Kationen (nach  $\text{BaCl}_2$ -Extraktion) und Ionen der Bodenlösung (Extraktion mit aqua dest.) mittels AAS bzw. kolorimetrisch. Porenvolumen und Porung durch gestufte Entwässerung wassergesättigter Stechzylinderproben auf pF 0,6, 1,8, 2,5 und 4,2.

Pedogenes Eisen wurde mit Oxalat ( $\text{Fe}_o$ ) bzw. Dithionit/Zitrat ( $\text{Fe}_d$ ) extrahiert und mit AAS bestimmt. Die Färbung des Oxalatrextraktes wurde bei 472 nm fotometriert (ODOE).

Im Bezug auf die **Vegetation** konnte auf detaillierte Pflanzenaufnahmen von SMITH (1986, 1990) zurückgegriffen werden. Die Bodenflora vieler Böden war vom Zweitautor bereits näher untersucht worden (u.a. BÖLTER 1989, 1992). Ökologische und physiologische Untersuchungen der Flora erfolgten u.a. von KAPPEN et al. (1990).

## 4 Ergebnisse

Alle Böden bzw. Gesteine des untersuchten Areals weisen zumindest im zweiten Meter ganzjährig negative Temperaturen auf. Es handelt sich daher um Dauerfrostböden (n.FAO/UNESCO 1990 **gelic** subunits); fast alle zeigen auch deutliche Frostmuster wie Steinringe, Girlanden (mithin **gelundic phase**), und viele von ihnen sind durch aktive Cryoturbation sowie Solifluktion geprägt (und wären daher nach WRB, 1994, als **Cryosole** zu klassifizieren).

### 4.1 Kiesig-sandige Podsole mit starkem Flechtenbewuchs

Aus sandig/kiesigem Moränenschutt über quarzreichem Leukogneis haben sich unter einer dichten Decke von Strauchflechten (*Usnea sphacelata*) geringmächtige ( $< 30$  cm) Podsole entwickelt, d.h. Böden, aus deren Oberboden Al und Fe in organischer Komplexbildung durch Sickerwasser in den Unterboden umgelagert wurden. Der Abb. 3 sind die Eigenschaften eines derartigen **Podsols** zu entnehmen. Der Bleichhorizont (AE) ist mit nur 1 cm äußerst geringmächtig (und wird daher leicht übersehen); die Bh- bzw. Bhs-Horizonte sind mit ihrer kaffeebraunen Färbung (Munsell 5 YR 2.5/2) und ihrer starken Anreicherung mit mobilem Humus (ODOE) und pedogenem Eisen ( $\text{Fe}_o$ , die die Sandkörner umhüllen (Abb. 4) und teilweise miteinander verkleben, mit denjenigen norddeutscher Podsole vergleichbar. Im Unterschied zu letzteren besitzen sie aber ein überraschend enges C/N-Verhältnis, das durch relativ hohe Eiweißgehalte (11–17% Eiweiß-C gegenüber 3–4% in norddeutschen Podsolen) verursacht wird (BEYER et al. 1995a). Die Methoxygehalte sind mit 0,3–0,5% hingegen erwartungsgemäß gering (da Flechten kein Lignin enthalten). Der Oberboden dieser sandigen Böden ist besonders ton- und schluffarm, was wir sowohl mit einer früheren Aufwärtsbewegung größerer Partikel durch Cryoturbation als auch mit einer Winderosion der feineren Partikel (vor der Vegetationsbedeckung) erklären. Auffällig ist schließlich der

hohe Salzgehalt (s. el. Leitfähigkeit in Abb. 3) des Oberbodens: Es handelt sich dabei um meeresbürtige Salze, die mit dem Niederschlag eingetragen wurden und dann teils durch Verdampfen der Schneedecke, teils durch kapillaren Wasseraufstieg nach Abtrocknen des Oberbodens (die Probenahme erfolgte während des antarktischen Sommers am Ende einer mehrwöchigen Trockenperiode) angereichert wurden. Es dominieren grobe Poren: Die Luftkapazität ist demnach mit 20–30 Vol.% hoch, die nutzbare Wasserkapazität hingegen nur mäßig (Abb. 3).

Bleichhorizonte mit einer Mächtigkeit von mehr als 5 cm weisen nur solche Podsole auf, die sich aus den Böden früherer Kolonien von Adelee-Pinguinen (*Pygoscelis adeliae*) entwickelt haben. Diese Vögel hatten (nach LLANO, 1959, vor mehreren Jahrtausenden) Teile des untersuchten Hügels für längere Zeit besiedelt und durch den Nestbau Kiesel mit einem Durchmesser von 3–6 cm im Laufe von Jahrhunderten in einer Mächtigkeit bis zu 60 cm angehäuft und deren Lücken mit letztlich dem Meer entstammenden Ausscheidungen sowie Federn und krepiernten Jungtieren verfüllt. Der Abb. 5 sind die Eigenschaften eines derartigen Podsols zu entnehmen: B- und insbesondere AE-Horizonte bestehen stofflich zu über 80% aus Kies; die Feinerde besteht überwiegend aus (wohl durch die Pinguine mit den Füßen eingetragenen?) Sand und wenig Ton und Schluff. Von den ursprünglich extrem eutrophen Verhältnissen zeugen heute nur noch die stark erhöhten P-Gehalte (sowie Knochen- und Federreste). Die Tonfraktion besteht überwiegend aus Apatit neben etwas Strengit und Vivianit (BLUME et al. 1996), während MYRCHA und TATUR (1991) in der maritimen Antarktis Al-Phosphate feststellten. Die ehemals nährstoffreichen Standorte sind heute stark verarmt; ihre Feinerde besitzt besonders im Unterboden im Vergleich zu deutschen Podsolen aber hohe N-Reserven (s. C/N in Abb. 4) sowie relativ hohe Gehalte an verfügbarem Ca, Mg, K und NO<sub>3</sub> auf (s. Tab. 1). Die Bodenlösung ist oben stark durch meeresbürtige Salze beeinflusst (s. Na- und Cl-Gehalte in Tab. 1). Der von uns untersuchte ehemalige »Ornithosol« war windex-

poniert und daher fast vegetationsfrei. SMITH (1990) hat aber auch entsprechende Standorte unter geschlossenem Bestand von *Usnea sphacelata* beschrieben (deren heutige Podsol-Natur allerdings nicht erkannt). Er stellt dort eutrophere Verhältnisse mit dem Auftreten von nitrophilen Flechten (z.B. *Xantharia* sp.) und Algen (*Prasivla crispa*) fest, wo sich heute südpolare Raubmöwen (*Catharacta maccormicki*) häufiger aufhalten.

## 4.2 Flachgründige, lehmige, dystrophe Leptosole

Auf dem Gneisrücken fallen schmale (meist < 50 cm) Streifen auf, die fast ohne Vegetationsbedeckung sind: lediglich Steine, die diese Flächen vorrangig umranden, zeigen Flechtenbewuchs. Es handelt sich um schluffig/lehmige Böden, die sich aus basenreichem Gneis bis Glimmerschiefer entwickelt haben. Abb. 6 sind die Eigenschaften eines derartig flachgründigen (Solum < 30 cm), lehmigen **Leptosols** zu entnehmen. Er enthält 20 bis über 40 % Ton, wobei die Tongehalte nach unten zunehmen, die Sand- und Kiesgehalte entsprechend abnehmen, was wir auf Cryoturbation zurückführen. Der Boden ist gelbbraun gefärbt (2.5 Y 6/4), mithin deutlich verbraunt (s. auch Fe<sub>a</sub>-Gehalte: deren Zunahme nach unten wurde ebenfalls durch Cryoturbation verursacht). Der Cgw weist Rost- (7.5YR 5/8) und Bleichflecken (GY 6/1) auf, ist demnach zeitweilig luftarm infolge Staunässe. Diese Böden sind ähnlich stark versauert und entbast wie die Podsole, enthalten infolge hoher Tongehalte aber trotzdem deutlich höhere Gehalte an verfügbaren und Reserve-Nährstoffen. Auffallend ist, daß sie ebenfalls nennenswerte Gehalte an organischer Substanz von bis zu 3% aufweisen. Dieser Humus ist unseres Erachtens vorrangig auf Algen zurückzuführen, denn im Oberboden wurden *Diatomeen* und *Cyanophyceen* festgestellt. Sie sind auch vergleichsweise reich an Bakterien und Pilzen, was ihre günstigeren Nährstoffverhältnisse unterstreicht. Diese Böden sind durch eine starke, rezente Cryoturbation im antarktischen Sommer infolge nächtlicher Bodengefrorenis und mittäglichen Tauens charakterisiert. Dies sehen wir als die Ursache für das Fehlen von Flechten-

Tab. 1: Austauschbar gebundene Kationen (a) und Kat- und Anionen der Bodenlösung eines kiesigen Gelic Podzol with gelundic phase einer früheren Pinguinkolonie mit geringem Flechtenbewuchs.

Hor.	Tiefe	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	Ca <sub>a</sub>	Mg <sub>a</sub>	Na <sub>a</sub>	K <sub>a</sub>	Al <sub>a</sub>
AE	6–8	7,4	3,4	50	18,0	56	9,5	0,9	116	62	41	69	38
Bh	–11	4,4	0,7	26	3,9	14	11,0	16,0	290	78	51	52	73
Bs	–30	7,9	1,2	32	3,1	14	12,0	2,8	658	73	120	72	55
BC	–50	6,2	1,3	32	4,2	11	8,0	5,9	922	66	88	107	14

Tab. 1: Exchangeable cations (a) and ions of soil solution in a gravelly Gelic Podzol with gelundic phase of a former penguin rookery with some lichens.

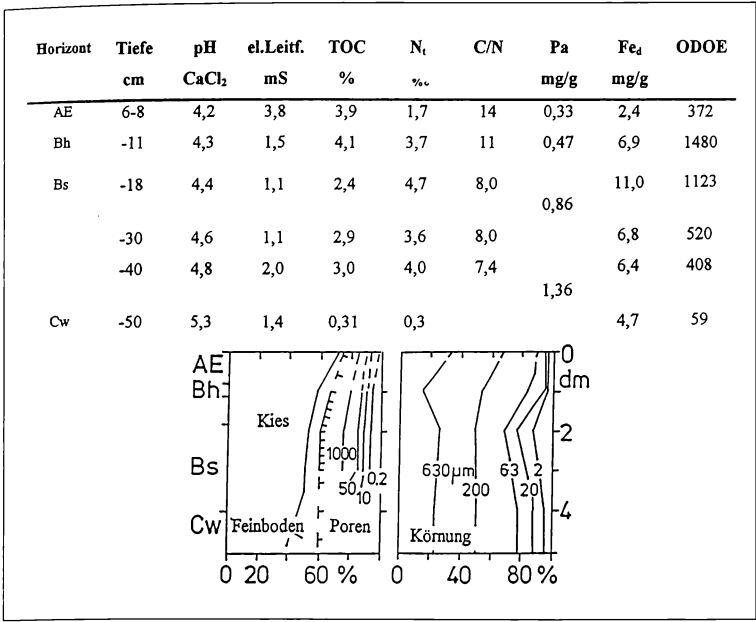


Abb. 5  
Eigenschaften eines kiesigen Gelic Podzol with gelundic phase einer früheren Pinguinkolonie auf Gneiss, mit geringem Flechtenbewuchs

Fig. 5  
Soil conditions of a gravelly Gelic Podzol with gelundic phase of a former penguin rookery on gneiss; with some lichens

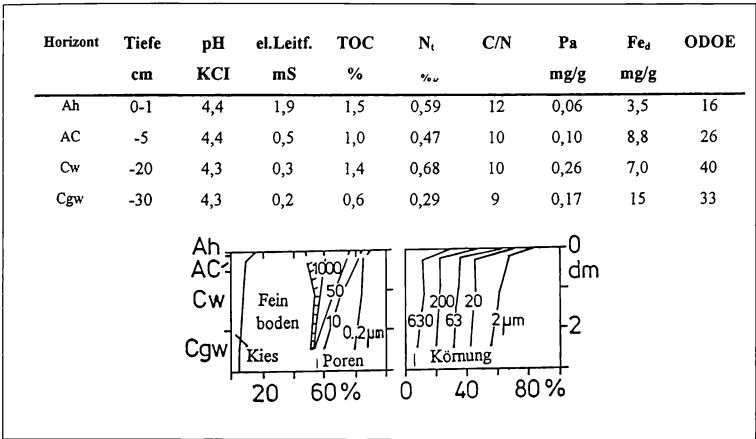


Abb. 6  
Eigenschaften eines lehmigen Dystri-gelic Leptosol with gelundic phase über bas. Gneiss bis Glimmerschiefer

Fig. 6  
Soil conditions of a loamy Dystri-gelic Leptosol with gelundic phase on bas. gneiss to shists

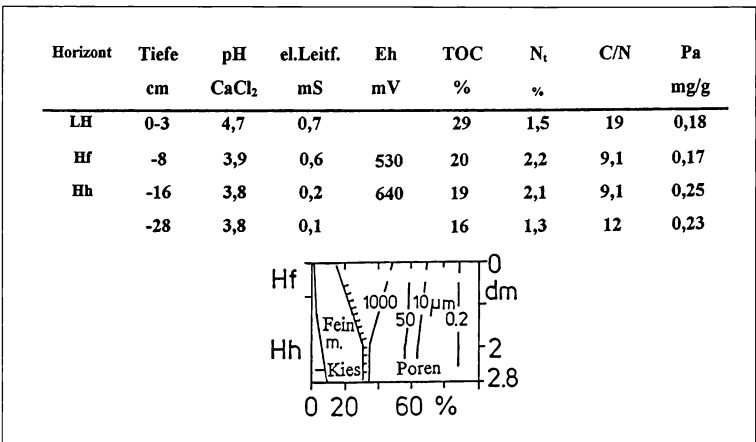


Abb. 7  
Eigenschaften eines Terri-gelic Histosol auf Gneiss unter dichtem Moospolster

Fig. 7  
Soil conditions of a Terri-gelic Histosol on gneiss beneath dense cover of mosses

und Moosbewuchs an, da diese Pflanzen unter den arktischen Klimabedingungen nur äußerst langsam wachsen und festliegenden Grund bevorzugen.

Diese Böden besitzen im Unterboden kaum Grobporen (Abb. 6), was den Wasserstau bei Schneeschmelze über gefrorenem Untergrund und zeitweiligem Luftmangel erklärt. Sie sind demgegenüber reich an Mittelporen, bleiben mithin auch während längerer Trockenperioden des Sommers feucht, so daß bei Ihnen im Gegensatz zu den Podsolen sich Wassermangel nicht dämpfend auf die Aktivität der Bodenorganismen sowie den Algenwuchs auswirken dürfte.

Neben lehmigen Leptosolen treten auch sandig-schluffige Leptosole mit deutlich geringeren Tongehalten auf. Sie besitzen auch Flechtenbewuchs auf der Bodenoberfläche, erleben mithin wohl keine rezente Cryoturbation.

### 4.3 Flachgründige Histosole

An Hangstufen mit wenig durchlässigem Untergrund, wo sich im Sommer Schmelzwasser sammelt, treten kleinflächig (wenige m<sup>2</sup>) bis großflächig (bis 50 m<sup>2</sup>) geschlossene Moospolster von *Ceratodon purpureus* auf. Steine solcher Senken sind mit *Usnea antarctica* besetzt. Die Moose überlagern flachgründige (bis 30 cm mächtige) Torfe. Abb. 7 sind die Eigenschaften eines derartigen **Histosols** zu entnehmen. Die obere Torflage (Hf) erweist sich morphologisch als mäßig (H1–H3), die untere als stark humifiziert (H5–H8) und deutlich gebräunt (5 YR 2.5/1.5), so daß ein **Terri-gelic** Histosol vorliegt. Humuschemische Analysen seitens BEYER et al. (1995 b) ergaben allerdings nur geringe Gehalte an aromatischen Verbindungen, so daß die Huminstoffbildung nicht sehr stark ist. Die pH-Werte liegen mit 3,8 niedrig, denen aber hohe N-Gehalte gegenüberstehen. Letzteres ist auf hohe Eiweißgehalte (5–9 mg/g d-Amino-N) und weitere organische N-Verbindungen (7–15 mg/g N) zurückzuführen, während anorganische N-Verbindungen (mit 30–80 mg/g NH<sub>4</sub>-N und nur 0.005–0,1 mg/g NO<sub>3</sub>-N) nur eine geringe Rolle spielen (BEYER et al. 1995 b). Der Torf weist im Unterschied zu Mineralböden ein hohes Porenvolumen (70–85%) und eine hohe Wasserkapazität (40–50%: s. Porenanteil < 50 µm in Abb. 7) auf. Der Torfkörper selbst bindet mithin einen hohen Anteil des sommerlichen Schmelzwassers und ermöglicht so einen Mooswuchs auch in trockenen Sommern.

Im Uferbereich eines Schmelzwassersees, dessen Eisdecke in manchen Sommern für einige Wochen schmilzt, treten bei Wassertiefen von 20–30 cm zwischen großen Steinen ebenfalls sehr geringmächtige (< 20 cm) Torfe über anstehendem Fels auf. Sie sind aus Großalgen (*Phormidium* sp.) entstanden, die sich im Sommer im oberflächlich erwärmten Seewasser

entwickeln. Deren organische Substanz ist olivgrün (5 GY5/1) gefärbt, kaum zerkleinert und nicht humifiziert (und wurde daher auch als Torf bezeichnet, während in wärmeren Klimaten Mudden zu erwarten gewesen wären). Abb. 8 zeigt die Eigenschaften eines derartigen **Fibri-gelic** Histosol. Der Boden ist nur mäßig versauert, das Wasser ist leicht brackig (1,8 mS). Die Oberfläche des Torfes war leicht gebräunt. Im oberen cm wurden Redoxpotentiale von 620 mV, mithin O<sub>2</sub>-reiche Bedingungen festgestellt, darunter allerdings nur Werte um 250 mV, mithin Fe-reduzierte, sauerstoffarme Verhältnisse (wie sie für See-Gyttjen der Gemäßigten Breiten typisch sind). Die starke P-Anreicherung im obersten Horizont führen wir auf eine Aufwärtsverlagerung entlang des festgestellten Redoxgradienten und Bindung als Fe(III)-Phosphat zurück. Der N-Gehalt ist niedriger als der der Terric Histosols. Die Eiweißgehalte sind allerdings mit 11 mg/g  $\alpha$ -Amino-N höher, während sonstige organische N-Verbindungen kaum vertreten sind, wohl aber bis zu 0,2 mg/g NH<sub>4</sub>-N (BEYER et al. 1995b). Das Porenvolumen ist (trotz eines mineralischen Anteils von 30–60%) mit über 90% sehr hoch, wobei Mittelporen (0,2–10 µm Ø) stark vertreten sind (Abb. 8).

### 4.4 Lithosole

Anstehende, steile Gneisfelsen zeigen in windgeschützter Lage dichten Flechtenbewuchs, wobei von oben nach unten *Umbilicoria decussata*, *Usnea spha-celata* und *Pseudophebe minuscula* aufeinander folgen, was von SMITH (1990) mit nach unten zunehmend längerer Schneebedeckung erklärt wird. Auch die Steine der Dauerfrostböden sind leeseitig stark bewachsen. Neben dem Flechtenbewuchs der Fels- und Steinoberfläche treten grüne Algen im Gestein auf und zwar vorrangig in 3–6 mm Tiefe. Deren Besiedlung wurde wohl durch Fissuren im Gestein als Folge einer Frostsprengung ermöglicht. FRIEDMANN (1982) hat entsprechende Besiedlungen durch endolithische blaugrüne Algen für Sandsteine der kontinentalen Antarktis genauer beschrieben. Wir haben auch derartige Felsen und Steine als Böden angesprochen und als **Lithosole** klassifiziert. Es handelt sich naturgemäß um sehr wechselfeuchte Standorte, die je nach Gesteinsart unterschiedlich hohe Nährstoffgehalte aufweisen dürften.

### 4.5 Vegetationsarme bis -freie Regosole

Der Ost-Unterhang des Hügels besteht aus über 1 m mächtigem Moränenmaterial mit deutlicher Frostmusterbildung in Form zungenförmig talwärts gestreckter, von Steinen umgebener Girlanden. Hier tritt die Vegetationsbedeckung unterhalb 37 m NN stark

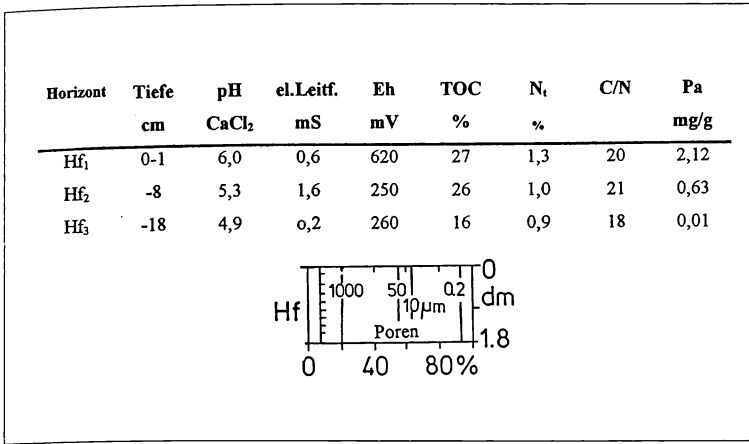


Abb. 8  
Eigenschaften eines Fibrigelic Histosol auf Gneis eines Schmelzwassersees; Seewasser 20 cm oberhalb der Bodenoberfläche

Fig. 8  
Soil conditions of a Fibrigelic Histosol on gneiss of a meltwater lake; lake water 20 cm above surface

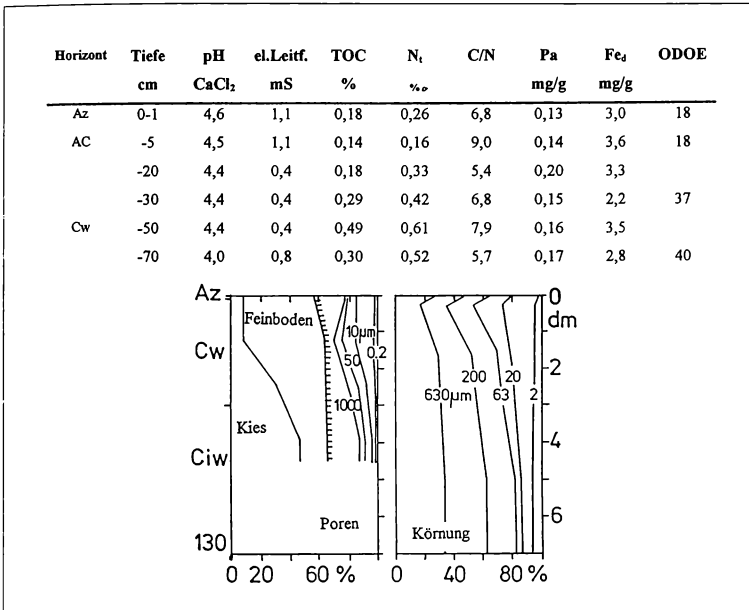


Abb. 9  
Eigenschaften eines schluffigen Dystri-gelic Regosol with gelundic and salic phase auf Moräne mit einigen Lebermoosen und Bodenalgeln

Fig. 9  
Soil conditions of a silty Dystri-gelic Regosol with gelundic and salic phase on moraine with some mosses and algeln

zurück, und Strauchflechten fehlen völlig. Der Bereich zwischen 37 und 33 m NN ist erst in der zweiten Sommerhälfte schneefrei, und unterhalb 33 m NN schmilzt der Schnee in manchen Jahren überhaupt nicht. Zwischen 37 und 33 m NN weist die Bodenoberfläche teilweise dünne Moosmatten auf (z.B. *Grimmia antarctici*, *Ceratodon purpureus*, *Bryum pseudotriogotum*), und die Steine besitzen einzelne Flecken von verschiedenen Krustenflechten (z.B. *Buellia* sp., *Lecidia* sp. u.a.) und Strauch- und Nabelflechten (*Umbilicaria decussaia*, *Pseudophebe minuscula*). Abb. 9 sind die Eigenschaften eines typischen Bodens zu entnehmen. Morphologisch sind kaum Veränderungen durch chemische Verwitterung und Mineralbildung zu erkennen. Der im feuchten

Zustand olivbraune (2.5 Y 4/2-3) Feinboden enthält kaum Ton, aber sehr viel Schluff, und ist ebenfalls deutlich versauert. Auch diese Regosole enthalten etwas eiweißreiche organische Substanz, die sehr unregelmäßig im Boden verteilt ist. Ab 70 cm Tiefe trat bei Probenahme Gefornis auf. Im Oberboden haben wir relativ viele Algen beobachtet. Wir nehmen daher an, daß die organische Substanz vor allem von Algen gebildet wurde, u.U. auch von Schneevalgen und später durch Cryoturbation im gesamten Boden verteilt wurde.

Unterhalb 33 m NN haben wir auf der Bodenoberfläche keine Vegetation mehr festgestellt, wohl aber Algen im Oberboden und einzelne kleine Krustenflechten an der Oberfläche großer Steine.

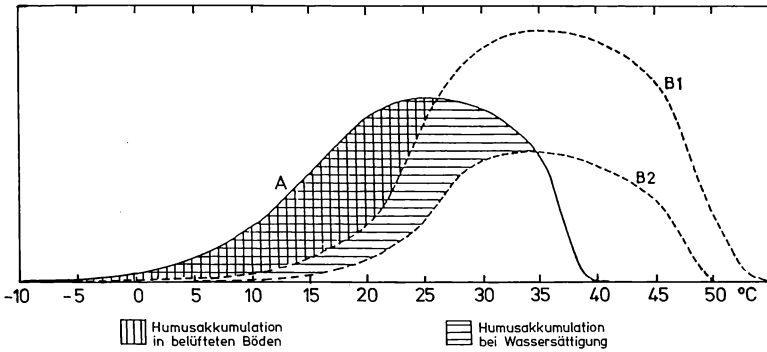


Abb. 10

**Biomasseproduktion (A) sowie Zersetzerleistung der Bodenorganismen in belüfteten (B1) und nassen (B2) Böden in Abhängigkeit von der Jahresmitteltemperatur (n. MOHR et al. 1972; verändert und um den negativen Temperaturbereich erweitert)**

Fig. 10

**Biomass production (A) as well as litter decomposition, by soil organisms in well drained (B1) and wet (B2) soils in relation to mean annual temperature (after MOHR et al. 1972; changed)**

## 5 Diskussion

Praktisch alle Böden erwiesen sich als mehr oder weniger stark versauert. Daraus läßt sich ableiten, daß bei Fehlen von Carbonaten und leicht verwitterbaren Silicaten wie Olivin selbst in sehr kalten Regionen eine mäßige Bodenatmung, verbunden mit einer Kohlensäurezufuhr aus der Luft, ausreicht, um Böden rasch versauern zu lassen. Möglicherweise trägt aber auch die mikrobielle Salpetersäurebildung zur Versauerung bei. Dabei könnte es sich u.a. um Stickstoff handeln, der von freilebenden und in Flechten symbiotisch lebenden Cyanophyceen des Bodens und des Schnees fixiert und später mineralisiert wurde. Eine kurzfristige Erwärmung auf über 5° C reicht offenbar für eine Nitrifizierung aus.

Gemeinsam ist vielen Böden auch, daß in ihrem obersten cm zeitweilig meeresbürtige Salze angereichert sind. Diese Salze werden mit dem Niederschlag unter Einfluß zeitweilig starker Brandung des weniger als 1 km entfernten Meeres zugeführt und dann offensichtlich durch Verdampfen des Schnees und auch kapillaren Wasseraufstieg im obersten Bodenhorizont konzentriert. Das Fehlen salztoleranter Pflanzenarten spricht allerdings dafür, daß diese erhöhten Salzkonzentrationen nur von kurzer Dauer sind. In unmittelbarer Nähe des Meeres sowie von Pinguinkolonien treten hingegen mit EC-Werten > 1 mS (in 5 ml H<sub>2</sub>O bei 1 g Boden, d.h. > 20 mS der GBL) so hohe Salzkonzentrationen auf, daß salztolerante Algen (*Prasiola crispa*) beobachtet werden (MELICK et al. 1994).

Ansonsten ergaben sich deutliche Wechselbeziehungen zwischen Bodenform einerseits und Art und Bedeckungsgrad der Vegetation andererseits. Sandig-kiesige bis steinige und zugleich trockene Standorte

mit mehrmonatiger Schneefreiheit im Sommer wiesen eine weitgehend geschlossene Decke von Strauchflechten auf, unter denen sich Podsole entwickelt haben, die N- und P-reicher sind als diejenigen von Podsolen wärmerer Klimate. Der dichte Flechtenbewuchs war offensichtlich möglich, weil keine aktive Cryoturbation und Solifluktion auftrat. Allerdings sind Podsole teilweise in Steinringböden entwickelt, deren Entstehung eine vergangene, zumindest mäßige Cryoturbation voraussetzt: heute wird offensichtlich auch durch den temperaturisolierend wirkenden Flechtenbewuchs Cryoturbation verhindert (LINDSAY, 1978).

Flechtenbewuchs fehlt demgegenüber auf Böden, die infolge höherer Tongehalte unter den gegebenen Klimaverhältnissen/ zu starker Cryoturbation neigen. Auch diese lehmigen Leptosole wiesen überraschend hohe Gehalte an organischer Substanz von mehreren Prozent bis in eine Tiefe von 20–30 cm auf, für die als Primärproduzenten nur Algen zur Verfügung stehen. Niedrige ODOE-Werte, d.h. kaum färbende Fulvosäure, zeigen, daß es sich (im Gegensatz zu den Podsolen) um kaum humifizierte Streustoffe handeln dürfte.

Moospolster haben sich dort gebildet, wo es während des arktischen Sommers naß ist. Das kann durch längerfristige Schmelzwasserzufuhr über felsigem Untergrund verursacht sein, aber auch bei lehmigen Plateauböden auftreten, wo hohe Lagerungsdichte über Permafrost Schmelzwasser am Versickern hindert. In derartigen Fällen haben sich flachgründige Moore bzw. Histosole entwickelt, deren Torfe teilweise humifiziert sind. Im Unterschied dazu ist der Humuskörper aus Großalgen am Gewässergrund entstandener Unterwasserböden praktisch nicht zersetzt und humifiziert. Wir führen die Unterschiede darauf



zurück, daß Torfe unter Moospostern zeitweilig trockenfallen und eine verminderte Wärmekapazität dann während sonniger Mittagsstunden die Bodentemperaturen auf 5–10°C steigern läßt, was einen mikrobiellen Abbau fördert. Am ganzjährig wassergesättigten Seegrund steigen die Temperaturen hingegen kaum mehr als 2–3 °C über den Nullpunkt an, was offensichtlich für Zersetzung und Humifizierung nicht ausreicht.

Böden, die nur in manchen Jahren für wenige Wochen schneefrei sind, besitzen keine oberirdische Vegetation. Demzufolge sind die Humusgehalte ihrer Böden gering. Dennoch erstaunt, daß bis 70 cm Tiefe Humusgehalte zwischen 0,3 und 0,6% auftreten können, für die als Primärproduzenten nur Boden- und Schneevalgen existieren.

Insgesamt erstaunt, daß die Humusgehalte aller untersuchten Böden, bezogen auf die extrem niedrige Biomasseproduktion, recht hoch sind. Die Lebensbedingungen müssen für die Konsumenten also noch wesentlich ungünstiger als für die Produzenten (Abb. 10) sein. Das mag einmal daran liegen, daß kaum zerkleinernde Bodentiere existieren können (SMITH, 1990, hat wenige Protozoen, Nematoden und Tardigraden beobachtet, hingegen keine Microarthropoden und keine Mesofauna), weiterhin daran, daß eine relativ hohe Wärmekapazität der Böden das Auftreten höherer Temperaturen nur selten zuläßt und schließlich daran, daß ein hoher Anteil gebildeter organischer Substanz in den Unterboden verlagert und damit einem Abbau weitgehend entzogen wird. Das geschieht bei sandigkiesigen Böden durch die Podsolierung, bei schluffigen und lehmigen Böden hingegen durch Cryoturbation. Jedenfalls haben unsere Untersuchungen die bodenkundliche Lehrmeinung, im Bereich der kontinentalen Antarktis existierten fast nur ahumic soils (s. hierzu CAMPBELL und CLARIDGE, 1987, sowie BOCKHEIM und UGOLINI, 1990), nicht bestätigt.

### Danksagung

Wir danken der Australian National Antarctic Research Expedition und vor allem Mitarbeitern der Casey-Station für die Möglichkeit und großzügige Unterstützung unserer Forschungsarbeiten im Jahre 1991. Frau Kneesch danken wir für sorgfältig durchgeführte Laborarbeiten und der DFG für die finanzielle Unterstützung.

### Literatur

- BEYER, L., BLUME, H.-P. und BÖLTER, M., 1995a: Die organische Bodensubstanz in Bh-Horizonten von Podsolen Norddeutschlands und früherer Pinguinkolonien der Küstenregion in der kontinentalen Antarktis. *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.* 76, 737–740
- BEYER, L., SORGE, C., BLUME, H.-P. und SCHULTEN, H.-R., 1995b: Soil organic matter composition and transformation in gelic Histosols of the coastal Continental Antarctica. *Soil Biol. Biochem.* 27, in press
- BLIGHT, D. and OLIVER, R., 1977: The metamorphic Geology of the Windmill Islands, Antarctica. *J. Geol. Soc. Australia* 24, 239–262
- BLUME, H.-P. and BÖLTER, M., 1993: Soils of Casey Station (Wilkes Land, Antarctica). Joint Russian-American seminar on Cryopedology and Global Change. *Post-Sem.Proc.* 96–103; Pushchino, Russia
- BLUME, H.-P., BEYER, L., BÖLTER, M., ERLKENKESER, H., KALK, E., KNEESCH, S., PFISTERER, U. and SCHNEIDER, D., 1996: Pedogenic zonation in soils of southern circumpolar region. *Advan. Geoecology*, in press.
- BOCKHEIM, I. and UGOLINI, F., 1990: A review of pedogenic zonation in well-drained soils of the southern circumpolar region. *Quaternary Res.* 34, 47–66
- BÖLTER, M., 1989: Microbial activity in soils from Antarctica (Casey Station, Wilkes Land). *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 2, 146–153
- BÖLTER, M., 1992: Environmental conditions and microbiological properties from soils and lichens from Antarctica. *Polar Biol.* 11, 591–599
- CAMPBELL, I.B. and CLARIDGE, G.G., 1987: Antarctica – soils, weathering processes and climate. Elsevier, New York
- FAO-UNESCO, 1990: Soil map of the world, revised legend. FAO, Rom
- FRIEDMANN, E.L., 1982: Endolithic microorganisms in the Antarctic cold desert. *Sci.* 215, 1045–1053
- GOODWIN, I.D., 1993: Holocene deglaciation, sea level change and the emergence of the Windmill Islands, Budd Coast, Antarctica. *Quaternary Res.* (in press)
- KAPPEN, L., MEYER, M. and BÖLTER, M., 1990: Ecological and physiological investigations in Continental Antarctic cryptogams. *Flora* 184, 209–220
- LINDSAY, D.C., 1978: The role of lichens in Antarctic ecosystems. *The Bryologist* 81, 268–276
- LLANO, G.A., 1959: Antarctic plant life. *Trans. Am. Geophys. Union* 40, 200–203
- MELICK, D.R., HOVENDEN, M.I. and SEPPELT,

- R.D., 1994: Phytogeography of bryophyte and lichen vegetation in the Windmill Islands, Wilkesland, Continental Antarctica. *Vegetatio* 111, 71–87
- MELICK, D.R. and SEPPELT, R. D. 1992: Loss of soluble carbonyhydrates and changes in freezing point of Antarctic bryophytes after leaching and repeated freeze – thaw cycles. *Antarct. Sel.* 4, 399–404
- MYRCHA, A. AND TATUR, A., 1991: Ecological role of the current and abandoned penguin rookeries in the land environment of the maritime Antarctic. *Polish Polar Res.* 12, 3–24
- ROSER, D.J., MELICK, D.R., LING, M.V. and SEPPELT, R.D. 1993: Polyol and sugar content of terrestrial plants from continental Antarctica. *Antarct. Sci.* 4, 413–420
- SCHLICHTING, E., BLUME, H.-P. und STAHR, K., 1995: *Bodenkundliches Praktikum*. 2. Aufl. Blackwell, Berlin
- SMITH, R., 1986: Plant ecological studies in the fell-field ecosystem near Casey Station. *Br. Antarct. Surv. Bull.* 72, 81–91
- SMITH, R., 1990: Plant community dynamics in Wilkes Land, Antarctica. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.* 3, 229–244
- WOEHLER, E.Z., SLIP, D.J., ROBERTSON, L.M., FULLAGAR, P.J. and BURTON, H.R. 1991: The distribution, abundance and status of Adelie Penguins *Pygoscelis adeliae* at the Windmill Islands, Wilkes Land, Antarctica. *Mar. Ornithol.* 19, 1–18
- WRB, 1994: World reference base of soils. JSSS/JSRJC/FAO, Wageningen.

### Adressen

H.-P. Blume  
 Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde  
 Universität Kiel

M. Bölter  
 Institut für Polarökologie  
 Universität Kiel

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [25\\_1996](#)

Autor(en)/Author(s): Blume Hans-Peter, Bölter M.

Artikel/Article: [Wechselwirkungen zwischen Boden- und Vegetationsentwicklung in der Kontinentalen Antarktis 25-34](#)