

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Wissenschaftlicher Film C 725/1956

Aus dem Institut für Bodenbearbeitung der Forschungsanstalt
für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode
(Prof. Dr. H. FRESE)

**Boden-Strukturbildung bei wechselnder Befeuchtung
und Trocknung (Modellversuche)**

Von

Dr. W. CZERATZKI

GÖTTINGEN 1957

Aus dem Institut für Bodenbearbeitung der Forschungsanstalt
für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode
(Prof. Dr. H. FRESSE)

Boden-Strukturbildung bei wechselnder Befeuchtung und Trocknung (Modellversuche)

Von Dr. W. CZERATZKI

Von den Witterungsfaktoren haben Niederschlag und Verdunstung einen besonders starken Einfluß auf die Bodenstruktur. Durch ihren dauernden Wechsel verändern sie ständig den Quellungs Zustand des Bodens, wodurch im Laufe der Zeit eine „Mürbung“ erfolgt, die für das Verhalten vor allem der schweren Böden gegenüber der mechanischen Bearbeitung von größter Bedeutung ist. Da über den Ablauf der „Mürbungsvorgänge“ wenig bekannt ist, wurden sie in Modellversuchen nachgeahmt und auf kinematographischem Wege anschaulich gemacht.

I. Allgemeine Vorbemerkungen

Fragen der Bodenstruktur nehmen im Rahmen der ackerbaulichen Forschung einen breiten Raum ein, da viele Vorgänge, die sich im Boden abspielen, in engen Wechselbeziehungen zur Bodenstruktur stehen. Die Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet sind jedoch recht schwierig, weil die Bodenstruktur ständigen Veränderungen unterworfen ist, deren Ursachen biologische, chemische und physikalische Faktoren sind. Allerdings lassen sich die meisten dieser Faktoren durch den Landwirt kaum beeinflussen, der deshalb nur versuchen kann, die Bewirtschaftung des Bodens, vor allem die Bodenbearbeitung, diesen Vorgängen so anzupassen, daß seine Maßnahmen durch sie

unterstützt werden. Dies wird dem Landwirt um so vollkommener gelingen, je besser er die Zusammenhänge erkennt, die zwischen den Eigenschaften des Bodens und seinem Verhalten gegenüber den Einflüssen jener Faktoren bestehen.

Bei der üblichen Art, derart komplexe Vorgänge zu erforschen, wendet man Methoden an, durch die in längeren Zeitabständen der jeweils bestehende Zustand des Bodens festgehalten wird. Dies Verfahren hat überall dort zu ausgezeichneten Erfolgen geführt, wo die Vorgänge so langsam ablaufen, daß auch längere Beobachtungslücken die Erkenntnis der Zusammenhänge nicht wesentlich beeinflussen. Bei Vorgängen mit einer stark ausgeprägten Dynamik bringt diese Methode aber unbefriedigende Ergebnisse, weil die Einzelbeobachtungen keinen lückenlosen Einblick in den Ablauf der Vorgänge ermöglichen. Dies trifft insbesondere für viele Vorgänge bei der Strukturbildung zu, die sich in optisch erfaßbaren Bereichen abspielen. Diese kann man zwar durch photographische Einzelbilder festhalten, jedoch läßt sich ihr dynamischer Ablauf auf diese Weise nicht unmittelbar der Anschauung zugänglich machen. Hier hilft die Anwendung der Kinematographie, bei der der Vorgang lückenlos erfaßt und seine Geschwindigkeit durch Zeitdehnung oder Zeitraffung auf die Wahrnehmungsfähigkeit des Auges abgestimmt werden kann. Von den zahlreichen physikalischen Einflüssen bei den Strukturveränderungen des Bodens spielen vor allem die von der Atmosphäre ausgehenden Kräfte eine wichtige Rolle. Insbesondere sind es Niederschlag und Verdunstung, die im Wechselspiel des Witterungsablaufes nicht nur für die Zerstörung, sondern auch für die Neubildung der Bodenstruktur maßgebend sind.

Der Witterungsablauf bringt einen ständigen Wechsel von Niederschlag und Verdunstung mit sich, der im Boden parallellaufende Veränderungen des Wassergehaltes verursacht und, abhängig davon, den Quellungsgrad des Bodens beeinflusst. Diese Vorgänge gehen jedoch innerhalb des Bodens nicht gleichmäßig vonstatten, weil die Veränderungen des Wassergehaltes mit zunehmender Entfernung von der Bodenoberfläche geringer werden. Infolgedessen können sich bei einem intensiven Wechsel von Niederschlag und Verdunstung starke Unterschiede im Quellungsgrad auf kurze Entfernungen mit entsprechenden Spannungsunterschieden ausbilden, die zur Entstehung senkrechter und waagerechter Risse führen und das kompakte Bodengefüge in polyedrische Aggregate und feine Schüppchen aufschließen. Diese „Mürbungserscheinungen“ sind besonders häufig auf den quellungsfähigen tonhaltigen Böden zu beobachten. Sie können hier bei entsprechendem Witterungsablauf die mechanische Bearbeitung des Bodens wesentlich erleichtern, in extremen Fällen überhaupt erst ermöglichen.

Obwohl diese Vorgänge auf bindigen Böden zu den alltäglichen Erscheinungen gehören, liegen bisher keine näheren Untersuchungen über Einzelheiten ihres Ablaufs vor. Diese Lücke sollten die durchgeführten Filmaufnahmen schließen helfen.

II. Erläuterungen zum Film

Opalinuston (Bodenoberfläche)

Bildfeld $7,5 \times 5,5$ cm

Befeuchtung: Zeitraffung auf $1/6$ Trocknung: Zeitraffung auf $1/360^1$)

Nach verschiedenen Vorversuchen wurde für diese Filmaufnahmen ein Opalinuston aus der Gegend von Schwäbisch-Gmünd (Württbg.) gewählt:

Korngrößenzusammensetzung

Grobsand (2 bis 0,2 mm):	1,2%
Feinsand (0,2 bis 0,02 mm):	9,2%
Schluff (0,02 bis 0,002 mm):	36,5%
Ton (< 0,002 mm)	: 53,1%

Dieser Boden wurde mit Wasser breiförmig angerührt und zu einem Ziegel von 20×30 cm Größe und 4 bis 5 cm Dicke getrocknet. Die Trocknung erfolgte so langsam, daß keine Risse entstanden und der Ziegel im Innern eine makroskopisch amorphe Struktur erhielt.

Die Einflüsse der Witterung durch Niederschlag und Verdunstung wurden während der Filmaufnahmen durch wechselndes Besprühen des Bodens mit feinem Wasserstaub und anschließendes Trocknen unter einer Wärmelampe bei 30 bis 40° C nachgeahmt. Die Aufnahme-frequenz betrug beim Befeuchten 4 B/s, beim Trocknen 1 B/min. Auf diese Weise wurden fünf Befeuchtungs- und Trocknungsvorgänge von zunehmender Länge mit einer ungefähren Gesamtdauer von ca. 24 Stunden aufgenommen, von denen drei im ersten Filmteil gezeigt werden.

Erste Befeuchtung und Trocknung

Während der ersten sehr kurzen Befeuchtung erhält die zunächst glatte Oberfläche eine grobkörnige Beschaffenheit. An einzelnen Stellen entstehen blasenförmige Aufwölbungen, aus denen nach dem Aufplatzen Luft entweicht. Bei der darauf folgenden Trocknung bilden sich plötzlich sehr feine Risse, die sich zwar noch etwas erweitern, doch nach kurzer Zeit keine Veränderung mehr erkennen lassen.

Zweite Befeuchtung und Trocknung

Bei der zweiten, wesentlich längeren Befeuchtung kann der Boden durch die anfangs noch geöffneten Risse und die rauhe Oberfläche schon wesentlich mehr Wasser aufnehmen. Schon nach kurzem Besprühen beginnen sich die Risse zu schließen, wobei gleichzeitig ihre Ränder infolge des dort schneller eindringenden Wassers stärker quellen und sich narbenförmig aufwölben. Während an einzelnen Stellen durch austretende Luftblasen kraterförmige Erhebungen entstehen, verstärkt

¹⁾ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film. — Die Zeitangaben über die bei den Aufnahmen angewendete Zeitraffung beziehen sich auf die normale Vorführgeschwindigkeit von 24 B/s.

sich das narbenförmige Aufwölben der Ränder immer mehr, bis es gegen Ende des Sprühvorganges wieder abnimmt. In der Mitte des Bildfeldes ist ein „Rieseln“ abgeblätterter, feinsten Bodenschüppchen in dem sich langsam an der Oberfläche bewegendes Wasser zu beobachten.

Bei der nun folgenden Trocknung öffnen sich die Risse wiederum ziemlich plötzlich. Der weitere Öffnungsvorgang verläuft zuerst schnell, verlangsamt sich aber gegen Ende der Einstellung zusehends. Die gebildeten Risse sind tiefer und dadurch auch breiter geworden als in der ersten Einstellung und klaffen ungleichmäßig weit. Ein Teil der während der ersten Trocknungsphase entstandenen Risse bleibt jetzt geschlossen.

Dritte Befeuchtung und Trocknung

In der letzten Befeuchtungsphase dauert es wesentlich länger, bis die Risse wieder geschlossen sind, weil der Boden im Vergleich zu den beiden ersten Befeuchtungen den Sprühnebel ohne Schwierigkeiten aufnimmt und ins Innere leitet. An den Rißrändern bilden sich diesmal sehr starke Aufwölungen, die mit zunehmendem Aufweichen lavaähnlich zum gegenüberliegenden Rand wandern und zum Schließen der Risse beitragen. An mehreren Stellen ist die Versickerung von Wasser am ständigen Entweichen von Luftblasen zu beobachten. Wie das Pulsieren einzelner Lichtflecke zeigt, sickert das Wasser auch durch scheinbar bereits geschlossene Spalten tiefer in den Boden hinein. Mit zunehmender Wassersättigung der Oberfläche tritt auch das „Rieseln“ von feinen Bodenschüppchen wieder auf. Bei der Trocknungsphase nimmt die Rißbildung eine noch längere Zeit in Anspruch als vorher. Die Spalten beginnen an einzelnen Stellen ruckartig aufzureißen und verbreitern sich im Laufe des Vorgangs auf mehrere Millimeter. Das Auseinanderweichen der Ränder geschieht nicht mehr so gleichmäßig wie in den beiden ersten Befeuchtungs- und Trocknungsphasen, sondern unter ruckartigen Bewegungen, so daß die Risse am Ende des Vorgangs eine ungleiche Breite besitzen.

Schwerer Tallehm (Bodenprofil)

Kantenlänge 8 cm

Befeuchtung und Trocknung: Zeitraffung auf $\frac{1}{360}$

Die Filmaufnahmen von den Vorgängen an der Bodenoberfläche erfassen den Ablauf nur in zwei Dimensionen. Da jedoch die Quellung und Schrumpfung des Bodens räumlich vonstatten geht, wurde versucht, dies durch eine Aufnahmeanordnung zu erfassen, bei der gleichzeitig die Oberfläche und eine dazu senkrechte Kante aufgenommen wurden. Für diese Aufnahmen wurde ein schwerer alluvialer Tallehm gewählt.

Korngrößenzusammensetzung

Grobsand (2 bis 0,2 mm):	0,9%
Feinsand (0,2 bis 0,02 mm):	27,5%
Schluff (0,02 bis 0,002 mm):	29,5%
Ton (< 0,002 mm)	: 42,1%

Auch dieser Boden wurde in der bereits beschriebenen Weise zu einem Bodenziegel geformt und der Befeuchtung und Trocknung ausgesetzt. Abweichend vom ersten Filmteil betrug die Aufnahmefrequenz beim Besprühen 1 B/min.

Erste Befeuchtung und Trocknung

In der ersten, sehr kurzen Befeuchtungsphase dringt das Wasser, wie an dem Dunkelwerden der senkrechten Bodenkante zu erkennen ist, nur flach in den Boden ein. Dieser Vorgang ist von einer bebenartigen Bewegung der Oberfläche begleitet, die durch das Quellen des befeuchteten Bodens hervorgerufen wird. Wie im ersten Filmteil wird auch hier die Bodenoberfläche körnig und rauh. Bei der darauf folgenden Trocknungsphase dringen die an der Oberfläche erscheinenden Schrumpfrisse noch nicht sehr tief an der senkrechten Bodenkante vor.

Zweite Befeuchtung und Trocknung

Um zu vermeiden, daß sich das Sprühwasser an der Oberfläche sammelt und dann an der Kante herabfließt, wurde die zweite Befeuchtungsphase in mehrere durch Pausen unterbrochene Besprühungen unterteilt. Die Wassergaben der einzelnen Wellen dringen wesentlich tiefer ein als bei der ersten Befeuchtung, doch sind die damit verbundenen bebenartigen Erscheinungen nicht so stark. Dann folgt die nächste Trocknung, bei der neben der Reißbildung auch die Abtrocknung der einzelnen Schollen von den aufgewölbten Rändern her zu erkennen ist. Während später die Oberfläche schon völlig abgetrocknet ist, weisen die Farbunterschiede an der Kante noch auf die Feuchtigkeit im Bodeninnern hin.

Je weiter der an der Aufhellung der Kante erkennbare Wasserentzug fortschreitet, um so tiefer dringen auch die Risse nach unten vor. Daneben ist von einem bestimmten Zeitpunkt an auch das Entstehen feiner horizontaler Risse zwischen den weit klaffenden vertikalen Rissen zu beobachten. Die Farbunterschiede an der Kante lassen erkennen, daß diese horizontalen Risse verhältnismäßig dicht untereinander liegen, wodurch die erfaßte Zone ein horizontalschichtiges Aussehen erhält.

Dritte Befeuchtung und Trocknung

In dieser Befeuchtungsphase dringt das Wasser zunächst gleichmäßig in den Boden ein, wo es wiederum zu bebenartigen Bewegungen der Oberfläche kommt. Wie der Wasseraustritt aus einem Riß an der linken Bildseite erkennen läßt, versickert das Wasser bevorzugt in den Rissen und befeuchtet ihre Grenzflächen früher als den im Innern liegenden Boden.

Die Trocknung setzt auch in dieser Phase zuerst am Rande der senkrechten Schrumpfrisse ein. Im weiteren Verlauf dieses Vorgangs ver-

breitern sich die Vertikalrisse immer mehr und dringen auch weiter in die Tiefe vor. Oft verlaufen sie unregelmäßig und zickzackförmig. Gleichzeitig entsteht eine neue Zone mit feinen horizontalen Rissen, die sich zwar noch etwas nach unten ausbreitet, aber nicht zur vollen Tiefe der Vertikalrisse vordringt. Die Vertikalrisse eilen also der Horizontalschichtung voraus.

Vierte Befeuchtung und Trocknung

Das Wasser dringt sofort verhältnismäßig tief in den Boden ein. Während der einzelnen Sprühvorgänge treten kräftige bebenartige Bewegungen des Bodens auf, die sich wellenförmig nach unten fortpflanzen. Aus den Vertikalrissen am linken und rechten Bildrand treten Wassertropfen aus und fließen nach unten ab. An der unteren Befeuchtungsgrenze bilden sich kleine schüppchenförmige Gebilde.

Beim Trocknen entstehen neben den alten, von der Oberfläche ausgehenden Vertikalrissen neue Risse, die unter der Oberfläche in der horizontalschichtigen Zone beginnen. Mit fortschreitender Trocknung hellt sich die Vorderkante des Ziegels von oben her auf und läßt die entstandene Horizontalschichtung gut erkennen. Darunter heben sich in Stufen die Salzausblühungen, die durch die aufeinanderfolgenden Befeuchtungen entstanden sind, als helle Säume auf dem dunklen Untergrund ab.

Die Schluß-Einstellung zeigt in Schrägaufnahme noch einmal die Oberfläche des Bodenziegels aus dem ersten Filmteil. Während der Drehung des Blocks um 360° ist die unregelmäßige Aufwölbung und die verkantete Lage der Schollen sehr gut zu erkennen. Um die Struktur im Innern zu zeigen, wurde mit einer spitzen Nadel eine Scholle aus dem Block herausgebrochen. Während beim ersten Einstechen nur ein schuppenförmiges Stückchen aus der Oberfläche herausbricht, gelingt es beim zweiten Mal, die Scholle ganz herauszuheben. Am oberen Teil des Aufbruchs ist sehr deutlich die gemürbte horizontalschichtige Zone zu erkennen, unter der sich der noch kompakte ungemürbte Boden befindet. Ferner bestätigt dieser Aufbruch, daß die horizontalschichtige Gliederung nicht so tief in den Ziegel hinunterreicht wie die vertikalen Risse.

(Eingegangen am 22.11.1956)