

Die Einwirkung verschiedener Salzlösungen auf die Durchlässigkeit des Bodens.

Von Dr. D. J. Hissink, Direktor der Kgl. Holländischen Landwirtschaftlichen Versuchsstation in Wageningen (Holland).

Folgender Aufsatz erschien im Jahre 1907 zur Erklärung der Versuche, welche zu der im September 1907 im Haag abgehaltenen Ausstellung eingesandt worden waren. Eine Mitteilung über diese Untersuchungen war bereits erfolgt in der Versammlung von „Het Genootschap ter bevordering der Natuur-, Genees- en Heelkunde te Amsterdam“, Sektion für Naturwissenschaften, am Freitag, den 14. Dezember 1906, während dieselben im Oktober 1907 im „Chemisch Weekblad“ in der holländischen Sprache veröffentlicht wurden. Separatabdrücke der deutschen Mitteilung sind später einigen Herren Kollegen zugesandt worden.

Der Umstand, daß meine Mitteilung in letzterer Zeit in einigen Arbeiten zitiert worden ist, hat mich veranlaßt, die Redaktion der Intern. Mitt. für Bodenkunde zu bitten, dieselbe in dieser Zeitschrift zu veröffentlichen. Obgleich sich meine Ansichten in bezug auf einige Punkte seit 1907 einigermaßen anders gestaltet haben, so habe ich mich dennoch entschlossen, den Aufsatz in der ursprünglichen Form zu lassen.

Wageningen (Holland), den 28. Januar 1916.

Dr. D. J. Hissink.

Es ist eine in der Praxis allgemein bekannte Tatsache, daß ein Boden durch eine verhältnismäßig geringe Zufuhr wasserlöslicher Salze verkrustet werden kann; man denke hierbei in erster Reihe an die bisweilen schädliche Wirkung einer übermäßigen Düngung mit Chilisalpeter.

Dieser nachteiligen Wirkung des Chilisalpeters steht die ebenso bekannte günstige Wirkung von Kalksalzen gegenüber, die gerade zum Zweck haben, die harten Tonböden lockerer, krümeliger zu machen, aus der Einzelkornstruktur in die Krümelstruktur überzuführen.

Manche Forscher 1) glauben diese Erscheinung der guten Wirkung einer Kalkdüngung mit der Tatsache in Verbindung bringen zu müssen, daß in Wasser suspendierte Tonteilchen durch Lösungen von Salzen, Säuren und Basen ausgeflockt werden; eben auf dieser Erscheinung beruht nach ihnen die Möglichkeit, die schweren Lehm- und Tonböden, die sich in Einzelkornstruktur befinden und dadurch undurchlässig sind, durch eine Kalkdüngung in die Krümelstruktur überzuführen.

Man weiß daher wohl, daß nicht nur Kalksalze, sondern auch z. B. eine Kochsalzlösung Tonsuspensionen ausflocken, und Kochsalz also in dieser Hinsicht wie Kalk wirkt; aber man sucht die Ursache für das Dichtschlämmen des Bodens (z. B. nach einer Salzwasserüberschwenkung) in dem Ersatz des Salzwassers durch Süßwasser 2). Das Kochsalz — und die anderen löslichen Salze — werden ziemlich plötzlich durch das Regenwasser weggespült, im Gegensatz zu den unlöslichen oder schwer wasserlöslichen Kalksalzen.

Mitscherlich lehnt in seinem Buche 3) „Bodenkunde“ diese Erklärung ab und zwar aus folgenden Gründen (Seite 151).

Unser Kulturboden befindet sich in ganz anderem Zustand als in Wasser suspendierter Ton, und der Ausflockungsprozeß kann daher durch eine Salzdüngung nicht hervorgerufen werden. Der Kulturboden besitzt nämlich schon die Krümelstruktur, und wenn das nicht der Fall ist, so wird eine Salzlösung dieselbe wohl nie herbeiführen können, weil die einzelnen Bodenteilchen nicht so gegeneinander verschiebbar sind, wie bei einer Tonsuspension.

Die Wirkung wasserlöslicher Salze auf den Boden stellt Mitscherlich sich dann vor wie folgt (S. 148).

Wenn das Wasser in den Boden eindringt, gelangen auch die im Wasser gelösten Salze in den Boden. Da das Wasser in nahezu alle Poren dringt, wird dies in gleicher Weise mit den in Lösung befindlichen Salzteilchen der Fall sein (Unterschied von unlöslichen Salzen). Wird der Boden nun trocken, so lagern sich diese Salzteilchen zwischen die Bodenteilchen ein. Die Ko-

härenz der Bodenteilchen wird, wenigstens zum Teil, aufgehoben; statt dessen findet eine Adhärenz der Salz- und Bodenteilchen statt. Bei Wasserzufuhr (z. B. Regen) lösen sich diese Salzteilchen wieder, und die Kohärenz der Bodenteilchen (die gerade die Krümelstruktur bewirkt) ist also verringert.

Praktisch läuft dies daher auf das Folgende hinaus. Wenn auf einen mit einem wasserlöslichen Salz gedüngten Boden Regen fällt, werden die Krümel schneller zerstört werden, und wird der Boden daher rascher in die Einzelkornstruktur übergehen.

Die günstige Wirkung wasserunlöslicher und schwer löslicher Salze (wie z. B. der Kalkverbindungen) auf den Boden erklärt Mitscherlich (S. 152) aus dem Umstande, daß die Kalkteilchen sich nicht gleichmäßig zwischen den Bodenteilchen verteilen; die Kohärenz der Bodenteilchen wird daher nicht so gleichmäßig aufgehoben, wie dies bei einer Düngung mit einem wasserlöslichen Salz (Kochsalz, Chilisalpeter) der Fall ist. Die Bodenkrümel werden nun gerade an denjenigen Stellen, wo sich Kalksalze befinden, leichter bersten, was zur Folge hat, daß größere Bodenkrümel leichter in kleinere zerfallen, als wenn der Boden nicht mit Kalk gedüngt wurde; diese kleineren Bodenkrümel bleiben jedoch als solche erhalten.

Der große Unterschied zwischen der Wirkung von Kochsalz, Chilisalpeter u. dergl. einerseits und Kalk andererseits auf den physischen Zustand des Bodens ist daher allein zu suchen in dem Unterschied der Löslichkeit dieser Stoffe.

In dieser Hinsicht stimmen also Mitscherlich und Mayer überein 4).

Im Sommer 1906 habe ich zahlreiche Versuche angestellt, um den Einfluß verschiedener Salzlösungen auf die Durchlässigkeit des Bodens zu untersuchen.

Die Anordnung dieser Versuche wird hinter dem Text im Bilde dargestellt.

In einem Lampenzylinder ABC (24 cm lang und 4,5 cm Mittellinie), der von unten durch ein Stückchen Leinen abgeschlossen ist, wird zuerst eine Schicht reiner Sand (z) gebracht (50 g) und darauf 200 g des durch ein Sieb von 1 mm gesiebten Bodens (BC). Um eine gleichmäßige Füllung zu erzielen, geschieht das Einfüllen des Bodens löffelweise, unter fortwährendem, aber leisem Klopfen. Die anzuwendenden Flüssigkeiten befinden sich in breiten

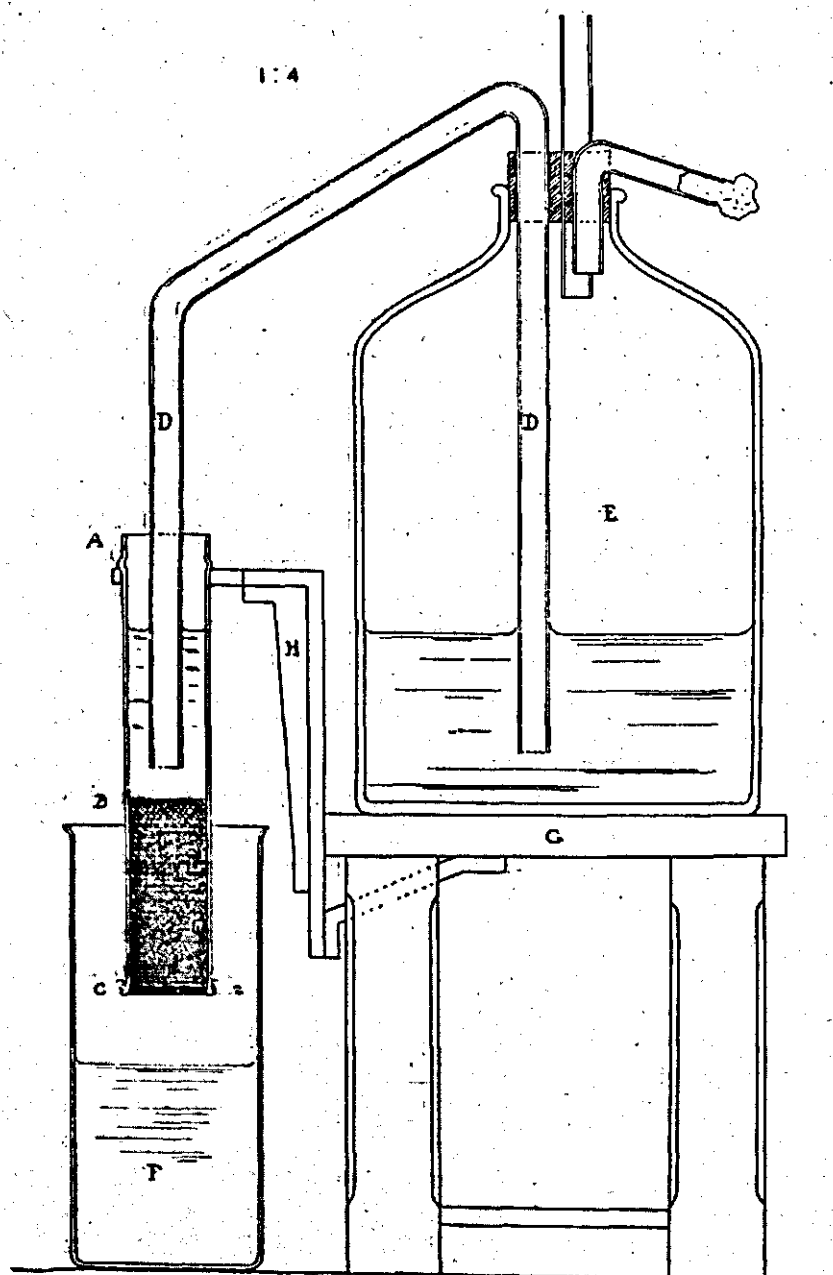


Fig. 1.

Flaschen (E) und stehen durch einen Heber (D) mit dem Zylinder in Verbindung. Mittels eines Röhrchens tritt die Luft in die Flasche, während eine zweite Röhre zur Nachfüllung dient. Die Filtrate werden in Glasbechern (F) aufgefangen und zu bestimmten Zeiten gewogen. Der Zylinder hängt in einem Ring, der durch einen Halter (H) an dem Tisch, worauf die Flasche steht, befestigt ist. Berechnet ist die Menge filtrierter Flüssigkeit in mg per Minute (D).

Nach einigen Tagen wird die Lösung durch destilliertes Wasser ersetzt und D aufs neue bestimmt.

Die Ergebnisse sind in Figur 2 graphisch dargestellt. Auf der T-Achse ist die Zahl der Tage, die der Versuch dauerte, angegeben (ein Tag = 4 mm); auf der D-Achse die Zahl der Milligramme Flüssigkeit, die in der Minute durchtropfte (5 mg = 1 mm).

Die Lösungen wurden zu verschiedenen Zeiten durch Wasser ersetzt und zwar: Kaliumchlorid nach 5 Tagen; Natriumchlorid nach 19 Tagen; Ammoniumchlorid nach 17 Tagen und Kalziumchlorid nach 22 Tagen. Um jedoch die Zeichnung nicht unübersichtlich werden zu lassen, ist der Zeitpunkt, an welchem destilliertes Wasser zugeworfen wurde, für alle Versuche gleich angenommen worden (punktirte Linie). Die Stärke aller Lösungen betrug 0,171 N, was einer 1% NaCl-Lösung entspricht.

Wenn nun in der Tat Lösungen von Elektrolyten einen günstigen Einfluß auf die Durchlässigkeit des Bodens ausüben, sollte man erwarten, daß während des ersten Teils der Untersuchung die Durchlässigkeit in Bezug auf das destillierte Wasser zugenommen habe. Vielleicht, daß der Kalk als zweiwertiges Ion dabei eine stärkere Wirkung ausübte, als das Na, K oder NH_4 -Ion, aber alle hätten dann doch bezüglich des destillierten Wassers steigende Durchlässigkeit ergeben müssen. Bei dem Ersatz der Salzlösungen durch Süßwasser hätte, da nur leicht lösliche Salze angewendet wurden, überall Dichtschlammung eintreten müssen.

Nach Mitscherlich dagegen hätten sich während des ersten Teils der Untersuchung keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Serien (H_2O , NaCl, KCl, NH_4Cl und CaCl_2) zeigen dürfen; bei Ersatz der Lösung durch Süßwasser erwartet jedoch auch Mitscherlich Dichtschlammung, da CaCl_2 kein unlösliches oder schwer lösliches Kalksalz ist.

Die Ergebnisse sind jedoch ganz anders¹⁾.

Besprechung der Ergebnisse.

I. Die Linie H_2O (Wasser).

Die Durchlässigkeit nimmt während der ersten Tage schnell ab, um dann verhältnismäßig konstant zu bleiben. Diese starke Verringerung von D ist ohne Zweifel im wesentlichen dem Dichtschlamm des Bodens zuzuschreiben. Möglicherweise übt auch die langsame Entfernung der aufgelösten Salze einigen Einfluß aus. Bei den zahlreichen, mit destilliertem Wasser gemachten Versuchen zeigte die Linie stets nach einiger Zeit einen steigenden Teil. Von einem Versuch zur Erklärung dieser Erscheinung muß hier abgesehen werden.

II. Die Linie $NaCl$ (Kochsalz).

Die Durchlässigkeit nimmt, ebenso wie bei I (H_2O) ab; anfangs wiederum sehr stark, dann allmählich. Einen steigenden Teil zeigt diese Linie nicht.

Die Filtrate sind etwas gelber gefärbt, als bei I (H_2O), aber vollkommen klar.

Bei Ersatz des Kochsalzes durch destilliertes Wasser, wird D innerhalb 2 Tagen praktisch gleich null.

III. Die Linie KCl (Kaliumchlorid).

Die Durchlässigkeit ist größer als bei I (H_2O). Bei Ersatz der Lösung durch destilliertes Wasser, findet keine so vollständige Dichtschlammung statt wie bei II ($NaCl$); man bekommt noch Tage lang etwas Filtrat, das trübe und dunkelbraun gefärbt ist.

IV. Die Linie NH_4Cl (Ammoniumchlorid).

Anfänglich ist die Durchlässigkeit ungefähr ebenso groß wie bei Wasser und Kochsalz, nimmt jedoch in den ersten Tagen stark zu, um danach zu sinken. Bei Ersatz der Lösung durch destilliertes Wasser findet ebensowenig wie bei III (KCl) vollständige Dichtschlammung statt; noch Tage lang bekommt man ein im Anfang schmutziges, gelblichbraun, später dunkelbraun gefärbtes

¹⁾ Um einen Eindruck von der Größe des möglichen Fehlers zu gewinnen, sind alle Versuche stets doppelt gemacht und bisweilen einige Male wiederholt worden. Bis auf eine einzige Ausnahme würden die Unterschiede zwischen den gleichen Versuchsreihen in der graphischen Darstellung so gut wie nicht hervortreten.

Filtrat. In der graphischen Darstellung fallen diese Teile der Linien III und IV zusammen.

V. Die Linie CaCl_2 (Kalziumchlorid).

Die Durchlässigkeit nimmt sehr stark zu; die D-Linie steigt in den ersten Tagen außerordentlich, um darauf ziemlich konstant zu bleiben, wenn auch zum Schluß ein langsames Sinken wahrzunehmen ist²⁾.

Die Filtrate sind schon sehr schnell vollkommen klar und nahezu farblos und bleiben dies während des ganzen Versuchs.

Bei Ersatz der Lösung durch Süßwasser nimmt D stark ab, um jedoch verhältnismäßig schnell nahezu konstant zu werden. Nach 75 Tagen ist D auf ungefähr 40 mg. per Minute gesunken (dieser Punkt kommt auf der graphischen Darstellung nicht mehr vor).

Es hieße den Rahmen dieses Aufsatzes überschreiten, wenn ich hier eine Erklärung der beobachteten Erscheinungen geben wollte. Ich hoffe dies später tun zu können, wenn die noch fort-dauernden Versuche weiteres ergeben haben.

Für jetzt muß ich mich damit begnügen, im allgemeinen mit-zuteilen, zu welchen Schlüssen diese Erscheinungen Anlaß geben, besonders in Verbindung mit der Auffassung anderer Forscher.

Es muß ohne Zweifel einiges Aufsehen erregen, daß von nahe-zu allen angeführten Forschern die Einwirkung verschiedener Salzlösungen auf die Durchlässigkeit des Bodens, vom physi-kalischen Gesichtspunkt aus betrachtet wird, während doch bereits seit Way 5) bekannt ist, daß dabei tief eingreifende chemische Veränderungen eintreten können. Die Wenigen, die bis vor kurzer Zeit auch chemische Veränderungen angenommen haben zur Er-klärung der Verkrustung des Bodens nach Zufuhr gewisser Düng-stoffe, glauben die Ursache für dieselbe in dem Auftreten von kohlensaurer Soda suchen zu müssen.

Krüger 6) erklärt die nachteilige physische Wirkung einer übermäßigen Chilisalpeterdüngung folgendermaßen: Manche

²⁾ Die Filtrate wurden regelmäßig um 9 Uhr morgens und gewöhnlich auch um 4 Uhr nachmittags gewogen. Infolge des Temperaturunterschieds zwischen Tag und Nacht, zeigt sich ein Unterschied in D. Die Linie läuft zickzackförmig. Diese Erscheinung wurde bei allen Versuchen beobachtet. Auch bei den Linien III und IV. Sie steht im Zusammenhang mit der Vis-kosität.

Pflanzen nehmen das Natrium des Natriumnitrats (Chilisalpeter) nicht auf, wohl aber den Stickstoff.

Das Natrium geht nun durch die Kohlensäure, die in guter Ackererde überall vorhanden ist, in kohlensaure Soda über, die das Dichtschlamm herbeiführt. Diese Erklärung Krügers ist jedoch bei meinen Versuchen ausgeschlossen.

Robert Sachsse und Arthur Becker 1) u. a. sind wieder der Meinung, daß kohlensaure Soda durch direkte Einwirkung von Natrium auf den kohlensauen Kalk des Bodens gebildet wird.

Dies erscheint mir nun nicht wahrscheinlich. Eine vorläufig angestellte Untersuchung wenigstens hat gelehrt, daß sogar nach wochenlanger Einwirkung von NaCl- und KCl-Lösungen auf CaCO_3 , nur sehr geringe Mengen Ca in Lösung gehen.

Außerdem spricht gegen diese Annahme folgendes: Die graphisch dargestellten Versuche wurden mit sehr kalkreichem Boden (10% CaCO_3) unternommen; die Ergebnisse der Untersuchungen mit kalkarmen Boden (0,1 % CaCO_3 ; assimilierbarer Kalk Meyer 0,4 %) sind nicht mitgeteilt, weil sie genau dieselben Resultate liefern, wie die mit dem kalkreichen Boden. Die D-Linien fallen für beide Böden nahezu zusammen. Es ist aber nicht das allein. Die Ca-Menge, die resp. gegen Na, K und NH_4 ausgetauscht wird, ist für den kalkreichen und für den kalkarmen Boden nahezu gleich.

Aus diesen Gründen ist, wie ich glaube, wenigstens bei den hier genannten Versuchen nicht an das Auftreten kohlensaurer Soda zu denken.

Viel eher annehmen scheint mir, daß die Erklärung, die Gans 7) für die Verkrustung des Bodens bei einer Chilisalpeterdüngung gibt, auch hier gültig ist.

G. J. Mulder 8) hat zuerst hervorgehoben, daß als wichtiger Bestandteil der Ackererde zu betrachten sind die gelatinösen Stoffe, d. h. die schon durch Salzsäure leicht zersetzbaren wasserhaltigen Doppelsilikate, denen er den Namen „Zeolithe“ gab. Nach Gans 9) war jedoch der analytische Nachweis für die Anwesenheit zeolithischen Materials im Boden noch nicht erbracht. Er glaubt nun diesen Nachweis unlängst geführt zu haben; wenigstens konstatiert er gleiche Zusammensetzung und gleiches Verhalten in chemischer Beziehung bei den zeolithischen Verbindungen des Bodens und bei den kristallisierten Zeolithen, und

zwar in solchem Grade, daß man zu der Annahme gezwungen wird, die sich austauschenden Verbindungen des Bodens beständen aus Zeolithen³⁾).

Bei dieser Untersuchung von Gans ist nun weiter ein eigentümlicher Unterschied hervorgetreten zwischen den Alkalizeolithen und den Erdalkalizeolithen, m. a. W. zwischen den Aluminatsilikaten von Na, K, NH₄ und von Ca, Sr, Ba, Mg. Während die letzteren locker und leicht durchlässig sind, bilden die ersteren eine zähe, schleimige, schwer durchlässige Masse.

Gans stellt sich die Sache nun so vor. Bei Düngung mit K- und Na-Salzen entstehen aus den kalkhaltigen zeolithischen Verbindungen des Bodens die zähen, schwer durchlässigen K- und Na-Aluminatsilikate; wird die Menge dieser letzteren verhältnismäßig groß bei einer übermäßigen Düngung, z. B. mit Chilisalpeter, so verschmieren sie den Boden.

Diese von Gans gefundenen Tatsachen können sicherlich von Nutzen sein, wenn man für das abweichende Verhalten des Bodens, hinsichtlich der verschiedenen Salzlösungen, worüber oben referiert wurde, zu einer Erklärung gelangen will.

Wohl bleiben noch verschiedene Fragen offen, u. a. diese, warum die Kochsalz-Linie direkt sinkt und die Linien III und IV (Kaliumchlorid und Ammoniumchlorid) nicht, und mehr derartige.

Es muß noch hinzugefügt werden, daß auch die humusartigen Stoffe ohne Zweifel bei dem Prozeß eine Rolle spielen.

Wie dem nun auch sei, die von mir erzielten Resultate zeigen, daß die bisher angenommenen Erklärungen nicht stichhaltig sind. Wohl werden die Ausflockungserscheinungen einigen Einfluß ausüben⁴⁾ — in diesem Punkte stimme ich der Ansicht Mitscherlichs nicht bei — aber die Erscheinung des Dichtschlammens des Bodens durch die Einwirkung von Salzlösungen ist nicht lediglich physikalischer Art; im Gegenteil, es sind vielleicht gerade chemische Prozesse, die dabei die Hauptrolle spielen.

Bei einem so zusammengesetzten Medium, wie es der Boden ist, wird die weitere Untersuchung auf sehr viele Schwierigkeiten

³⁾ Wem dieser Beweis nicht zwingend erscheint, der lese: De scheikunde der bouwbare aarde, door G. J. Mulder, 1860, Tweede deel, S. 50—52.

⁴⁾ Ich leite dies u. a. aus der Tatsache ab, daß die Filtrate von Kalk stets klar und die von Wasser opalisierend sind.

stoßen. Diese Untersuchung wird zu zeigen haben, welchen Einfluß die verschiedenen Salze auf den physikalischen und chemischen Zustand des Bodens ausüben; und das letztere nicht nur mit Bezug auf die Veränderungen, denen das zeolithische Material unterworfen ist, sondern auch hinsichtlich der Rolle, die die humusartigen Stoffe dabei spielen. Diese Untersuchung, die in Goes angefangen wurde, wird nunmehr an der Reichsversuchsstation zu Wageningen fortgesetzt.

Wageningen, Juni 1907.

Literatur-Verzeichnis.

1. Der Einfluß des Kalkes, der Salze, sowie einiger Säuren auf die Flockung des Tones, von Robert Sachsse und Arthur Becker; die landw. Versuchsstationen, 43, 15.
De verbetering van stijve kleigronden door gaskalk, von Dr. A. F. Holemann.
Lehrbuch der Agrikulturchemie von Dr. Adolf Mayer, II, Die Bodenkunde (Heidelberg 1901), 160—161.
Einfluß der Düngung und des Pflanzenwuchses auf Bodenbeschaffenheit und Bodenerschöpfung von Prof. Dr. W. Krüger; Landw. Jahrbücher, 1905, 34, 783—804.
 2. Mayer, ebenda, 160.
 3. Mitscherlich, Bodenkunde für Land- und Forstwirte, 1905.
 4. Mayer, ebenda, 161.
 5. On the power of soils to absorb manure, von Thomas Way; Journal of the royal agricultural society of England, n°. XXV, p. 313.
 6. Krüger, ebenda, 803.
 7. Zeolithe und ähnliche Verbindungen, ihre Konstitution und Bedeutung für Technik und Landwirtschaft, von Herrn R. Gans in Berlin, 1905.
Von demselben Autor ist erschienen:
Die Bedeutung der Nährstoffanalyse in agronomischer und geognostischer Hinsicht, 1902; und Konstitution der Zeolithe, ihre Herstellung und technische Verwendung, 1906.
Diese Aufsätze erschienen im Jahrbuch der Königl. Preuß. Geologischen Landesanstalt und Bergakademie und sind einzeln käuflich.
 8. O. J. Mulder, De Scheikunde der bouwbare aarde, 1860, tweede deel, 65—67.
 9. Gans, ebenda, 1905, 181 und 197.
 10. Ueber das Absorptionsvermögen humoser Medien. Von Alfred König; Landw. Jahrbücher, 1882, 11, 56.
-

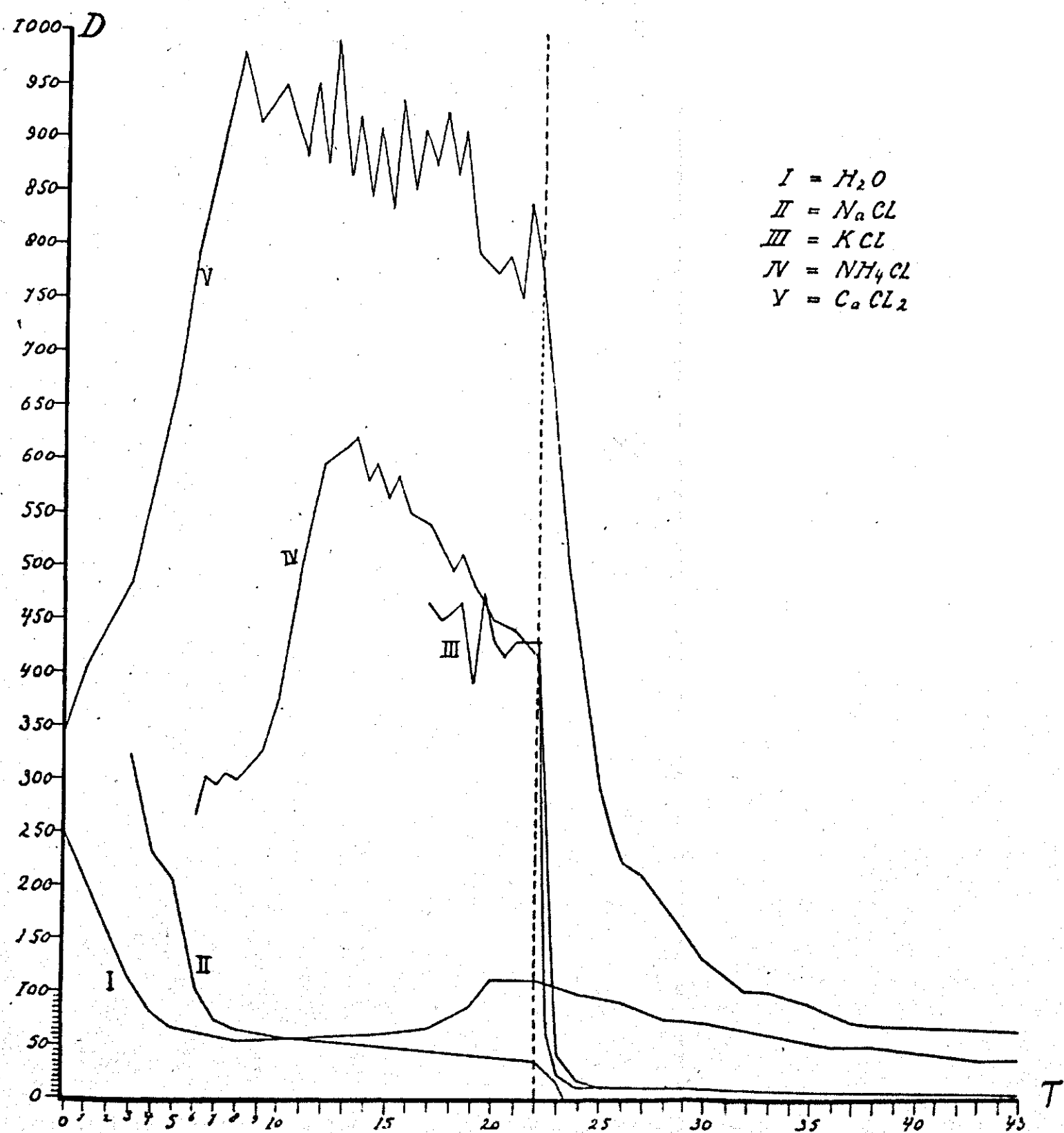


Fig. 2.