

# ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAFICA

Editor: G. WOLF

---

*E 322/1960*

## **Bodenstrukturbildung durch Frost (Modellversuche) Schwarzerde aus Löß**

Mit 2 Abbildungen

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): 41 m  
Vorföhrdauer: 4 Min. --- Vorföhrgeschwindigkeit: 24 B/s

Der Film wurde in den Jahren 1956 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)**

## **Schwarzerde aus Löß**

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  $0^{\circ}\text{C}$  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 Verdampferplatte des Gefrieraggregats beweglich aufgehängt. Der Abstand des oberen Bildrandes vom Gefrieraggregat des Eisschranks betrug 2 cm. Der Kühlschrank wurde so eingestellt, daß die angegebene Gefriertemperatur an der Kontaktfläche des

Bodens zum Gefrieraggregat auftrat. Der Versuchsboden wurde auf eine Korngröße von  $< 2$  mm gesiebt, auf einen bestimmten Wassergehalt angefeuchtet und in einem Stechzylinder von 10 cm Höhe und  $1000 \text{ cm}^3$  Inhalt auf ein bestimmtes Porenvolumen verdichtet. An der Vorderseite jeder Probe wurde eine senkrechte Fläche angeschnitten, an der die Bildung der Froststruktur gefilmt 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.

Das Bodenmaterial stammt aus dem A-Horizont einer Schwarzerde aus Löß (Söllingen b. Braunschweig) mit folgenden Korngrößen­zusammensetzung:

	Korngröße mm	Gehalt %
Grobsand	2,0 — 0,2	5,2
Feinsand	0,2 — 0,02	40,1
Schluff	0,02 — 0,002	35,7
Ton	0,002	19,0
Humusgehalt		3,0%
Porenvolumen der Probe		40 Vol. %
Wassergehalt nach der Verdichtung		20 Gew. %

## II. Filminhalt

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

*Bildfeld  $3,4 \times 4,6$  cm — Wassernachschub von unten*

Der Filmanfang zeigt eine ebene, glatte Oberfläche, die durch keine Struktur ausgezeichnet ist. Schon bald setzt jedoch vom oberen Bildrand her und parallel dazu die Bildung von horizontal orientierten Eis­linsen ein, die dem Frostfortschritt entsprechend, in zeitlichen Inter­vallen untereinander entstehen. Im Zeitpunkt der Entstehung bilden die Eis­linsen feine horizontale Striche, die sich sehr schnell verdicken, dieses Wachstum jedoch sehr bald einstellen. Viele Eisschichten be­rühren sich mit ihren aufwärts gebogenen Rändern, so daß nach und nach eine charakteristische, an manchen Stellen fast netzartig geschichtete Froststruktur entsteht. Der zuerst verhältnismäßig rasch ablaufende

<sup>1)</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

Vorgang verlangsamt sich zur Bildmitte hin immer mehr, wobei jedoch nicht der Abstand, sondern vielmehr die Dicke der Eislinsen immer größer wird. Die Verdickung der Eislinsen setzt sich auch dann noch fort, wenn der Frost die betreffende Eislinse bereits überholt und darunter eine neue gebildet hat. Das Dickenwachstum der Eisschichten nimmt immer mehr zu, je mehr sich der Gefriervorgang dem unteren Bildrand und damit der Wasserquelle nähert. Parallel zu diesem Vorgang entstehen an vereinzelten Stellen strichstarke, senkrechte Eislinsen, deren Bildung den horizontal liegenden Eisschichten vorauseilt. Am Ende des Films zeigt die Bildfläche eine Reihe untereinanderliegender, langgestreckter, horizontaler Eisschichten, die eine für diese Bodenart charakteristische heterogene Froststruktur ergeben. Der Wassergehalt<sup>1)</sup> des gefrorenen Bodens betrug:

Bildoberseite bis Bildmitte:	28,5 Gew. %
Bildmitte bis Bildunterseite:	42,9 Gew. %
Ungefrorener Boden darunter:	26,7 Gew. %

Die Eindringtiefe der Frostgrenze in Abhängigkeit von der Zeit ist in Abb. 1, die Zunahme der Eislinsen in Abb. 2 dargestellt.

Bei der nächsten Filmaufnahme wurde der Boden bei denselben Verdichtungsbedingungen wie vorher, jedoch unter folgenden Gefrierbedingungen aufgenommen:

*Temperatur —5° C*

*Bildfeld 3,4 × 4,6 cm — Ohne Wassernachschub*

Der Filmanfang zeigt eine glatte, ebene Fläche ohne jede Struktur. Schon bald jedoch setzt am oberen Bildrand eine Aufhellung und die Bildung lang durchgehender, senkrechter Eislinsen ein, die in größeren Abständen durch kurze, waagerechte Eislinsen verbunden werden. Dieser Vorgang geht von oben nach unten über die ganze Bildfläche, so daß sie am Ende des Films durch ein grobmaschiges, fast rechteckiges Netz aus Eislinsen bedeckt ist. An vielen Stellen der oberen Bildhälfte tritt punktförmig Wasser aus dem Boden, das an der Oberfläche zu kleinen Eistropfen erstarrt. Die senkrechten und waagerechten Eisschichten sind infolge des mangelnden Wassernachschubs verhältnismäßig dünn. Der Vorgang läuft infolge der tieferen Temperatur und des fehlenden Wassernachschubs ziemlich schnell durchs Bildfeld, verlangsamt sich aber etwas zum unteren Bildrand hin.

<sup>1)</sup> Der Wassergehalt ist im folgenden in Prozenten des Bodentrockengewichtes angegeben.

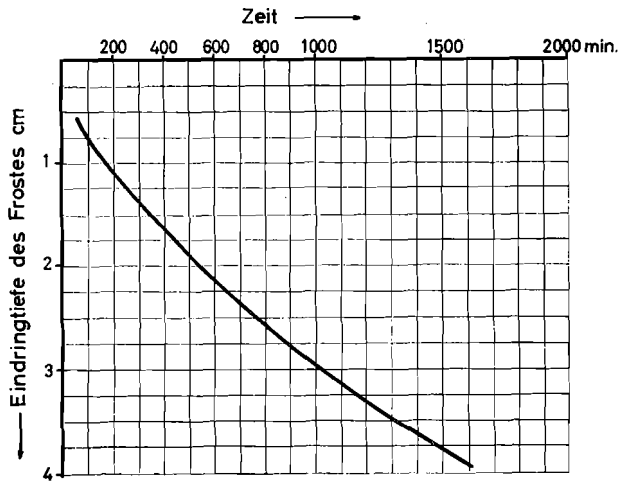


Abb. 1. Eindringen der Frostgrenze in den Boden

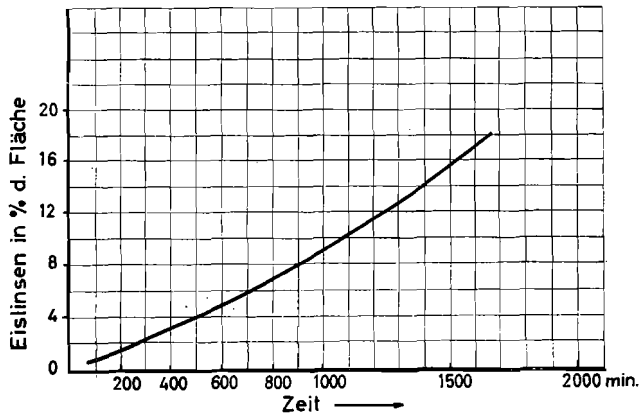


Abb. 2. Zunahme der von Eislinsen bedeckten Fläche

Die nächste Filmaufnahme wurde ebenfalls mit denselben Ausgangswerten des Bodens, jedoch verschiedenen Gefrierbedingungen durchgeführt:

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

*Bildfeld  $3,4 \times 4,6\text{ cm}$  — Ohne Wassernachschub*

Schon bald nach Filmbeginn erscheinen am oberen Bildrand der glatten, strukturlosen Fläche mehrere senkrechte Eislinsen, die hinter ihrer Spitze durch kurz aufeinanderfolgende oder durchgehende, auch blind endigende horizontale Eislinsen verbunden werden. Von der Bildmitte abwärts verzweigen sich diese Eislinsen häufig, so daß ein netzförmiges Muster von feinen, horizontal und vertikal laufenden Eislinsen verschiedener Stärke entsteht. Einige dieser Seitenverzweigungen entstehen auch, wenn der Frostvorgang bereits die betreffende Stelle passiert hat. Die Gefriereschwindigkeit verlangsamt sich zum unteren Bildrand hin, wodurch sich die Eislinsen dort etwas dicker ausbilden können als am oberen Bildrand. Ab Bildmitte nimmt die Bildung senkrechter Eislinsen ab, die Bildung horizontaler dagegen zu. Während die senkrechten Eislinsen vereinzelt durch das ganze Bildfeld oder über mehrere Stockwerke hinwegreichen, überqueren die horizontalen Eislinsen nur in einzelnen Fällen mehr als das halbe Bildfeld. Durch diese Tendenz der Froststruktur wird die Bildung säulenförmiger Bodenaggregate gefördert.

Für die nächste Aufnahme wurde der Versuchsboden bei gleichen Ausgangswerten zur Bodenstabilisierung mit 5% Kalkhydrat versetzt.

*Schwarzerde mit 5% Kalkhydrat*

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

*Bildfeld  $3,4 \times 4,6\text{ cm}$  — Ohne Wassernachschub*

Gleich zu Anfang des Films beginnt am oberen Bildrand der glatten, strukturlosen Fläche die Bildung feiner, horizontaler Eisschichten, die in sehr kurzen Abständen untereinander entstehen. Oft laufen diese Eisschichten wellenförmig vom linken bis zum rechten Bildrand durch, aber es kommen auch Schrägverbindungen zwischen den verschiedenen Stockwerken vor. Bis zur Bildmitte verläuft dieser Vorgang verhältnismäßig schnell. Im unteren Bildteil nimmt die Geschwindigkeit zusehends ab, und auch die Eislinsen werden plötzlich dicker. Jedoch erreichen beide Vorgänge nicht das Ausmaß wie bei der unbehandelten ersten Schwarzerde. Eine Tendenz zur Bildung vertikaler Eisschichten



ist nicht zu beobachten. Zu Beginn des Films zeigt sich am oberen Bildrand eine etwas rauhere Stelle, die sich nach dem Durchgang der Frostfront wesentlich vergrößert.

Nach Abschluß der Filmaufnahmen wurden Wassergehaltsbestimmungen des gefrorenen Bodens durchgeführt. Es ergaben sich folgende Werte:

Oberer Bildrand bis Bildmitte:	34,1 Gew. %
Bildmitte bis unterer Bildrand:	37,7 Gew. %
Ungefrorener Boden unter der Frostfront:	26,1 Gew. %

### 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.