

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Editor: G. WOLF

E 326/1960

Bodenstrukturbildung durch Frost (Modellversuche)

Montmorillonit

Mit 1 Abbildung

GÖTTINGEN 1962

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Der Film ist ein Forschungsdokument und wurde zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht
Länge der Kopie (16-mm-Stummfilm, schwarz-weiß): 32 m
Vorführdauer: 3 Min. Vorführgeschwindigkeit: 24 1/2/s

Der Film wurde in den Jahren 1959 u. 1960 aufgenommen durch
das Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen
(Direktor: Dr.-Ing. G. WOLF)

Sachbearbeitung: Obering. H. SCHLADERBUSCH

Aufnahme: K. PHILIPP

Wissenschaftliche Leitung: Dr. W. CZERATZKI

Institut für Bodenbearbeitung der Forschungsanstalt für
Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

Bodenstrukturbildung durch Frost (Modellversuche)

Montmorillonit

Filmbeschreibung von Dr. W. CZERATZKI, Braunschweig-Völkenrode

In starker Zeitraffung zeigt der Film den Blick auf eine Seitenfläche der im Kühlschrank von oben her abkühlenden und dabei gefrierenden Bodenprobe.

I. Allgemeine Vorbemerkungen

Die Bedeutung der Bodenstruktur für die Entwicklung des Bodens, seine ackerbaulichen Eigenschaften, das Wachstum von Pflanzen und Bodenorganismen sowie für viele Probleme des Erdbaues läßt die Frage nach den Ursachen und Vorgängen bei der Strukturbildung besonders wichtig erscheinen. Deshalb haben die Wirkungen des Frostes auf den Boden, die in dieser Hinsicht von entscheidender Bedeutung sind, seit jeher die Aufmerksamkeit der Forschung auf sich gelenkt. Für die Behandlung dieses Problems spielt aber nicht nur das wissenschaftliche Interesse eine Rolle, sondern auch die wirtschaftlichen Schäden, die Jahr für Jahr durch den Bodenfrost verursacht werden. Hiervon werden sehr verschiedene Gebiete der Wirtschaft oft schwerwiegend betroffen.

Während die Wirkungen des Frostes auf die Bodenstruktur sowie die Erscheinungsformen der Froststruktur in zahlreichen Arbeiten beschrieben sind, liegen keine Direktbeobachtungen über die Vorgänge beim Gefrieren des Bodens vor. Bei geeigneter Versuchsanstellung läßt sich zwar das Vordringen des Frostes im Boden durch photographische Reihenaufnahmen gut verfolgen, doch bringt dieses Verfahren die Wachstumsdynamik der Froststruktur nur bedingt zur Anschauung, weil Reihenbilder den Ablauf eines Vorganges zwar speichern können, jedoch keine Wiedergabe in Form eines Bewegungsvorganges gestatten. Diese Möglichkeit ergibt sich erst dann, wenn der Vorgang mit einem der üblichen kinematographischen Verfahren aufgenommen und im Laufbild mit 24 B/s betrachtet werden kann. Neben der Auswertung

durch Betrachtung des Laufbildes können darüber hinaus die Aufnahmen mit einem der gebräuchlichen kinematographischen Meßverfahren ausgewertet werden.

Die Darstellung der Bodenstrukturbildung durch Frostwirkung erstreckt sich in den folgenden Untersuchungen auf Vorgänge, deren Dimensionen auch dem unbewaffneten Auge zugänglich sind. Vorausgesetzt wird ferner, daß eine homogene, kohärente Bodenstruktur vorliegt.

Beim Abkühlen eines wassergesättigten Bodens unter 0°C und der damit verbundenen Umwandlung von Wasser in Eis spielen sich zwei Vorgänge ab, die je nach Bodenart und Gefrierbedingungen stark variieren können:

1. Die Bewegung des Bodenwassers zum eindringenden Frost hin.
2. Die Einlagerung dieses Wassers als Eislinsen in intermittierenden Schichten im Boden, wodurch eine „heterogene Froststruktur“ entsteht.

In den feinsand- und schluffhaltigen Böden mit guter Kapillarität bildet sich die heterogene Froststruktur vorwiegend horizontalschichtig, in den tonhaltigen Böden dagegen infolge der Entwässerung und Schrumpfung des Tones während des Gefrierens polygonal aus. Da jeder Boden ohne makroskopisch sichtbare Gliederung zu „homogener Froststruktur“ erstarrt, wenn sein Wassergehalt unter eine von Bodenart und Gefriertemperatur abhängige Grenze sinkt, so ist ein genügender Vorrat oder ein ausreichender Nachschub von leicht beweglichem Wasser die wichtigste Voraussetzung für eine kräftige Ausbildung der heterogenen Froststruktur.

Diese Zusammenhänge mußten bei der Versuchsanordnung für die Filmaufnahmen berücksichtigt werden, wenn die Vorgänge beim Gefrieren möglichst naturgetreu und deutlich gezeigt werden sollten. Am besten geeignet schien eine Anordnung, bei welcher der Bodenfrost von oben in den Boden eindringt und der Boden während des Gefrierens wahlweise mit einem künstlichen Grundwasserhorizont in Verbindung steht oder nicht. Um diese Bedingungen zu erfüllen, wurden die Versuchsböden so in einen Kühlschrank eingebracht, daß ihre Oberseite direkten Kontakt zum Gefrieraggregat hatte und ihre Unterseite je nach der gewählten Gefrierbedingung über eine Filterplatte aus keramischem Material mit freiem Wasser in Verbindung stehen konnte. Zum Ausgleich der Bodenhebung war die Verdampfplatte des Gefrieraggregats beweglich aufgehängt. Der Abstand des oberen Bildrandes vom Gefrieraggregat des Eisschranks betrug 2 cm. Der Kühlschrank wurde so ein-

gestellt, daß die angegebene Gefriertemperatur an der Kontaktfläche des Bodens zum Gefrieraggregat auftrat.

Der Montmorillonit wurde auf eine Größe von < 2 mm gesiebt, mit so viel Wasser angesetzt, daß er eine gute Verformbarkeit erhielt, und zu einem Kloß von 10 cm Höhe und 10 cm Durchmesser geknetet. Der Wassergehalt war so gewählt, daß genügend freies Wasser für eine kräftige Eislinsenbildung vorhanden war. An der Vorderseite jeder Probe wurde eine senkrechte Fläche angeschnitten, an der die Bildung der Froststruktur beobachtet werden konnte. Die Aufnahme­frequenz betrug 1 B/Min. Das Kameraobjektiv wurde durch ein Loch in der Tür des Kühlschranks auf die Sichtfläche gerichtet und so eingestellt, daß es ein Bildfeld von $3,4 \times 4,6$ cm erfaßte.

Der von der Südchemie AG, München, bezogene Calcium-Montmorillonit wurde mit so viel Wasser geknetet, daß eine zäh-plastische Masse entstand. In diesem Zustand hatte der Calcium-Montmorillonit einen Wassergehalt¹⁾ von ca. 100 Gew.%, Ansetzwassergehalt: 100 Gew. %.

II. Filminhalt

Calcium-Montmorillonit ²⁾

Temperatur —1° C bis 1,5° C

Bildfeld 3,4 × 4,6 cm

Der Filmanfang zeigt eine sehr helle, glatte und strukturlose Fläche, an deren oberem Bildrand nach kurzer Zeit nebeneinander zahlreiche senkrechte Eisschichten entstehen. Bei ihrem weiteren Vordringen zur Bildmitte verdicken sie sich und bilden hinter ihrer Spitze schräge oder horizontale Verbindungen, die sich im Laufe des Vorgangs ebenfalls verdicken. Dieser Vorgang wiederholt sich in Abständen, so daß im Bild zwei, manchmal auch drei Stockwerke von horizontalen Eisschichten entstehen. Zusammen mit den vertikalen Eisschichten entsteht so ein netzartiges Muster von polygonalen Formen, die der Oberfläche ein charakteristisches Aussehen geben. Da die Eisschichten selbst dann noch Dickenwachstum zeigen, wenn die Frostzone die betreffende Stelle passiert hat, vergrößert sich diese Struktur bis zum Ende des Films immer mehr. An einzelnen Stellen der Eisschichten ist die faserige

¹⁾ Der Wassergehalt ist im folgenden in Prozenten des Bodentrockengewichtes angegeben.

²⁾ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

Struktur des gebildeten Eises an den Lichtreflexen zu erkennen. In der oberen Bildhälfte tritt an vereinzelt Stellen Wasser aus den Eislinsen heraus, das auf den Polygonflächen zu Eisblumen erstarrt.

Calcium-Montmorillonit

Temperatur -5°C

Bildfeld $3,4 \times 4,6\text{ cm}$

Der nächste Versuch wurde mit demselben Calcium-Montmorillonit, jedoch bei einer Gefriertemperatur von -5°C durchgeführt. Ebenso wie im vorhergehenden Filmteil zeigt die Fläche eine einheitliche Struktur, die nach kurzer Zeit am oberen Bildrand durch die Bildung haarfeiner, senkrecht laufender Eisschichten gegliedert wird. Entsprechend der tieferen Gefriertemperatur ist die Bildungsgeschwindigkeit dieser Eisschichten größer als vorher. Ebenfalls setzt die Bildung horizontaler Eisschichten später ein und die Verdickung dieser Eisschichten ist auch nicht so stark. Ein weiterer Unterschied zu dem Versuch bei -1°C ist ferner, daß einige der vertikalen Schichten vom oberen bis zum unteren Bildrand durchlaufen.

Auch bei dieser Temperatur findet eine Verdickung der Eisschichten statt, selbst nachdem die Frostfront die betreffende Stelle passiert hat. Am Ende des Films zeigt die Sichtfläche eine säulige Struktur, so daß die Veränderung der Gefriertemperatur von -1°C auf -5°C sich auch auf die Form der Froststruktur ausgewirkt hat.

Natrium-Montmorillonit

Temperatur -1°C bis $-1,5^{\circ}\text{C}$

Bildfeld $3,4 \times 4,6\text{ cm}$

Der verwendete Natrium-Montmorillonit wurde durch Kationenaustausch aus Calcium-Montmorillonit gewonnen. Hierzu wurde Kationen-Permutit RS der Permutit-AG, Duisburg, mit Natriumionen belegt und in flüssigen Calcium-Montmorillonit eingemischt. Nach 48stündiger Reaktionszeit, während der gelegentlich destilliertes Wasser nachgefüllt werden mußte, weil die Konsistenz des sich bildenden Natrium-Montmorillonits zähplastisch wurde, wurde der Austauscher abgeseiht und der Natrium-Montmorillonit bei Zimmertemperatur getrocknet. Anschließend wurde der Natrium-Montmorillonit mit soviel Wasser versetzt, daß er eine zähplastische Konsistenz erhielt und zu Klumpen geformt werden konnte. In diesem Zustand enthielt er einen Wassergehalt von 200 Gew.%, also doppelt soviel wie der Calcium-Montmorillonit.

Zu Beginn des Films zeigt die Fläche ein homogenes Aussehen, das bald am oberen Bildrand durch die Entstehung sehr zahlreicher senkrechter Schichten verändert wird. Hinter den Spitzen dieser Eisschichten entstehen in kurzen Abständen horizontale Verbindungen, so daß die Fläche im Laufe des Vorgangs in zunehmendem Maße von einer netzartigen Struktur überzogen wird. Dieses Netz ist wesentlich feiner als bei den Versuchen mit Calcium-Montmorillonit. Von der Bildmitte an abwärts ist eine Abnahme der Gefriergeschwindigkeit und zugleich auch eine Vergrößerung des Netzes festzustellen. Während die senkrechten Eisschichten auch beim Natrium-Montmorillonit vielfach über das ganze Bildfeld laufen, überqueren die waagerechten Eisschichten in der Regel nur den Zwischenraum zwischen zwei benachbarten senkrechten Eisschichten. Auch beim Natrium-Montmorillonit verdicken sich die Eislinien nach dem Durchgang der Frostfront. An einzelnen Stellen tritt —

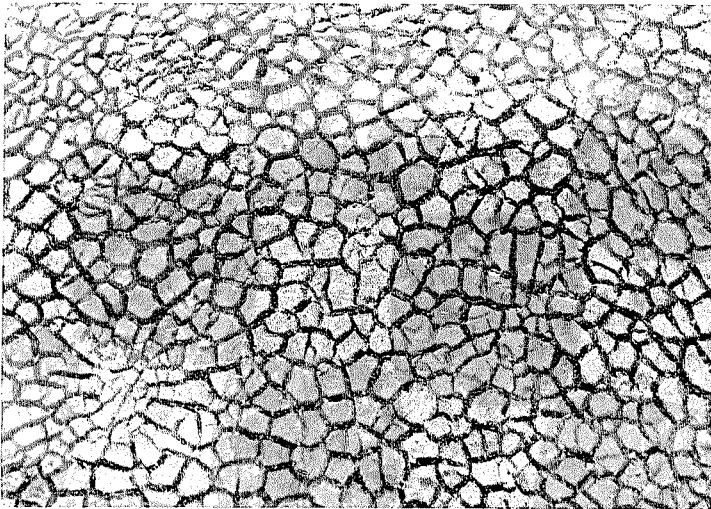


Abb. 1. Waagerechter Schnitt durch den gefrorenen Montmorillonit

meist unterhalb der waagerechten Eisschichten — Wasser hervor, das an der Oberfläche zu Eisblumen erstarrt. Am Ende des Vorgangs ist die Fläche von einer netzartigen Struktur überzogen, die wesentlich feiner ist als beim Calcium-Montmorillonit.

Die von oben nach unten durchgehenden Eisschichten legten den Gedanken nahe, den Querschnitt der gebildeten Säulen an einem waage-

rechten Schnitt durch den gefrorenen Natrium-Montmorillonit festzustellen. Abb. 1 zeigt einen solchen Schnitt 2 cm von der Gefrierplatte entfernt, d.h. in Höhe des oberen Bildrandes. Wie hieraus ersichtlich ist, haben diese Bodensäulen einen unregelmäßigen 4-, 5- oder 6-eckigen Querschnitt.

Literatur

- [1] CZERATZKI, W., Zur Wirkung des Frostes auf die Struktur des Bodens. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenk. **72** (1956). H. 1, S. 15—32.
- [2] CZERATZKI, W. u. H. FRESE, Kinematographische Untersuchungen zur Strukturbildung. VI. Congrès Int. de la Science du Sol, Paris 1956.
- [3] FRESE, H., Zur Bildung von Makro-Gefüge-Typen im Ackerboden durch atmosphärische Einflüsse. Tagungsber. Nr. 13, Dtsch. Akad. d. Landw. Wissensch., Berlin 1958.