

daily variation of the electric field and the electrode effect can be observed every day of fair weather. As many basic questions in atmospheric electricity are still unanswered, observations in polar regions are preferable to observations on the other continents.

1. I. B ö s t r o m : Auroral Electric fields, Royal Institute of Technology, No. 66—15, Stockholm.
2. P. B u i s (1969): „Atmospheric electricity at base ‚Koning Boudewijn‘, 1964“ Exantar, Brussel.
3. H. F. F i s c h e r (1962): „Die elektrische Spannung zwischen Ionosphäre und Erde“, Diss. Technische Hochschule, Stuttgart.
4. G. D. F r e i e r (1961) Journal of Geophysical Research, Vol. 66, 1961 pp. 2695.
5. W. A. H o p p e l (1967): I. of Atm. Terr. Physics, 29, 1967, 709—721.
6. H. I s r a e l (1957) (1961): Atmosphärische Elektrizität I und II, Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig.
7. L. K o e n i g s f e l d and Ph. P i r a u x : Mem. Inst. Meteorol. Belg., 45.
8. J. H. K r a a k e v i k (1957): „The electric conductivity and current density in the troposphere“, Diss. University of Maryland.
9. C. K r a a n (1969): „Atmospheric electricity at base ‚Koning Boudewijn‘, 1966“, Exantar, Brussel, in preparation.
10. L. H. R u h n k e (1962): J. Geoph. Research, 1962, pp 2767.
11. J. S c h o l z (1935): Gerl. Beitr. Geophys. 44, 1935, 145—156.
12. W. G. F. S w a n n (1913): Terr. Mag. 18., 1913, 163—184.
13. O. W. T o r r e s o n (1946): Scientific Results of Cruise VII of the Carnegie, Oceanography III, Carn. Inst. Wash. Publ. 567.

Untersuchungen an Strukturböden in Ostspitzbergen, ihre Bedeutung für die Erforschung rezenter und fossiler Frostmusterformen in den Alpen bzw. im Alpenvorland.

Von Gerhard Furrer, Zürich *)

Strukturböden sind Formen, die unter subnivalen Klimabedingungen entstehen. Sie treten daher nicht nur in der Frostschuttzone hoher Breiten, sondern auch in der Frostschuttstufe der Hochgebirge auf. Allerdings finden sie in Ostspitzbergen — teilweise aus Reliefgründen — eine erheblich weitere Verbreitung als in den Alpen, bieten sich doch der Strukturbodenbildung im Hochgebirge keine derart weiten horizontalen oder nur schwach geneigten Flächen an, wie dies in arktischen Breiten der Fall ist. Dieser Umstand ist wohl mitverantwortlich, daß die arktischen Vertreter dieses Formenschatzes weit besser bekannt sind als die alpinen.

Während in der Regel die Strukturböden hoher Breiten über Dauerfrostboden zu beobachten sind, liegen in den Alpen nur einzelne, allerdings prachtvoll ausgebildete Strukturbodenfelder auf Permafrost: In unserem Hochgebirge läßt sich bei einzelnen Vorkommen während des ganzen Sommers unter gemusterten Flächen in 1/2 bis 1 m Tiefe gefrorener Boden nachweisen — dessen Oberfläche im Herbst ansteigt —, so daß die Strukturböden im Winter mit ihrer Unterlage fest zusammengefroren sind (Furrer 1955 und 1966, Elsasser 1968). Solche Frostböden betrachten wir als lokale Dauerfrostbodenvorkommen ¹⁾.

*) Prof. Dr. Gerhard Furrer, Geographisches Institut der Universität Zürich, Blümlisalpstraße 10, 8006 Zürich; Mitglied der von Herrn Prof. Dr. Büdel geleiteten internationalen Stauerlandexpedition 1967 nach Ostspitzbergen.

Vergleichende Untersuchungen ergeben, daß die Strukturbodenformen der Arktis und der Hochgebirge in bezug auf ihre äußere Form und ihren inneren Aufbau übereinstimmen. Mit Hilfe der Einregelungsmessung oder Situmetrie ²⁾ läßt sich eines ihrer charakteristischen inneren Merkmale quantitativ erfassen, nämlich die Orientierung der einzelnen Steine, welche am Aufbau der Strukturbodenformen beteiligt sind.

Figur 1 hält das Meßprinzip, das zahlenmäßige Ergebnis einer Messung und die graphische Darstellung des Resultates in Form des von Bachmann (1966) entwickelten Sitogrammes fest. Für jede Messung werden 100 Steinlängsachsen im Rahmen eines Steinringes beobachtet. Die Sitogramme belegen, daß die Steinlängsachsen in erster Linie — rund 50 % — in tangentialer Richtung weisen. Außerdem stellt sich ein zweites, aber kleineres Maximum bei Steinringen in radialer Richtung ein, rund 30 % aller Steine umfassend. Diese Einordnung ist formtypisch und gilt als charakteristisches Merkmal, das für die Steinringe der Arktis wie der Alpen Gültigkeit hat.

Die Steinringe bilden sich auf horizontalen oder nur minimal geneigten Flächen, während sich auf Hängen, also auf geneigten Flächen, die Steinstreifen ausprägen, welche im großen und ganzen der Fallinie folgen. Unsere Beobachtungen in Spitzbergen wie in den Alpen ergaben, daß bei diesen Formen die Steine entsprechend eingeregelt sind: Das bei Steinringen sich einstellende Maximum stimmt bei Steinstreifen mit einem Maximum überein, das in der Richtung ihrer Achse (Fallinie) liegt. Rund 30 % aller Steinlängsachsen sind isohypsenparallel gelagert, also rechtwinklig zum Achsenverlauf der Steinstreifen, analog dem kleineren Maximum in radialer Richtung bei Steinringen.

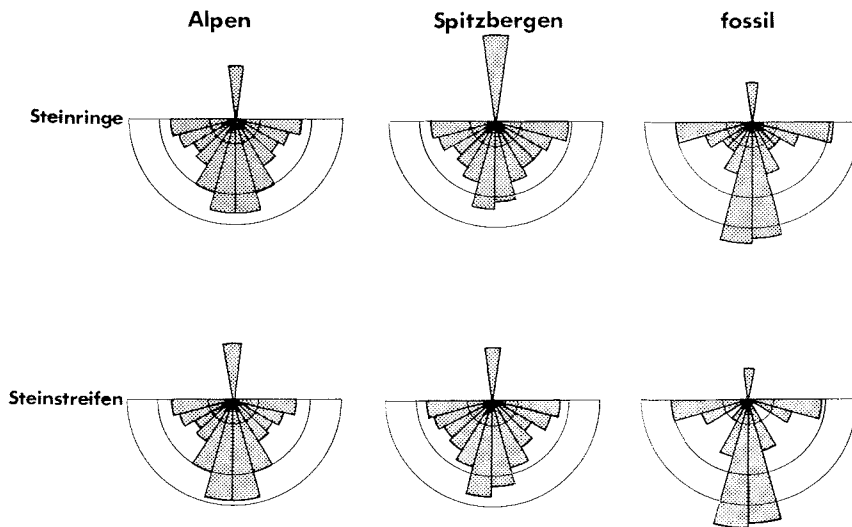
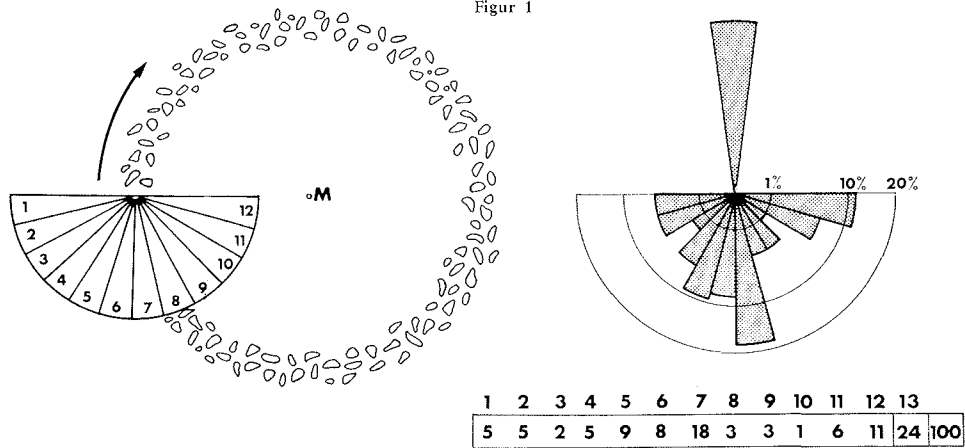
Entsprechend dem Absinken der Schneegrenze und der subnivalen Stufe während den Kaltzeiten des Pleistozäns gemäß, sollten im Alpenvorland, im Schweizerischen Mittelland, auf fluvioglazialen Schotterfeldern fossile Strukturböden zu erwarten sein. Diese Annahme wird gestützt durch entsprechende Funde im Periglazialbereich Mitteleuropas. In jeder Kaltzeit wirkten in den eisfreien Räumen der Frostzeit und die Solifluktion, Vorgänge, welche zur Bildung von Frostmuster- und Solifluktionsformen führen mußten, entsprechend dem von Lyell aufgestellten Prinzip des Aktualismus. Wir gehen bei der Suche nach solchen Formen von der Annahme aus, daß die Steine in fossilen Strukturböden denselben Einregelungsprinzipien unterlagen wie in rezenten. Demzufolge sollten auch die Ergebnisse von Einregelungsmessungen an fossilen Strukturbodenformen die gleichen Resultate liefern wie an rezenten.

In *Figur 2* (B), einem Schotteraufschluß, erkennen wir in einem Horizont — der sich etwa $\frac{1}{2}$ m unter der Oberfläche hinzieht — da und dort keilartige, dichtere Steinpackungen, die gegenüber dem Abtrag resistenter sind und daher gelegentlich einige Zentimeter weit vorstehen. Bisher haben wir hinter solchen Bildungen weder Strukturböden noch andere Auswirkungen des kaltzeitlichen Klimas vermutet. Wie im folgenden gezeigt werden soll, handelt es sich bei diesen Erscheinungen tatsächlich um vertikale

¹⁾ Nach Jäckli (1957) ist in den Alpen üblicherweise über 2650 m Permafrost zu erwarten. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß die Südgrenze des arktischen Dauerfrostbodengebietes gegenwärtig ungefähr der -2° Jahresisotherme folgt (vgl. u. a. Frenzel 1967, p. 136). Obwohl die Bedingungen für das Auftreten unseres alpinen Dauerfrostbodens nicht geklärt und auch Vorkommen in tieferer Lage bekannt sind, ist beachtenswert, daß die -2° Jahresisotherme in Graubünden gegenwärtig auf 2580 m, im Wallis auf 2630 m Höhe liegt, also nahe der von Jäckli angegebenen Höhenlage für das Auftreten von Permafrost. Es ist daher durchaus möglich, daß die Dauerfrostbodenlinsen der Alpen vornehmlich über der -2° Jahresisotherme liegen, wobei diese Zahl nur als Verbreitungsgrenze gedeutet sein will und über die Bildungsbedingungen keine Aussage beinhaltet.

²⁾ Zur Methode: Poser und Hövermann 1951, Bachmann 1966, Furrer und Bachmann 1968.

Figur 1



1. Obere Hälfte: links ein Steinring mit der durchsichtigen Einregelungstafel. Diese ist in 12 Sektoren eingeteilt und wird in der Pfeilrichtung um den Steinring geführt. Man beobachtet bei jeder Messung die Orientierung der Längsachsen von 100 Steinen und ordnet diese den einzelnen Sektoren zu. Das zahlenmäßige Ergebnis der Messung ist in der Bildmitte festgehalten. Der „Sektor“ 13 umfaßt die Längsachsen aller steilgestellten Steine (Längsachse mindestens 45° zur Ebene der Einregelungstafel geneigt). Im Sitogramm (oben rechts) werden die durch die Messung ermittelten Prozentanteile in jedem Sektor flächenproportional dargestellt. Der nach oben weisende Sektor gibt die Anzahl der steilstehenden Steine wieder.

2. Untere Hälfte: Sammelsitogramme von Strukturböden verschiedener Orte. Aus den Alpen sind die Resultate von 20 Messungen an Steinringen vom Bergalgapass (Avers) und jene von 65 Steinstreifen aus verschiedensten Gebieten der Schweizer Alpen dargestellt. Die Meßergebnisse aus Spitzbergen wurden anlässlich der Stauerlandexpedition 1967 auf Edge- und Barentsöya gewonnen (14 Steinringe und 11 Steinstreifen). Die Sammelsitogramme der

3. Kolonne beruhen auf Messungen von Bachmann (1966); sie beziehen sich auf 17 fossile Steinringe und 8 fossile Steinstreifen. — Aus diesen Darstellungen ist ersichtlich, daß die Sitogramme bei einer großen Anzahl von Messungen symmetrisch werden.

Querschnitte durch Strukturbodenformen, welche unter der Vegetation und dem nach-eiszeitlichen Boden der direkten Beobachtung entzogen sind.

Die in Figur 1 gezeichnete Einregelungstafel wurde in dem in Figur 2 (B) dargestellten Aufschluß horizontal der Wand entlang geführt und nach einem bestimmten Azimut orientiert. Die Sitogramme geben Auskunft über die Resultate so durchgeführter Einregelungsmessungen: Deutlich ausgeprägte Strukturbodensitogramme wechseln mit solchen, die sich vorerst nicht interpretieren lassen.

Die Strukturbodensitogramme stellen sich bei Einregelungsmessungen in den oben erwähnten keilartigen Steinpackungen ein. Wird nun der nacheiszeitliche Boden flächenhaft abgetragen, so treten in der Tat auf sanft geneigtem Hang Steinstreifen zu Tage, die im Aufschluß als keilartige Steinpackungen erscheinen. Vergleichen wir die Sitogramme dieser fossilen Formen mit jenen, die in Ostspitzbergen an rezenten Steinstreifen gewonnen wurden (Figur 2), so tritt die Übereinstimmung deutlich hervor. Die Steine in rezenten Vertretern sind demnach gleich eingeregelt wie in fossilen Strukturbodenformen.

Zahlreiche weitere, an verschiedenen Orten und in verschiedenem Material durchgeführte Einregelungsmessungen belegen, daß die vorgelegten Resultate allgemeine Gültigkeit beanspruchen dürfen (Figur 1, unten): Die Einordnung der Steine in Strukturböden — ob rezent oder fossil, in alpinen oder arktischen Vertretern dieser Form — ist ein- und dieselbe.³⁾ Die Beobachtungen in Spitzbergen haben mitgeholfen, fossile, der direkten Beobachtung entzogene Strukturböden nachzuweisen und so einen Beitrag für die Erforschung der kaltzeitlichen Landschaft zu leisten.

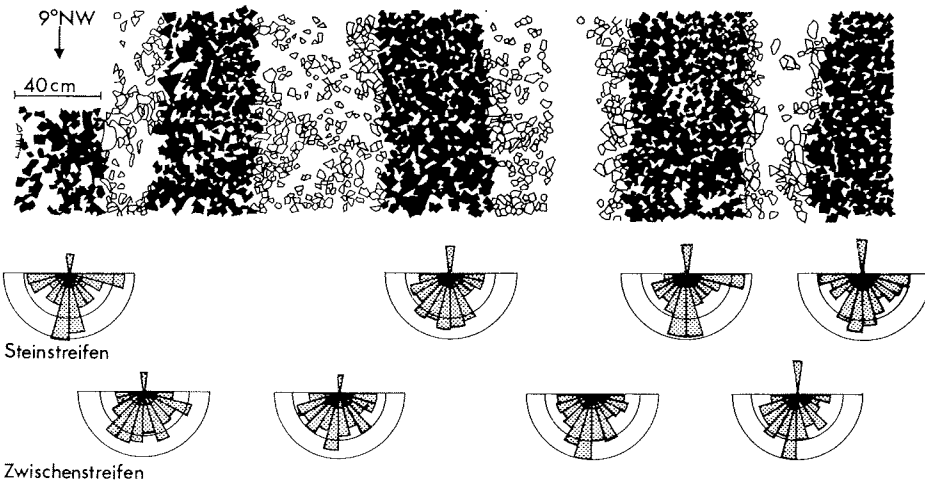
³⁾ Messungen in Steinstreifen im Karakorum (Furrer 1965) haben zu denselben Ergebnissen geführt.

Literatur:

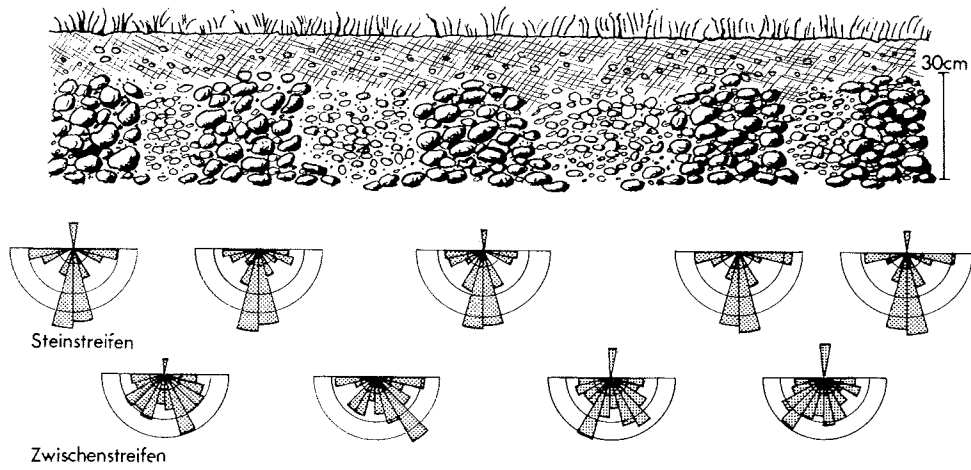
- Bachmann, F.: Fossile Strukturböden und Eiskeile auf jungpleistozänen Schotterflächen im nordostschweizerischen Mittelland. Zürich 1966.
- Elsasser, H.: Untersuchungen an Strukturböden im Kanton Graubünden. Zürich 1968.
- Frenzel, B.: Die Klimaschwankungen des Eiszeitalters. Braunschweig 1967.
- Furrer, G.: Die Strukturbodenformen der Alpen. *Geographica Helvetica* 4, 1955.
- Ders.: Die Höhenlage von subnivalen Bodenformen. *Habilitationsschrift Univ. Zürich* 1965.
- Ders.: Beobachtungen an rezenten und fossilen (kaltzeitlichen) Strukturböden. *Expertientia* 22, 489, 1966.
- Furrer, G. und Bachmann, F.: Die Sitometrie (Einregelungsmessung) als morphologische Untersuchungsmethode. *Geographica Helvetica* 1, 1968.
- Jäckli, H.: Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebietes. *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie* 36, 1957.
- Poser, H. und Hövermann, J.: Untersuchungen zur pleistozänen Harzvergletscherung. *Abh. Braunschweig. Wiss. Ges.* III, 1951.

Figur 2

A



B



A: Steinstreifenboden vom Höhenstufen auf Barentsöya, Aufsicht („Grundriß“) nach Photomosaik gezeichnet. — Schwarz: Steine in den Steinstreifen. — Weiß: Feinerde der Zwischenstreifen mit einzelnen Steinen.

B: Aufschluß im Ruckfeld (Kt. Aargau). In rißzeitlichem Schotter treten keilartige Steinpackungen zutage, welche sich als fossile Steinstreifen entpuppten. („Aufriß“ nach Bachmann 1966).