

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber: Schweizerischer Forstverein
Band: 107 (1956)
Heft: 4

Artikel: Über die künstliche Strukturverbesserung von Ton- und Staubböden
Autor: Richard, Felix
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-764798>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

13. *Leiber, L.*: Waldbau. Allg. Forstztschr., 5. Jg., Nr. 23, 1950.
14. *Surber, E.*: Untersuchungen an Mittelwaldfichten im nordostschweizerischen Laubmischwaldgebiet. Diss., 1950.
15. *Richard, F.*: Der biologische Aufbau von Zellulose- und Eiweiß-Testschnüren im Boden von Wald- und Rasengesellschaften. Mitt. Schweiz. Anst. f. d. forstl. Versuchswesen, XXIV, 1945.
16. *Knapp, R.*: Experimentelle Soziologie der höheren Pflanzen, 1. Bd.: Einwirkung der Pflanzen aufeinander, Soziologie d. Keimung u. des aufwachsenden Bestandes Stuttgart 1954.

Résumé

Le choix des essences, problème biologique et économique

La sylviculture possède dans le choix des essences un moyen très efficace d'augmenter le rendement des forêts. On se fait souvent une fausse idée du rendement possible en argent des diverses essences. L'importance de la qualité et de la dimension est démontrée à l'aide de quelques exemples, qui font ressortir la nécessité d'une culture forestière plus intensive. Des résultats mettent en relief le succès d'une bonne éclaircie. La complexité des relations biologiques régissant la sylviculture est soulignée et l'on fait valoir les avantages des peuplements naturels. L'exposé s'élève contre l'application d'une conception agricole en sylviculture et relève la maxime classique de Parade.

O. Lenz

Über die künstliche Strukturverbesserung von Ton- und Staubböden

Von *Felix Richard*

(Oxf. 114.14)
(11.41)

Inhaltsverzeichnis

1. Die Bedeutung der Bodenstruktur für das Pflanzenwachstum.
2. Die Veränderung der Bodenstruktur durch Zugabe von Krillium:
 - a) Der Einfluß von Krillium auf die Veränderung der Aggregatgröße.
 - b) Der Einfluß des Säuregrades auf die Krümelbildung durch Krillium.

1. Die Bedeutung der Bodenstruktur für das Pflanzenwachstum

Die Struktur ist einer der wichtigsten physikalischen Bodenfaktoren, die das Wachstum der Pflanzen beeinflussen. Selbst unter optimaler Nährstoffversorgung kann der Pflanzenenertrag infolge ungünstiger physikalischer Bodenverhältnisse niedrig sein. Durch die Tätigkeit der Bodentiere, unter dem Einfluß des Wassers und des Frostes, durch das Eindringen der Pflanzenwurzeln und durch die physikalische und chemische Reaktion der Ton- und Humussubstanzen werden die einzelnen festen organischen und anorganischen Bauelemente vermengt und so zu einem *Gefüge* aufgebaut, daß im Boden eine große Zahl von

Krümelaggregaten mit charakteristischer Form, Formfestigkeit und Größe gebildet werden. Durch solche Vorgänge erhält der Boden eine bestimmte *Struktur*, d. h. eine bestimmte Lagerung der Einzel- und Vielfachteilchen zueinander. Die Krümelaggregate sind für einen bestimmten Boden in einer kennzeichnenden Art mit Poren und Hohlräumen von charakteristischer Form und Größe durchzogen. An einigen Dünn-schliffen sei die Strukturverschiedenheit natürlich gelagerter Waldböden dargestellt:

Bild 1 zeigt die gut entwickelte Schwammstruktur einer biologisch aktiven Laubmischwald-Braunerde auf Grundmoräne im schweizerischen Mittelland.

Dieser produktive Boden hat infolge günstiger Struktur gut durchlüftete Hohlräume und enthält dennoch genügend Poren, um Wasser festzuhalten.

Bild 2 zeigt die Einzelkonstruktur eines Auewaldbodens der Aare. Je nach der Wassergeschwindigkeit des Flusses werden Sand- und Staubeilchen schichtweise abgelagert.

Bild 3 zeigt eine charakteristische faserige Lockerstruktur eines Rohhumushorizontes, bestehend ausschließlich aus mehr oder weniger zersetztem Streuematerial.

Bild 4 zeigt die betonartig verdichtete Struktur eines sauren Reißmoränebodens unter Weißtannen. Schlechte Bodendurchlüftung und andauernder Wasserstau sind die Folgen dieser Struktur. Werden solche Böden als Pflanzgartenböden verwendet, so bilden sie nach Regen harte, wachstumshemmende Oberflächenkrusten.

Die Summe aller Poren und Hohlräume in und zwischen den Aggregaten nennen wir das *Porenvolumen*. Es hat viele Funktionen zu erfüllen. Hier befinden sich die Gänge, durch die der Luftsauerstoff in den Boden diffundieren kann; hier suchen die Wurzelhaare ihren Weg zu den kolloiden Ton- und Humusoberflächen, die Nährstoffe für die Pflanzen abgeben; hier wird das Wasser festgehalten, das die Pflanzen zum Wachstum nötig haben.

In einem normal entwickelten Waldboden des Mittellandes beträgt das Porenvolumen ca. 500 cm³/Liter. In den oberflächennahen, biologisch besser durchmischten Humushorizonten ist das Porenvolumen meistens etwas größer und in den tiefer gelegenen Mineralerdehorizonten etwas kleiner. In einem guten Waldboden nehmen die Hohlräume im Hauptwurzelraum ungefähr die Hälfte des Bodenvolumens ein.

Es kommt aber sehr häufig vor, daß Böden mit *gleich großem Porenvolumen einen verschiedenen Bau des Porenraumes* haben, der die Drainage-, Durchlüftungs-, Wasserspeicherungs- und Wärmeeigenschaften stark beeinflußt. Wenn zwei Böden ein Porenvolumen von 500 cm³/Liter haben, will das z. B. nicht heißen, daß beide Böden gleich gut drainiert

sind. Über die Untersuchung des Porenraumes vgl. R i c h a r d (1955).

Damit die Pflanzenwurzeln im Boden wachsen können, benötigen sie vor allem *Wasser*, *Nährstoffe* und *Luft*. Der Wasser- und Luftgehalt ist besonders von der Größe des Porenraumes und von der Porengrößenverteilung abhängig. Böden mit sehr wenig Grobporen sind z. B. schlecht durchlüftet, sie erschweren das Wachstum vieler Baumwurzeln. Böden mit sehr großem Grobporenanteil sind extrem durchlüftet, sie haben ein zu kleines Wasserbindevermögen und trocknen deshalb rasch aus.

Zu den wichtigen Struktureigenschaften eines Bodens gehört auch die *Strukturstabilität*, zu der wir in erster Linie die *Aggregatfestigkeit* zählen. Unter dem Einfluß des Regenwassers z. B. können Aggregate mit schwacher Formfestigkeit zerspringen. Sie werden in kleinere Teilaggregate zerlegt, die in der Regel durch feinere Hohlräume getrennt sind als die ursprünglichen Grobaggregate. Dieser Vorgang beschleunigt die Bodenverdichtung. Durch die Dichtschlammung verkrustet die Bodenoberfläche, und die Keimlinge haben Mühe, die verhärtete Schicht zu durchstoßen. An Hängen wird die Wassererosion die feiner zerteilten Trümmeraggregate leichter wegführen können als gröbere. Die *Erhaltung der Aggregate* bestimmter minimaler Größe ist notwendig, um die Bodenverkrustung zu verhindern und den Boden vor Erosion besser zu schützen.

Die bekannten Mittel, um dem Boden eine für das Pflanzenwachstum günstige Struktur zu erhalten, bzw. zu verschaffen, sind *Mist*, *Torf*, *Kompost* und *Gründüngung*.

In neuester Zeit sind künstlich hergestellte Verbindungen, sogenannte *Bodenkonditionierer* (Krümelungsmittel), auf den Markt gekommen, die unter bestimmten Voraussetzungen, in kleinen Mengen verdichteten Ton- und Staubböden beigemischt, *eine beträchtliche Verbesserung der Aggregatbildung und eine Erhöhung der Aggregatstabilität zur Folge haben*. Die Krümelungsmittel, die den weiter unten angegebenen chemischen Typen angehören, haben in der Regel *keine Düngewirkung*, doch sind sie gegenüber mikrobiellem Abbau im Boden ziemlich resistent (M a r t i n u. Mitarb. 1955).

2. Die Veränderung der Bodenstruktur durch Zugabe von Krilium

Wenn die Krümelaggregate nicht eine bestimmte Formstabilität hätten, würden sie in kurzer Zeit im Boden zerfallen; die entstandenen Einzelteilchen würden sich zu neuen Aggregaten gruppieren. Es ist vermutlich eine der Hauptaufgaben des *Humus*, die Aggregate zu stabilisieren. Die Untersuchungen vieler Humusforscher zeigen, daß aktive Gruppen organischer Verbindungen durch Tonkolloide stark adsorbiert werden (vgl. James P. M a r t i n, William P. M a r t i n, J. B. P a g e, W. A. R a n e y und J. D. D e M e n t in «Advances in Agronomy», VII, 1955).

Die Beobachtung, daß Bodenmikroorganismen *Polysaccharide* und andere Verbindungen synthetisieren, die die Aggregation von Bodeneinsteilchen verursachen, veranlaßte die Forschung, nach synthetisch hergestellten Verbindungen zu suchen, die ähnliche *Koagulationseigenschaften* wie die Polysaccharide haben, die aber länger im Boden bestehen bleiben (Deuel 1954; Deuel u. Mitarb. 1955; Martin, W. P., 1953; Martin, J. P., und Aldrich, D. G., 1955).

Heute stehen wasserlösliche, polymere Elektrolyte mit großem Molekulargewicht zur Verfügung, die eine bemerkenswerte Resistenz gegen mikrobiellen Abbau haben. Mowry und Hedrick (1953) beschreiben 61 Polymere mit krümelstabilisierenden Eigenschaften.

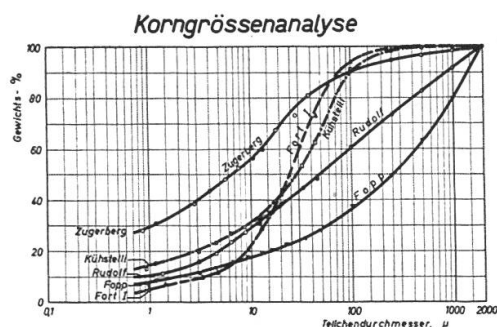
Eine große Zahl erhältlicher Krümelstabilisatoren (Konditionierungsmittel) können in drei Gruppen unterteilt werden:

1. HPAN-Produkte = Hydrolisiertes Polyacrylnitril.
2. VAMA-Produkte = Vinylacetat-Maleinsäure Copolymerisat.
3. IBMA -Produkte = Isobutylen-Maleinsäure-Verbindungen.

In den nachfolgenden Ausführungen untersuchen wir die Wirkung des sogenannten *Krilium* (Formulation 6)¹, eines Abkömmlings der VAMA-Gruppe.

Der Direktion der Sprengstoff-Fabrik AG in Dottikon danken wir für das im Auftrag der Monsanto Chemical Company uns zur Verfügung gestellte *Krilium*.

Wir untersuchten den Einfluß von *Krilium* auf *humusfreie* neutrale und saure Ton-, Sand- und Staubböden, deren Korngrößenzusammensetzung in Figur 1 dargestellt ist:



Figur 1

1. «Zugerberg», ein karbonatfreier, neutral reagierender, *staubig-toniger* Lehm (33% Ton, 44% Staub und 23% Sand), mit starker Verdichtungstendenz.

¹ «*Krilium*, Formulation 6» ist ein Produkt der Monsanto Chemical Company, St. Louis, Mo., USA. Der Handelsname «*Krilium*, Formulation 6» wird in vorliegender Arbeit nur zur Identifikation des Produktes verwendet. Das will nicht heißen, daß *Krilium* anderen Handelsprodukten gleicher oder ähnlicher Zusammensetzung vorzuziehen sei.

2. «Fort 1», ein karbonathaltiger, neutraler *Staublehm* (7 % Ton, 44 % Staub und 49 % Sand).
3. «Kühstelli», ein saurer *Staublehm* (16 % Ton, 35 % Staub und 49 % Sand), mit starker Verdichtungstendenz.
4. «Fopp», ein saurer, lockerer, *sandiger Lehm* der Versuchsaufforstung Davos (9 % Ton, 15 % Staub und 76 % Sand).

Die mit der Glaselektrode bestimmten pH-Werte der Testböden sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1
pH-Reaktion der Versuchsböden

«Zugerberg»		«Fort 1»	«Kühstelli»		«Fopp»
Feldprobe	Feldprobe angesäuert	Feldprobe	Feldprobe	Feldprobe neutralisiert	Feldprobe
7,15	4,35	7,85	4,70	6,80	5,95

a) Der Einfluß von Krilium auf die Veränderung der Aggregatgröße

Als Ausgangsmaterial für die Versuchsböden diente luftgetrocknete Feinerde, die das 2-mm-Sieb passiert hatte. Mit einer Rebspritze wurde von einer 1prozentigen Lösung soviel Krilium auf die Böden gleichmäßig verteilt, daß es in Konzentrationen von 1,0 % / 0,1 % und 0,05 % in den Versuchsböden vorhanden war. Zur Prüfung der krümelungsfördernden Wirkung wählten wir als Vergleichsbasis (Standard) den entsprechenden, nicht mit Krilium behandelten Ausgangsboden (sog. 0-Versuch).

Nachdem durch Verspritzen einer 1prozentigen Krilium-Lösung die gewünschten Konzentrationen erreicht waren, wurden die Böden an der Luft getrocknet. Damit bei einzelnen Krümelanalysen die Ausgangskrümelmzahl nicht zufällig im Verhältnis zum verwendeten Gewicht zu klein wurde, wählten wir keine Aggregate mit größeren Durchmessern als 6 mm. Durch diese Abgrenzung wurde im Verhältnis zur Einwaage (50 g) eine teilweise Homogenisierung der Ausgangskrümelmzahl erreicht, was die Streuung des Versuchsfehlers verkleinerte.

Die Aggregatgröße bestimmten wir nach der *Naßsiebmethode* (D u t t 1948). Wir wählten Siebe von 2 / 1 / 0,5 und 0,25 mm Maschenweite und erhielten folgende Krümelfraktionen: 6,0—2,0 mm / 2,0—1,0 mm / 1,0—0,5 mm / 0,5—0,25 mm und < 0,25 mm. Der Siebsatz wurde vollständig ins Wasser getaucht, nachdem man auf das oberste Sieb 50 g Testboden ausgestreut hatte. Der Siebsatz wurde während 30 Minuten im Wasser mit einer Hubhöhe von 5 cm 32mal pro Minute auf- und abbewegt. Fraktionsweise bestimmten wir die ofentrockenen Boden-

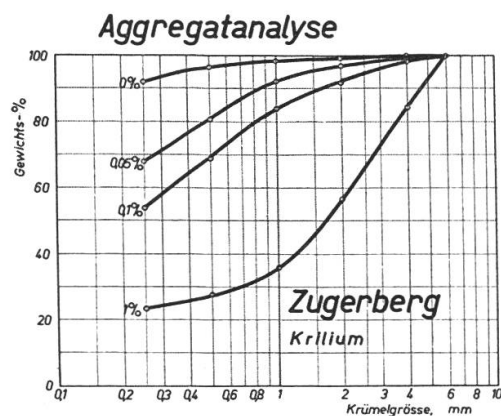
gewichte, subtrahierten die Steine und erhielten so die Krümelanteile pro Siebfraction (sog. wasserstabile Aggregate).

Die detaillierte Auswertung nach einzelnen Fraktionen bleibt einer späteren Arbeit vorbehalten. Wir fassen in dieser Arbeit alle Fraktionen zusammen und vergleichen die Krümelmenge der Klasse 0,25 mm bis 6,0 mm \varnothing mit jener der Klasse $< 0,25$ mm \varnothing : Wir vergleichen die Summe der Fraktionen, die auf allen Sieben zurückgehalten wurde, mit jener, die durch das feinste Sieb von 0,25 mm durchging.

Für die Aggregatanalyse wählten wir die Grenzwerte 0,25 mm als kleinste und 6,0 mm als größte Krümeldurchmesser, weil die in diesem Durchmesserbereich vorhandene Krümelmenge für die Bodendurchlüftung und die Krustenverhinderung oft entscheidend ist. Wie unsere Versuche zeigen, finden wir in verschlammungsbereiten Ton- und Staubböden meist einen für die Wasserpermeabilität unvorteilhaften Überschuß von Feinkrümeln mit $\varnothing < 0,25$ mm.

«Zugerberg»:

Die Ergebnisse der Aggregatanalyse sind in Figur 2 durch eine Summationskurve dargestellt. Wir sehen, daß beim nichtkonditionierten Versuchsboden (0-Versuch) nur 8 % Krümel auf dem engsten Sieb von 0,25 mm zurückgehalten wurden, während 92 % der Einwaage durch die Maschen gingen. Dieses Ergebnis charakterisiert die Feinheit der Aggregate des Bodens. Wesentlich größere Krümel erhalten wir nach der Konditionierung. Mit 0,05 % Krilium erhielten wir 33 %, mit 0,10 % Krilium 46 % und mit 1,0 % Krilium sogar 76 % Krümel mit Durchmessern größer als 0,25 mm. Verglichen mit dem nichtbehandelten Boden verhält sich die Krümelvermehrung bei einer Kriliumgabe von 0,05 bzw. 0,10 bzw. 1,0 % wie 4,1 : 5,8 : 9,5 (Tab. 2). Je nach der verwendeten Kriliumkonzentration wurde der Krümelanteil im untersuchten Durchmesserbereich auf Kosten feinerer Aggregate ungefähr 4- bis 10mal größer. Für einen verdichtungsbereiten Boden vom Typ «Zuger-



Figur 2

Tabelle 2

Einfluß des Kriliums auf die Krümelbildung von Böden mit verschiedenem Ton- bzw. Staubgehalt und verschiedenem Säuregrad (pH)

Testboden	pH	Summe der Aggregate > 0,25 und < 6 mm \varnothing in Prozenten, bei folgenden Kriliumkonzentrationen (g Kri/100 g Bo)						
		1,0 g Kri		0,10 g Kri		0,05 g Kri		0,00 g Kri = Standard = St
		%	$\frac{\%}{\%St}$	%	$\frac{\%}{\%St}$	%	$\frac{\%}{\%St}$	%St
«Zugerberg» Feldprobe (staubig-toniger Lehm)	7,15	76	9,5	46	5,8	33	4,1	8
«Zugerberg» Feldprobe angesäuert. (staubig-toniger Lehm)	4,35	24	2,7	16	1,8	14	1,6	9
«Fort 1» (Staublehm)	7,85	72	7,2	40	4,0	38	3,8	10
«Kühstelli» Feldprobe (Staublehm)	4,70	46	1,6	38	1,4	32	1,1	28
«Kühstelli» Feldprobe neutralisiert (Staublehm)	6,80	70	2,6	52	1,9	52	1,9	27
«Fopp» (sandiger Lehm)	5,95	27	1,2	27	1,2	—	—	23

berg» wird die Aggregatvergrößerung eine wesentliche Verbesserung der Wasserbewegung, der Durchlüftung und der Lockerheit zur Folge haben.

Die in Figur 2 verwendeten Zahlenwerte sind in Tabelle 3 zusammengestellt und statistisch nach dem t-Test geprüft worden. Die Untersuchung zeigt, daß die mit jeder Kriliumkonzentration erwirkten Steigerungen der Krümelmenge, verglichen mit dem 0-Versuch, statistisch stark gesichert sind.

«Fort 1»:

Die Ergebnisse der Aggregatanalyse sind in Figur 3 und in Tabelle 4 zusammengestellt. Wie beim «Zugerberg»-Boden besprechen wir nur die Summe der untersuchten Krümel fraktionen zwischen 0,25 und 6,0 mm Durchmesser. Der Summationskurve (Figur 3) entnehmen wir, daß beim 0-Versuch nur 10,5 % Krümel einen Durchmesser > 0,25 mm

Tabelle 3

Versuchsboden «Zugerberg»: Zusammenstellung der Krümelanalysen konditionierter und unbehandelter Bodenproben

Krümelmenge (\varnothing 0,25–6,0 mm) in Prozenten der Einwaage (50 g) bei verschiedenen Kriliumkonzentrationen				
Kriliumkonzentrationen %	1,00	0,10	0,05	0,00
Krümelmenge %	76,3	47,7	32,7	7,8
Streuung, s %	12,3	5,2	11,2	14,2
Anzahl der Einzelwerte, n	6	7	6	6
Prüfung der Durchschnitte nach dem t-Test:				

t 0,10 = + = wahrscheinlich gesichert

t 0,05 = * = gesichert

t 0,01 = ** = stark gesichert

t > 0,10 = ○ = nicht gesichert

haben. Durch die zunehmende Konzentration von Krilium (0,05 % / 0,10 % / 1,00 %) konnte die Krümelmenge mit $\varnothing > 0,25$ mm auf 37,9 % bzw. 39,8 % bzw. 72,3 % erhöht werden (vgl. auch Tab. 4). Verglichen mit dem nichtbehandelten Boden verhält sich die Krümelvermehrung wie 3,8 : 4,0 : 7,2 (vgl. Tab. 2). Im neutralen Staublehm «Fort 1» konnten aus Feinaggregaten mit $\varnothing < 0,25$ mm je nach Kriliumzugabe ungefähr 4- bis 7mal mehr gröbere Aggregate mit $\varnothing > 0,25$ mm erzeugt werden. Es ist bekannt, daß Staublehmböden bei unsachgemäßer Behandlung

Tafel

Bild 1

Schwammstruktur einer Braunerde

Bild 2

Einzelkornstruktur eines Auenwaldbodens

Bild 3

Faserige Lockerstruktur eines Rohhumus

Bild 4

Betonartig verdichtete Struktur auf saurem Lößlehm der Rißmoräne

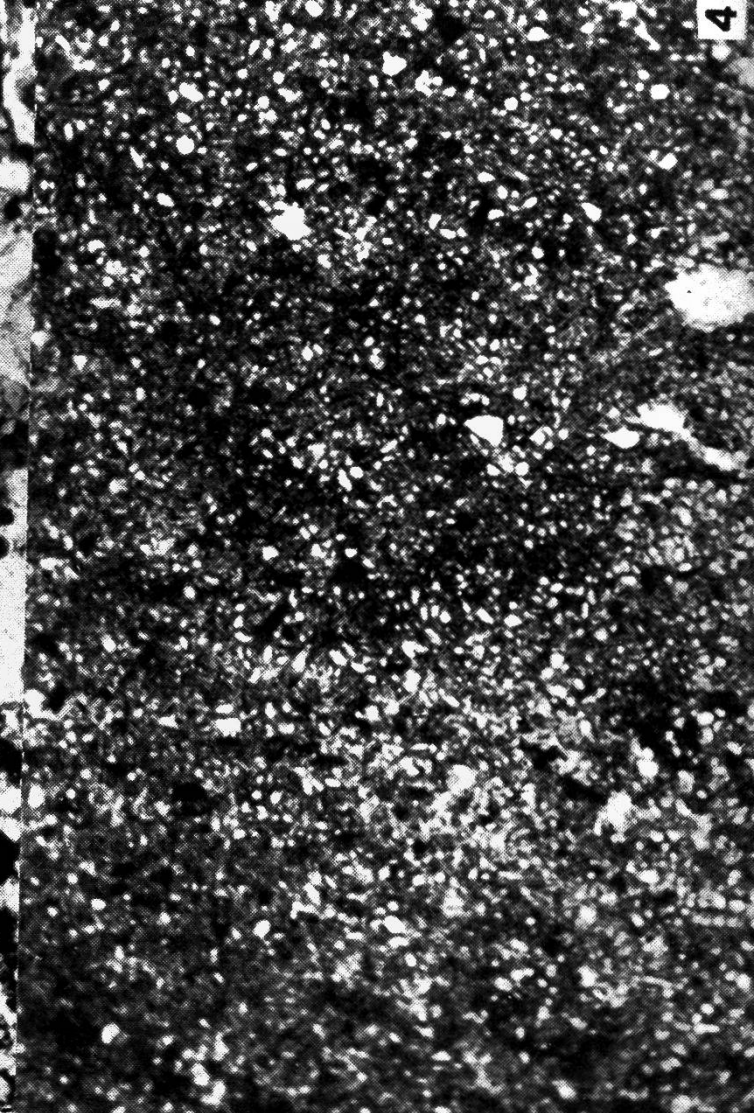
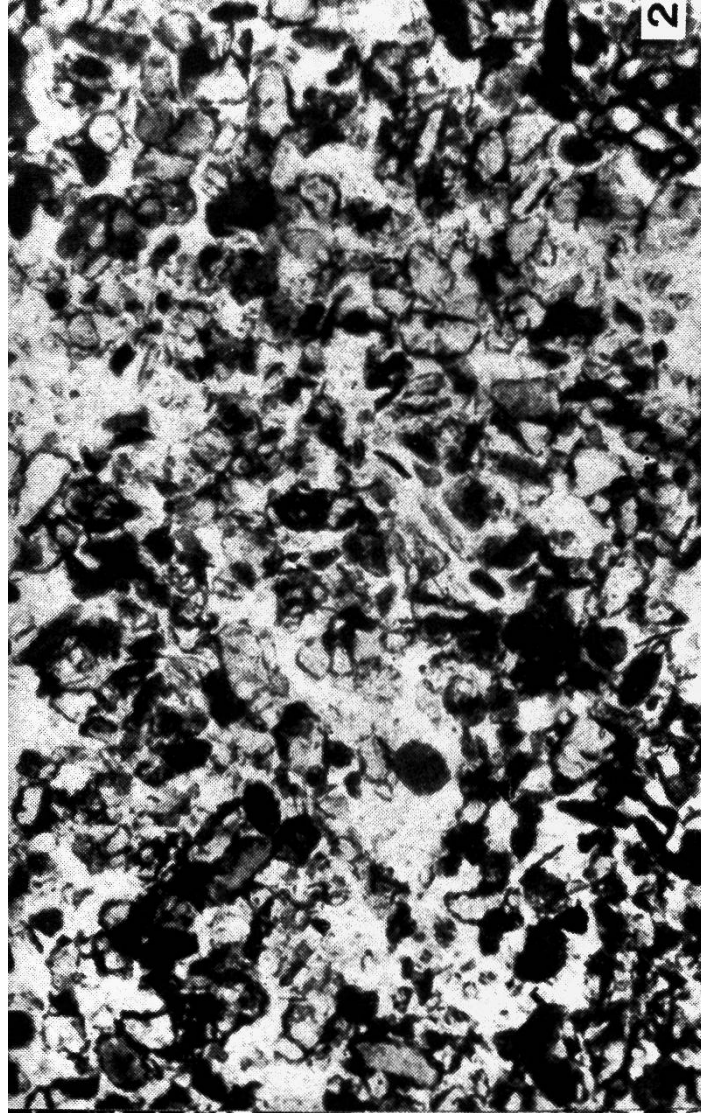
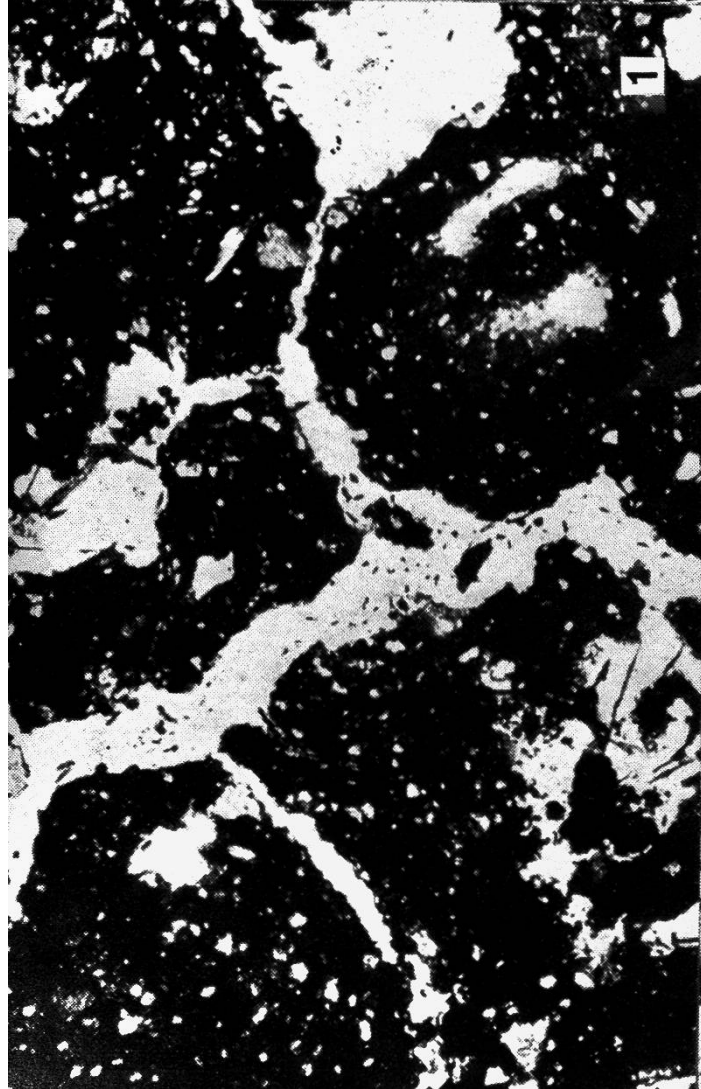
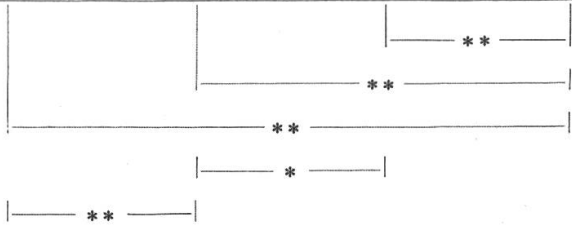


Tabelle 4

Versuchsboden «Fort 1»: Zusammenstellung der Krümelanalysen konditionierter und unbehandelter Bodenproben

Krümelmenge (\varnothing 0,25–6,0 mm) in Prozenten der Einwaage (50 g) bei verschiedenen Kriliumkonzentrationen				
Kriliumkonzentrationen %	1,00	0,10	0,05	0,00
Krümelmenge %	72,3	39,8	37,9	10,5
Streuung, s %	10,9	4,6	2,6	11,7
Anzahl der Einzelwerte, n	5	8	6	6
Prüfung der Durchschnitte nach dem t-Test:				

t 0,10 = + = wahrscheinlich gesichert

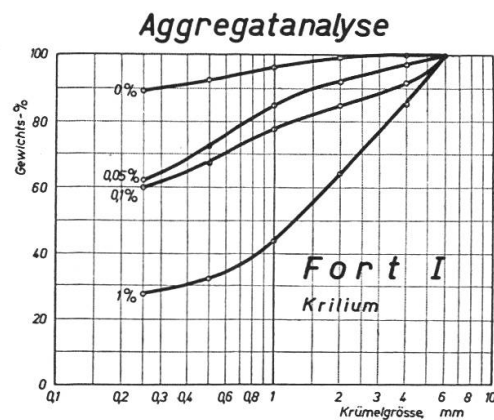
t 0,05 = * = gesichert

t 0,01 = ** = stark gesichert

t > 0,10 = ○ = nicht gesichert

verdichten und schlecht durchlüftet sein können. Behandelt man sie mit Krilium, dann werden die Aggregate vergrößert. Diese Strukturveränderung verbessert den Gasaustausch sowie die Wasserpermeabilität und begünstigt die Wurzelentwicklung.

Die in Figur 3 verwendeten Zahlenwerte sind in Tabelle 4 zusammengestellt und statistisch nach dem t-Test geprüft worden. Die Untersuchung zeigt, daß auch hier die für jede Kriliumkonzentration erhaltenen größeren Krümelmengen, verglichen mit dem 0-Versuch, statistisch stark gesichert sind.



Figur 3

«Kühstelli»:

Die wasserundurchlässigen Rißmoräneböden aus dem Gebiete von Zofingen—Murgenthal—Langenthal sind früher eingehend auf ihre physikalischen Eigenschaften untersucht worden (Richard 1953). Für gute Drainage und günstige Bodendurchlüftung fehlt es den Böden an Grobporen: Dieser Mangel wirkt sich namentlich in Pflanzgärten ungünstig auf die Pflanzennachzucht aus. In Bild 4 ist die betonartig verdichtete und deshalb grobporenarme Struktur des sauren Rißmoräne-Staublehms dargestellt. Wir wählten für unsere Versuche den «Kühstelli»-Boden, weil er einen sauren Staublehm aus dem Rißmoränegebiet repräsentiert.

Die Resultate der Aggregatanalyse sind in Tabelle 5 und in Fig. 4 dargestellt. Es war im Gegensatz zum *neutralen Staublehm* «Fort 1» nicht möglich, die Krümelbildung im *sauren Staublehm* «Kühstelli» wesentlich zu verbessern. In Fig. 4 ist der geringe Aggregierungserfolg deutlich sichtbar.

Die Festigkeit der durch die Kriliumbeimischung entstandenen Krümel war so schwach, daß sie während der Analyse im Wasserstrom zerfielen.

Tabelle 5

Versuchsboden «Kühstelli»: Zusammenstellung der Krümelanalysen konditionierter und unbehandelter Bodenproben

Krümelmenge (\varnothing 0,25–6,0 mm) in Prozenten der Einwaage (50 g) bei verschiedenen Kriliumkonzentrationen				
Kriliumkonzentrationen %	1,00	0,10	0,05	0,00
Krümelmenge %	45,4	37,6	31,6	30,0
Streuung, s %	8,8	17,9	17,4	20,2
Anzahl der Einzelwerte, n	6	6	6	6
Prüfung der Durchschnitte nach dem t-Test:				

- t 0,10 = + = wahrscheinlich gesichert
 t 0,05 = * = gesichert
 t 0,01 = ** = stark gesichert
 t > 0,10 = ○ = nicht gesichert

Wir bestimmten beim 0-Versuch 30,0 % Krümel mit $\varnothing > 0,25$ mm. Analog erhielten wir nach der Konditionierung folgende Krümelmengen:

0,05 % Kri \rightarrow 31,6 % Krümel mit $\varnothing 0,25—6,0$ mm

0,10 % Kri \rightarrow 37,6 % Krümel mit $\varnothing 0,25—6,0$ mm

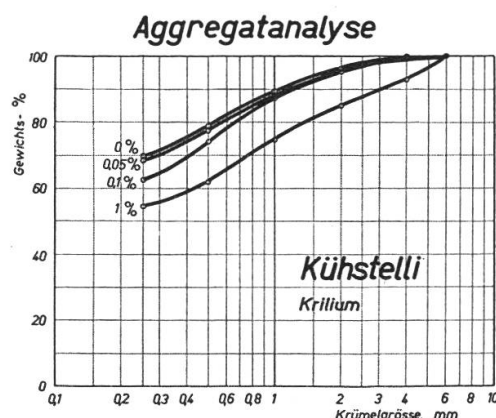
1,00 % Kri \rightarrow 45,4 % Krümel mit $\varnothing 0,25—6,0$ mm

Wie in Tabelle 5 gezeigt wird, sind die meisten Aggregatzunahmen statistisch nicht oder nur wahrscheinlich gesichert. Einzig die Differenzen der Krümelmengen zwischen 0,10 und 1,0 % bzw. 0,00 und 1,0 % Krilium sind statistisch gesichert.

Die geringe Zunahme der Krümelmenge kommt besonders in Tabelle 2 zum Ausdruck. Bei steigenden Kriliumkonzentrationen konnte die Krümelmenge gegenüber dem 0-Versuch in folgendem Verhältnis vergrößert werden:

$$0,05 \% \text{ Kri} : 0,10 \% \text{ Kri} : 1,00 \% \text{ Kri} = 1,1 : 1,4 : 1,6$$

Eine 1,00 prozentige Kriliumgabe vermochte die Krümelmenge nur 1,6mal zu vergrößern.



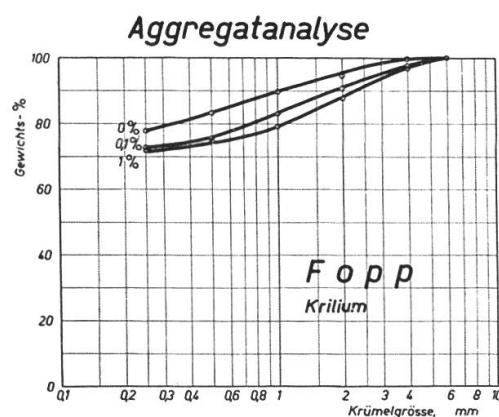
Figur 4

Vergleichen wir die Korngrößenanalyse von «Fort 1» mit «Kühstelli», dann stellen wir ungefähres Übereinstimmen der Kurven fest (Fig. 1). Bei praktisch gleicher Korngrößenzusammensetzung und gleichen Kriliumkonzentrationen war im sauren Staublehm «Kühstelli» die Krümelbildung bedeutend schwächer als im neutralen Staublehm «Fort 1». Wir werden später die Abhängigkeit der Aggregierungsbereitschaft vom Säuregrad des Bodens behandeln.

«Fopp»:

Bis jetzt sind neutrale und saure Ton- und Staubböden untersucht worden. Um auch die Böden der Sandklasse auf ihre Krümelungsfähigkeit zu prüfen, wählten wir einen sauren sandigen Lehm, «Fopp», mit 76 % Sand. Der «Fopp»-Boden stammt aus der Versuchsaufforstung der Eidg.

Forstlichen Versuchsanstalt oberhalb Davos. Er stammt aus einem B-Horizont eines vor der letztjährigen Aufforstung als Mahdwiese bewirtschafteten Eisenpodsol-Bodens, der früher einmal unter Fichtenwald gebildet worden ist. Die Ergebnisse der Aggregatanalyse sind in Fig. 5 und in Tabelle 6 zusammengestellt. Deutlich erkennt man die Wirkungslosigkeit des Kriliums. Die starke Kriliumkonzentration von 1,0 % erhöhte die Krümelmenge (mit 0,25 bis 6,0 mm \varnothing), verglichen mit dem 0-Versuch, von 23,2 % auf nur 26,6 % (1,2mal mehr). Die Ergebnisse mit 0,10 % Krilium haben dieselbe Größenordnung wie jene mit 1,00 % (Fig. 5). Werden die Untersuchungsergebnisse der Aggregatanalyse sta-



Figur 5

Tabelle 6

Versuchsboden «Fopp»: Zusammenstellung der Krümelanalysen konditionierter und unbehandelter Bodenproben

Krümelmenge (\varnothing 0,25–6,0 mm) in Prozenten der Einwaage (50 g) bei verschiedenen Kriliumkonzentrationen				
Kriliumkonzentrationen %	1,00	0,10	0,05	0,00
Krümelmenge %	26,6	27,0	—	23,2
Streuung, s %	18,5	26,5	—	13,7
Anzahl der Einzelwerte, n	6	6	—	6
Prüfung der Durchschnitte nach dem t-Test:	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> <div style="border-top: 1px solid black; width: 100%;"></div> </div>			

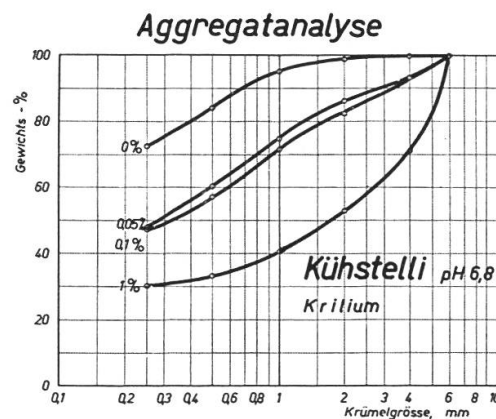
t 0,10 = + = wahrscheinlich gesichert
t 0,05 = * = gesichert
t 0,01 = ** = stark gesichert
t > 0,10 = ○ = nicht gesichert

tistisch geprüft (Tabelle 6), dann zeigt sich, daß die Unterschiede in den Krümelmenge n nicht gesichert sind. Saure Staublehme vom Typ «*Fopp*» können mit Krilium und wahrscheinlich auch mit anderen ähnlich zusammengesetzten Krümelungsmitteln nicht aggregiert werden.

b) *Der Einfluß des Säuregrades auf die Krümelbildung durch Krilium*

Wir haben festgestellt, daß die Versuchsböden «*Fort 1*» und «*Kühstelli*» ungefähr dieselbe Korngrößenzusammensetzung haben (Staublehme). Dagegen enthält «*Fort 1*» 10 % Kalk, ist schwach alkalisch (pH 7,85), während «*Kühstelli*» stark sauer ist (pH 4,70) (Tabelle 1). Auffallend ist, daß im Staublehm «*Fort 1*» nach erfolgter Konditionierung bedeutend mehr größere Krümel entstanden als im Staublehm «*Kühstelli*». Entsprechend dem Kriliumchemismus war zu vermuten, daß der Säuregrad des Bodens einen entscheidenden Einfluß auf das Krümelungsvermögen des Bodens hat: Unsere Versuche zeigen, daß saure Böden bei sonst ähnlicher Korngrößenzusammensetzung weniger große Krümel bilden als neutral oder schwach alkalisch reagierende Böden.

Um diese Aussage prüfen zu können, neutralisierten wir den Versuchsboden «*Kühstelli*». Der Boden wurde mit einem zehnfachen Überschuß von zirka 1/n Kalziumazetat so perkoliert, daß pro 24 Stunden 1 Liter Perkolutionslösung durch den Boden floß. Ein Liter Austauschlösung genügte, um innert 24 Stunden 300 g Boden zu neutralisieren. Anschließend wurde der Boden mit destilliertem Wasser bis zur Kalziumfreiheit ausgewaschen. Am Ende der Neutralisation betrug des pH = 6,80 (vgl. Tabelle 1). Der Boden wurde getrocknet, mit 0,05 % / 0,10 % und 1,00 % Krilium behandelt und wieder mit dem 0-Versuch des ebenfalls neutralisierten Bodens auf die Vergrößerung der Krümelmenge mit 0,25 bis 6,0 mm \varnothing verglichen.



Figur 6

Die Ergebnisse dieser Krümelzunahme sind in Fig. 6 und in Tabelle 7 zusammengestellt. Im Vergleich zur geringen Aggregatvermehrung im konditionierten sauren Staublehm «*Kühstelli*» wurde im neu-

tralierten «Kühstelli»-Boden eine sehr starke Krümelvermehrung erreicht. Vergleichen wir in Fig. 6 die Zunahme der Krümel $> 0,25$ mm nach der Kriliumbehandlung mit dem *neutralisierten*, aber nicht mit Krilium behandelten Boden (0-Versuch), so erhalten wir folgende Mengen:

0-Versuch (neutral)	→ 27,0 % Krümel mit $\varnothing 0,25-6,0$ mm
0,05 % Kri	→ 52,0 % Krümel mit $\varnothing 0,25-6,0$ mm
0,10 % Kri	→ 52,1 % Krümel mit $\varnothing 0,25-6,0$ mm
1,00 % Kri	→ 70,1 % Krümel mit $\varnothing 0,25-6,0$ mm

Bezogen auf den 0-Versuch, erhält man für diese Zahlenwerte folgende Mengenverhältnisse an Krümel 1 : 1,9 : 1,9 : 2,6.

Verglichen mit dem sauren Staublehm «Kühstelli» nahm nach der Neutralisation und nach erfolgter Kriliumbehandlung nicht nur die relative, sondern auch die absolute Krümelmenge mit $\varnothing > 0,25$ mm zu (Fig. 4/6).

Die statistische Prüfung der Ergebnisse ist in Tabelle 7 dargestellt. Die Unterschiede in den anfallenden Krümelmenen sind für die meisten Kriliumkonzentrationen stark gesichert. Eine Ausnahme macht die Krümeldifferenz zwischen der 0,10 %- und 0,05 %-Behandlung. Durch

Tabelle 7

Versuchsboden «Kühstelli» *neutralisiert*: Zusammenstellung der Krümelanalysen konditionierter und unbehandelter Bodenproben

Krümelmenge ($\varnothing 0,25-6,0$ mm) in Prozenten der Einwaage (50 g) bei verschiedenen Kriliumkonzentrationen				
Kriliumkonzentrationen %	1,00	0,10	0,05	0,00
Krümelmenge %	70,0	52,1	52,0	27,0
Streuung, s %	11,6	6,0	4,9	12,8
Anzahl der Einzelwerte, n	3	6	6	4
Prüfung der Durchschnitte nach dem t-Test:				

- t 0,10 = + = wahrscheinlich gesichert
t 0,05 = * = gesichert
t 0,01 = ** = stark gesichert
t $> 0,10$ = \circ = nicht gesichert

die Neutralisation des Staublehmes «*Kühstelli*» konnte die Krümelung stark verbessert werden.

Vergleichen wir die Summationskurven der 0-Versuche des sauren und neutralisierten Staublehms «*Kühstelli*» (Fig. 4 und Fig. 6), dann finden wir in beiden Fällen eine ungefähr gleich große Krümelmenge mit $\varnothing > 0,25$ mm (30,9 % bzw. 27 %). Im untersuchten Durchmesserbereich vermochte das während der Neutralisation an die Tonteilchen des Bodens angereicherte Kalzium keine Zunahme der Krümelmenge zu verursachen.

Wenn bei angenähert gleicher Kornzusammensetzung ein neutral reagierender Boden mit Krilium besser gekrümelt werden kann als ein sauer reagierender Boden, dann muß umgekehrt durch *Ansäuerung* eines Neutralbodens die Aggregation abnehmen.

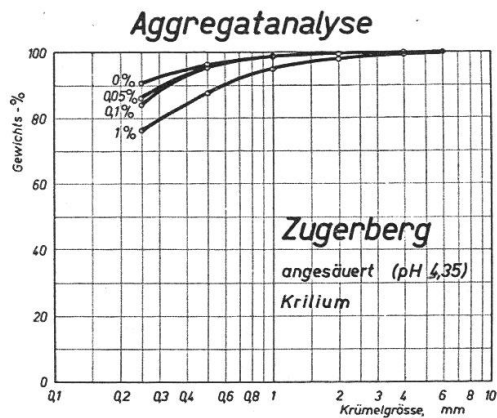
Um diesen Versuch durchzuführen, wäre es sehr zweckmäßig gewesen, den schwach alkalisch reagierenden Staublehm «*Fort 1*» anzusäuern, da er angenähert dieselbe Korngrößenzusammensetzung hat wie der saure (anschließend neutralisierte) Staublehm «*Kühstelli*» (Fig. 1).

Da aber «*Fort 1*» 10 % Karbonat enthält, war die Ansäuerung ohne Veränderung der Korngrößenzusammensetzung nicht möglich; wir wählten an Stelle dieses Bodens den neutral reagierenden aber karbonatfreien staubig-tonigen Lehm «*Zugerberg*».

Mit zirka 1/n Essigsäure wurde der Boden durch Perkolieren angesäuert, mit destilliertem Wasser ausgewaschen und getrocknet. Durch diese Behandlung wurde das pH von 7,15 auf 4,35 herabgesetzt (Tab. 1).

Anschließend wurde der Boden mit Krilium konditioniert und die gebildeten Krümelmenngen nach erfolgter Ansäuerung bestimmt.

Die Ergebnisse sind in Fig. 7 und in Tab. 8 zusammengestellt. Deutlich sehen wir in Fig. 7, wie der saure «*Zugerberg*»-Boden wesentlich weniger Krümel bilden konnte als der neutrale (vgl. Fig. 2). Bei Kriliumkonzentrationen von 0,05, 0,10 und 1,00 % verhalten sich, verglichen mit dem ebenfalls angesäuerten 0-Versuch, die Krümelmenngen wie 1,6 :



Figur 7

Tabelle 8

Versuchsboden «Zugerberg» angesäuert: Zusammenstellung der Krümelanalysen konditionierter und unbehandelter Bodenproben

Krümelmenge (\varnothing 0,25–6,0 mm) in Prozenten der Einwaage (50 g) bei verschiedenen Kriliumkonzentrationen				
Kriliumkonzentrationen %	1,00	0,10	0,05	0,00
Krümelmenge %	23,7	15,7	13,9	9,5
Streuung, s %	17,8	25,2	13,4	43,1
Anzahl der Einzelwerte, n	5	6	6	6
Prüfung der Durchschnitte nach dem t-Test:				

t 0,10 = + = wahrscheinlich gesichert

t 0,05 = * = gesichert

t 0,01 = ** = stark gesichert

t > 0,10 = ○ = nicht gesichert

1,8 : 2,7. Beim neutralen Boden war das analoge Verhältnis 4,1 : 5,8 : 9,5. Die saure Reaktion des «Zugerberg»-Bodens hat die Krümelbildung bei 0,05 % Kri 2,6mal, bei 0,10 % Kri 3,2mal und bei 1,00 % Kri 3,5mal verkleinert.

In Tabelle 8 sind die Krümelmenngen des angesäuerten Bodens «Zugerberg» statistisch geprüft worden:

Die mit 0,05 % und mit 0,10 % Krilium erzeugte Krümelvermehrung ist, verglichen mit dem 0-Versuch, gesichert, jene mit 1,00 % Krilium ist stark gesichert. Dagegen ist die durch die Konzentrationssteigerung von 0,05 auf 0,10 % Krilium verursachte Krümelzunahme nicht gesichert.

Vergleicht man die Krümel-Summationskurve des nicht mit Krilium behandelten *neutralen* mit dem *sauren* Boden «Zugerberg» (0-%-Kurven in Fig. 2 und Fig. 7), dann ist trotz Ansäuerung die Krümelmenge mit $\varnothing > 0,25$ mm in beiden Fällen praktisch dieselbe geblieben (7,8 % bzw. 9,5%).

Durch die Anlagerung von Wasserstoffionen an die Bodenteilchen ist deshalb die Krümelmenge nicht vermindert worden.

Zusammenfassung

Die Erhaltung bzw. Bildung einer für das Pflanzenwachstum günstigen Bodenstruktur ist für bestimmte praktische Fälle ein wichtiges Problem. In unberasteten Aufforstungsflächen des Gebirges wird infolge schlechter Krümelung des Bodens oft Feinerde in erheblichem Ausmaß weggespült. Durch Oberflächenerosion werden Pflanzenwurzeln freigelegt, so daß im Gebirge die ohnehin großen Anwachsschwierigkeiten der Pflanzen zusätzlich erhöht werden. In verdichteten wasserhaltigen Böden ist die Barfrostwirkung auf Keimlinge und Sämlinge in der Regel größer als in gut drainierten lockeren Böden.

Auf Kahlflächen ebener Lagen verdichtet in einem ton- oder staubreichen Boden die Oberfläche unter dem Einfluß des Regens oft so stark, daß Pflanzungen oder Verjüngungen nur mit Mühe aufkommen können. Besonders Pflanzgartenböden der Flyschzone haben öfters derart schlechte physikalische Bedingungen, daß sie während langer Zeit des Jahres vernäßt und schlecht durchlüftet sind.

In vorliegender Arbeit wird ein künstlich hergestelltes Krümelungsmittel der VAMA-Gruppe (Vinylacetat-Maleinsäure Copolymerisat), *Krilium*, auf seine Krümelverbesserung untersucht.

Als Testböden sind verschlammungsbereite saure bzw. neutrale Ton- und Staubböden und ein sandiger Lehm Boden der Versuchsaufforstung in Davos verwendet worden:

«*Zugerberg*», ein karbonatfreier, neutral reagierender, staubig-toniger *Lehm Boden*;

«*Fort 1*», ein karbonathaltiger, neutraler *Staublehm*;

«*Kühstelli*», ein saurer *Staublehm*;

«*Fopp*», ein saurer, *sandiger Lehm* der Versuchsaufforstung in Davos.

Die Untersuchung zeigte, daß neutral reagierende Ton- und Staubböden schon mit Kiliumkonzentrationen von 0,05 und 0,10 % eine starke Zunahme wasserstabiler Krümel mit 0,25—6,00 mm \varnothing erfahren. Die Durchmesserklasse 0,25—6,00 mm enthält Krümel, die einem Boden in der Regel günstige Wasser- und Luftverhältnisse verleihen, die die Oberflächenverkrustung herabsetzen; während feinere Krümel in dieser Hinsicht eher ungünstig wirken. Im verdichtungsbereiten, neutralen, staubig-tonigen Lehm Boden «*Zugerberg*» sind unter den standardisierten Versuchsbedingungen z. B. nach 1-%-Krilium-Behandlung annähernd 10mal mehr Aggregate mit \varnothing 0,25—6,00 mm gebildet worden.

Werden neutral reagierende *Tonböden* sauer gemacht, dann nimmt die Krümelbildung stark ab. Werden sauer reagierende *Staublehme* neutralisiert, dann nimmt die Krümelbildung zu. Die Aggregierungsbereitschaft von Ton- und Staubböden ist von der pH-Reaktion abhängig. Saure Böden bilden wesentlich weniger wasserstabile Krümel als neutrale Böden gleicher mechanischer Zusammensetzung.

Künstlich hergestellte Krümelungsmittel (Konditionierungsmittel) beeinflussen die Struktur des Bodens und wirken in der Regel nicht als Dünger. Gegenüber mikrobiellem Abbau sind die Krümelungsmittel weitgehend resistent (mehrere Jahre).

Infolge des heute noch hohen Preises können Bodenconditionierungsmittel in der Regel nur in speziellen Fällen, z. B. in Pflanzgärten und Aufforstungen, angewendet werden. Wirtschaftlich tragbare Konzentrationen sind 0,05 bis 0,2 % Krilium pro 100 g Boden. Da die Conditionierer nicht in allen Böden wirksam sind, *muß der Boden vor der Behandlung auf seine Eignung untersucht werden.*

Literaturverzeichnis

- Deuel, H.: Organische Derivate von Tonmineralen. Ber. d. Deutschen Keramischen Ges. e. V., Band **31** (1954), Heft 1, S. 1—7.
- Dubach, P., Zweifel, G., Bach, R., und Deuel, H.: Untersuchungen an der Fulvosäurefraktion einiger schweizerischer Böden. Zschr. f. Pfl.Ern., Dgg., Bodenk., **69**, 1—3, 1955.
- Dutt, A. K.: Puddling and other treatments in relation to soil structure and growth. Journ. Am. Soc. Agron., **40**, 4, April 1948.
- Martin, W. P.: Status report on soil conditioning chemicals. I., SSSA-Proc., **17**, 1, 1953.
- Martin, J. P., und Aldrich, D. G.: Influence of soil exchangeable cation ratios on the aggregating effects of natural and synthetic soil conditioners. SSSA-Proc., **19**, 1, 1955.
- Martin, J. P., Martin, W. P., Page, J. B., Rancy, W. A., und De Ment, J. D.: Soil Aggregation. In «Advances of Agronomy», **VII**, 1955.
- Mowry, D. T., und Hedrick, R. M.: U. S. Patent 2 625 529 (1953).
- Mowry, D. T., und Hedrick, R. M.: U. S. Patent 2 625 471 (1953).
- Richard, F.: Über Fragen des Wasserhaushaltes im Boden. SZF, 1955, 4.
- Richard, F.: Physikalische Bodeneigenschaften natürlich gelagerter Rißmoräneböden unter verschiedener Bestockung. Schweiz. Zschr. f. Forstw., Nr. 4/5, 1953.

Résumé

L'amélioration artificielle de la structure des sols argileux et poudreux

Le maintien et la création d'une structure du sol favorable au développement des végétaux sont, dans certains cas pratiques, des tâches importantes. Par suite d'une granulation insuffisante du sol, la terre fine est souvent entraînée dans une large mesure chez les surfaces de boisement de la montagne qui ne portent pas de gazon. L'érosion superficielle dénude les racines des plantes, augmentant ainsi la difficulté qu'ont les végétaux, en haute altitude, à se bien établir. Dans des sols densifiés aqueux, l'effet du déchaussement chez les jeunes plants et semis est dans la règle plus grave que dans les sols meubles bien drainés.

Dans les surfaces dénudées des plateaux, la surface d'un sol riche en argile ou en poussière se densifie souvent d'une manière telle, sous l'effet de la pluie, que des plantations ou recrûs ont peine à y réussir. Le sol des pépinières de la zone du flysch, en particulier, est souvent dans une condition physique si déplorable qu'il reste pendant une grande partie de l'année aqueux et mal aéré.

L'effet favorable sur la granulation d'un produit synthétique du groupe VAMA, le «*Krilium*», est examiné dans ce mémoire.

Des sols argileux et poudreux — acides, resp. neutres — prêts à passer à l'état vaseux, et un lehm sablonneux du boisement d'essai de Davos ont servi de sols-tests:

- «*Zugerberg*», un *lehm* sans carbonate, neutre, poudreux-argileux
- «*Fort 1*», un *lehm* *poudreux* carbonaté, neutre
- «*Kühstelli*», un *lehm* *poudreux* acide
- «*Fopp*», un *lehm* *sablonneux* acide, du boisement d'essai de Davos.

Les recherches montrent que des sols argileux et poudreux neutres accusent déjà une forte augmentation de granules stables (sous l'action de l'eau courante) de 0,25 à 6 mm de diamètre lorsque le «*Krilium*» est appliqué dans des concentrations de 0,05 à 0,10 %. La classe de diamètre 0,25 à 6 mm comprend des granules qui, dans la règle, quant à l'eau et à l'air, mettent le sol en bonne condition, et diminuent l'encroûtement superficiel alors que des granules moindres agissent plutôt défavorablement sous ce rapport. Dans le lehm poudreux-argileux du «*Zugerberg*», qui est neutre et prêt à se densifier, par exemple, le traitement au «*Krilium*» à 1 % a provoqué la formation, dans des conditions d'essai standardisées, d'environ dix fois plus d'agréats de 0,25 à 6 mm de diamètre.

Lorsque des *sols argileux* neutres sont rendus acides, la formation de granules diminue fortement. Lorsque des *lehms poudreux* acides sont neutralisés, la formation de granules augmente. La disposition à former des agrégats des sols argileux et poudreux dépend du pH. Des sols acides forment beaucoup moins de granules stables (sous l'action de l'eau courante) que des sols neutres de même composition mécanique.

Les produits artificiels qui activent la granulation (moyens de «conditionnement») agissent sur la structure du sol, non comme engrais, dans la règle. Ils résistent dans une très forte mesure à la décomposition par les microbes (plusieurs années).

Comme les prix des produits de «conditionnement du sol» sont pour l'heure encore élevés, on ne peut raisonnablement se servir de ce moyen que dans des cas spéciaux, par exemple dans des pépinières ou des boisements. Les concentrations de 0,05 à 0,2 % de «*Krilium*» par 100 g de terre sont économiquement adoptables. Comme ces produits n'agissent pas dans tous les sols, *le sol doit être examiné avant tout traitement, afin qu'on détermine s'il est propre à être «conditionné»*.

(Trad.: E. Badoux)