

ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

E 323/1960

Bodenstrukturbildung durch Frost (Modellversuche) Parabraunerde aus Löß

Mit 4 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): 48 m
Vorföhrdauer: 4½ Min. — Vorföhrgeschwindigkeit: 24 B/s

Der Film wurde im Jahre 1956 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)

Parabraunerde 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°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 Eislinen 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 ein-

gestellt, daß die angegebene Gefriertemperatur an der Kontaktfläche des Bodens zum Gefrieraggregat auftrat. Der Versuchsboden wurde auf eine Korngröße von $< 2\text{ mm}$ gesiebt, auf einen bestimmten Wassergehalt angefeuchtet und in einem Stechzylinder von 10 cm Höhe und 1000 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 $3,4 \times 4,6\text{ cm}$ erfaßte.

Das Bodenmaterial stammt aus dem A_n -Horizont einer Parabraunerde aus Löß aus dem Raume um Braunschweig. Der Boden hatte folgende Korngrößenzusammensetzung:

	Korngröße mm	Gehalt %
Grobsand	2,0 — 0,2	1,7
Feinsand	0,2 — 0,02	55,5
Schluff	0,02 — 0,002	29,9
Ton	$< 0,002$	12,9
Porenvolumen der Probe:		40 Vol. %
Wassergehalt nach der Verdichtung:		20 Gew. %

II. Filminhalt

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

Bildfeld $3,4 \times 4,6\text{ cm}$ — Wassernachschub von unten

Der Filmanfang zeigt eine glatte, strukturlose Fläche, an deren Oberseite schon bald die ersten horizontalen Eislinsen gebildet werden. Diese Eislinsen entstehen an verschiedenen Stellen der Frostfront zuerst als strichförmige, unterbrochene Linien und verbinden sich bald zu einem einzigen wellenförmig gezackten Band, das in seiner Dicke langsam zunimmt. Aber bereits nach zwei Linsenstockwerken bilden sich voraus-eilend neben diesen waagerechten Eisschichten auch vertikale Eislinsen, so daß aus dem Netzwerk von horizontalen und vertikalen Eisschichten nach und nach eine polygonale Froststruktur entsteht. Unter natürlichen Verhältnissen ist bei dieser Korngrößenzusammensetzung eine solche

¹⁾ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

Form der Froststruktur nur selten zu beobachten. Im vorliegenden Fall ist ihre Bildung vermutlich auf die geringe Gefriereschwindigkeit und auf die gute Wassernachlieferung aus dem nahen Wasservorrat zurückzuführen. Von der Bildmitte abwärts ist neben der Froststruktur in einzelnen Polygonen die Bildung von Eisblumen zu beobachten. Diese Eisblumen entstehen in einem Punkt einer Eislinse und können sich fächerförmig bis zum nächsten Eislinsenstockwerk ausbreiten.

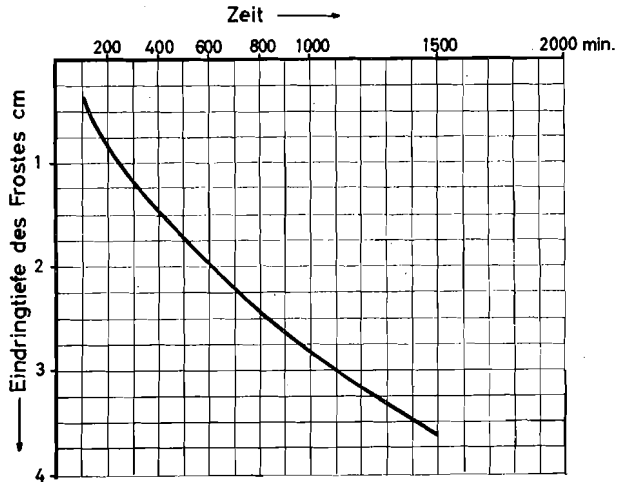


Abb. 1. Eindringen der Frostgrenze in den Boden bei -1°C bis $-1,5^{\circ}\text{C}$ und Wassernachschub

Am Ende des Films zeigt die Aufnahmefläche eine unregelmäßige, netzartig gegliederte Froststruktur, deren Eislinsen am oberen Bildrand etwas schwächer sind als am unteren. Wassergehaltsmessungen¹⁾ am Ende des Versuchs ergaben folgende Werte:

Oberer Bildrand bis Bildmitte:	29,2 Gew. %
Bildmitte bis unterer Bildrand:	39,7 Gew. %
Ungefrorener Boden unter der Frostfront:	22,9 Gew. %

Das Eindringen des Frostes in Abhängigkeit von der Zeit ist in Abb. 1, die Zunahme der Eislinsen in Prozenten der Aufnahmefläche in Abb. 2 dargestellt.

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

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

Bildfeld $2,3 \times 3,2\text{ cm}$ — Wassernachschub von unten

Bei der nächsten Filmaufnahme ist der Bildausschnitt etwas kleiner gewählt, und die Zeitraffung beträgt 2 B/Min. Um die Entstehung und Verdickung einer einzelnen Eislinse beobachten zu können, wurde der Gefriervorgang in der Mitte des Bildfeldes unterbrochen.

Bis zur Mitte des Bildfeldes entstehen auf der im ungefrorenen Zustand strukturlosen Aufnahmefläche ähnliche Eislinse wie in der vorhergehenden Aufnahme, wobei jedoch senkrechte Eislinse kaum zu beobachten sind. In der Bildmitte kommt der Gefriervorgang durch Abschalten des Kühlschranks eine Zeitlang zum Stehen, so daß deutlich zu sehen ist, wie sich an verschiedenen Stellen der Frostfront eine Eisschicht zu bilden beginnt, sich langsam verdickt und zu einem durchgehenden Band verbindet. Besonders stark ist die Verdickung der Eisschicht am linken Bildrand. Nach Wiedereinschalten des Kühlschranks hört das Dickenwachstum der Eislinse auf, und der Vorgang läuft durch das restliche Bildfeld, wobei sich jetzt eine mehr polygonale Struktur entwickelt.

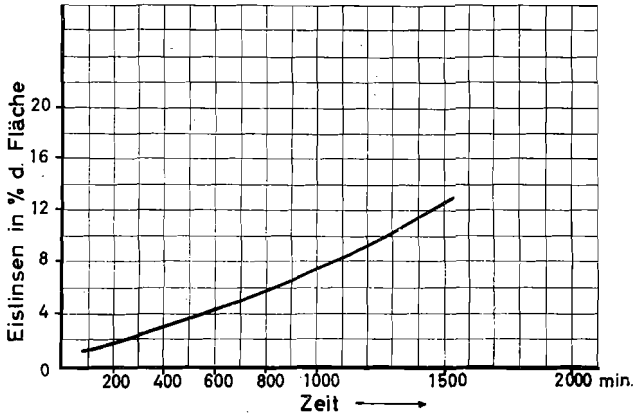


Abb. 2. Zunahme der von Eislinse bedeckten Fläche bei -1°C bis $-1,5^{\circ}\text{C}$ und Wassernachschub

Am Ende des Films hebt sich das kräftige Eisband in der Bildmitte deutlich von den Eislinse der Umgebung ab. Die zunehmende Aufhellung des Bodens am oberen Bildrand wird durch die Verdunstung des Eises und die damit verbundene Austrocknung des Bodens verursacht.

Temperatur -5°C

Bildfeld $3,4 \times 4,6\text{ cm}$ — Wassernachschub von unten

Die nächste Filmaufnahme zeigt das Frieren desselben Versuchsbodens bei einer Temperatur von -5°C und Wassernachschub von unten.

Der Filmanfang zeigt wiederum eine glatte, strukturlose Oberfläche, an deren Oberrand infolge der stärkeren Frosttemperatur sehr schnell untereinander horizontale, oft zickzackförmige Eislin sen entstehen. Sie sind wesentlich dünner als bei den Aufnahmen mit -1°C , da infolge der höheren Frostgeschwindigkeit nicht genügend Zeit für einen stärkeren Wassernachschub in die Frostzone zur Verfügung steht. Aus diesem Grunde bilden sich auch keine senkrechten Eisschichten.

Am Ende des Films ist die Aufnahme fläche mit einem Netz von zickzackförmigen, horizontalschichtigen Eislin sen bedeckt. Die Aufhellung am oberen Bildrand ist wiederum durch Verdunstung des Eises und Austrocknung des Bodens bedingt. Infolge der geringeren Eislin senbildung ist auch der Wassergehalt des gefrorenen Bodens niedriger als bei der Temperatur von -1 bis $-1,5^{\circ}\text{C}$:

Oberer Bildrand bis Bildmitte:	20,6 Gew. %
Bildmitte bis unterer Bildrand:	24,0 Gew. %
Ungefrorener Boden unter der Frostfront:	22,9 Gew. %

Abb. 3 zeigt die Abhängigkeit der Eindringtiefe des Frostes von der Zeit, Abb. 4 die Zunahme der Eislin sen in Prozenten der Aufnahme fläche.

Krüm elstruktur

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

Bildfeld $3,4 \times 4,6\text{ cm}$ — Wassernachschub von unten

In den bisherigen Einstellungen war die Bodenhebung durch den Frost nicht unmittelbar an einer Bodenbewegung, sondern nur an dem langsamen Hochwandern der Eisschichten an den Bildrändern zu beobachten. Um diese Erscheinung besser sichtbar zu machen, wurde für die folgende Filmaufnahme die Bodenprobe mit einer krüm eligen Sicht fläche vorbereitet, so daß die Hebung des Bodens an der Bewegung einzelner Krüm el verfolgt werden konnte.

Der Filmanfang zeigt eine Oberfläche mit krüm eliger Struktur, in der in der senkrechten Bildmittellinie ein sich langsam verbreiternder, vertikaler Spalt entsteht. Dieser wird wahrscheinlich durch die geringe Pressung hervorgerufen, die durch das Gefrieren des oberhalb der

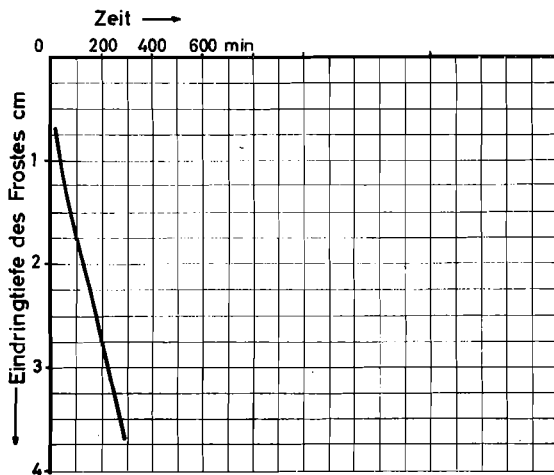


Abb. 3. Eindringen der Frostgrenze in den Boden bei -5°C und Wassernachschub

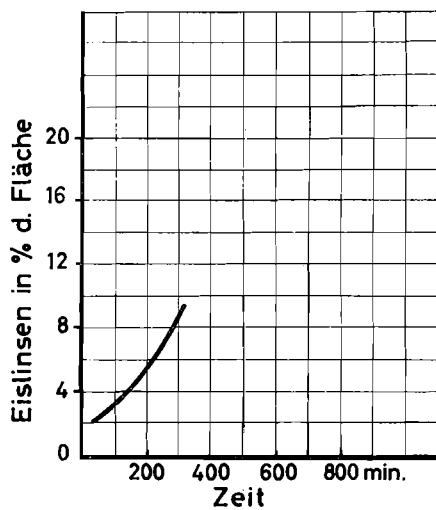


Abb. 4. Zunahme der von Eislinsen bedeckten Fläche bei -5°C und Wassernachschub

Sichtfläche liegenden Bodens verursacht wird. Dann beginnt am oberen Bildrand über die ganze Breite des Bildfeldes eine schichtweise Bewegung der Krümel nach oben, von der nach und nach immer tiefer liegende Schichten erfaßt werden, bis schließlich der ganze Vorgang den unteren Bildrand erreicht hat.

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.