

zum Trotz und alle auftretenden Schwierigkeiten meisternd, zu einer brauchbaren Arbeitsmethode ausgebaut. Nach den umfangreichen Untersuchungen des „Forschungsdienstes“ ist die *Neubauer*-Methode jetzt geeignet, mit verhältnismäßig geringem Aufwand das Düngerbedürfnis der Ackerböden mit für die Praxis ausreichender Genauigkeit im voraus zu beurteilen.

Kennzeichnend für die wissenschaftliche Arbeitsweise von *Neubauer* ist sein Bestreben, der Lösung wissenschaftlicher Fragen die Ausarbeitung brauchbarer Analysen-

methoden voranzuzulassen. Dieser grundsätzlichen Einstellung entsprechen seine zahlreichen analytischen Arbeiten, von denen hier nur genannt seien: „Die Bestimmung der Phosphorsäure, des Kaliums, Natriums, Calciums, Magnesiums in salzsauren Bodenausüngen“ sowie eine „Zusammenfassung der Untersuchungsmethoden der Düngemittel“ im Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden von *Abderhalden*⁶⁾ unter dem Titel „Die Analyse der Nährstoffe der Pflanzen“. *Trénel*. [A. 80.]

⁶⁾ Abt. IX, Teil 3, Heft 3.

Der Bau der Sorptionskomplexe deutscher Bodentypen*)

Von Dr. habil. W. LAATSCH

Aus dem Geologischen Institut
der Universität Halle

Eingeg. 11. Juni 1938

Inhalt: Einleitung. — Elektrodialysierbare Basen. — Kationensorptionskapazität. — Amphotere Eigenschaften der Sorptionskomplexe. — Basensättigungsverhältnis. — Die Verwitterungsgeschwindigkeit im ungesättigten Zustand. — Schluß.

Einleitung.

Im Mittelpunkt der chemisch-bodenkundlichen Forschung steht die Frage nach der Struktur und den Entstehungsbedingungen der Sorptionskomplexe, d. h. derjenigen Bodenpartikeln, welche an elektrostatischen Restfeldern austauschbare Ionen tragen und deshalb auch die Fähigkeit der Wasseranlagerung besitzen. Vermöge dieser Eigenschaften sind die Sorptionskomplexe Wasser- und Nährstoffspeicher des Bodens und Regulatoren der Pflanzenernährung. Ihre ausschlaggebende Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit liegt damit auf der Hand.

Ionentauschende Eigenschaften besitzen im wesentlichen nur die meisten Bestandteile der Tonfraktion der Korngrößenklasse mit Teilchendurchmessern unter 2μ . In dieser Korngruppe befinden sich neben verschiedenartigen Tonmineralien gewöhnlich auch ionentauschende Humusteilchen, so daß man es stets mit einem Stoffgemenge zu tun hat. Wir kennen nun kein Trennungsverfahren, welches die Isolierung einer bestimmten Mineralart der Tonfraktion oder auch nur die völlige Sonderung der organischen Bodenbestandteile gestattet und sind deshalb nicht in der Lage, bei Bodenuntersuchungen mit Reinsubstanzen zu arbeiten. Um gut reproduzierbare Werte zu erhalten, versucht man deshalb häufig, die Austauschgesetze des Bodens an bekannten Modellsubstanzen, z. B. dem Permutit oder neuerdings an natürlichen reinen Tonen zu studieren. So aufschlußreich diese Untersuchungen bisher auch waren, sind wir doch bei weitem noch nicht in der Lage, die Unterschiede im Bau und Verhalten der Sorptionskomplexe der verschiedenen Bodentypen genügend zu erklären. Immerhin haben röntgenographische Analysen^{1, 2, 3, 4, 5)} unsere Kenntnisse über die Struktur der Tonmineralien in den letzten Jahren erheblich erweitert.

Während man den Ton früher im wesentlichen als ein Gemenge aus nichtkristallinen Kieselsäure-Tonerde- und Kieselsäure-Eisen-Tonerdegelen ansah, wissen wir heute, daß sich die Tonfraktionen der Böden vor allem aus mehreren kristallinen Sekundärsilicaten zusammen-

setzen, die den Glimmern ähnliche Kristallstrukturen besitzen. Unter den Sekundärsilicaten lassen sich zwei Strukturtypen unterscheiden: Mineralien mit eindimensional quellendem Schichtgitter — zu ihnen gehört der Montmorillonit — und Mineralien mit starrem Schichtgitter, z. B. der Kaolinit und der Kaliglimmer. Letzterer tritt in der Tonfraktion nicht nur als Primärsilicat, sondern höchstwahrscheinlich auch als Verwitterungsprodukt des Kalifeldspats auf [*Gschwind* und *Niggli*⁶⁾, *O. Tamm*⁷⁾].

In der verschiedenen Quellfähigkeit der Tonmineralien zeigt sich die Bedeutung des Dispersitätsgrades, in diesem Falle der Innendispersitäten kolloider Teilchen, für die Bodendynamik. Die einzelnen Schichtpakete des Montmorillonitkristalls können sich nämlich bei der Wasseraufnahme nach *Hofmann*, *Endell* und *Wilm*⁸⁾ so weit voneinander entfernen, daß Kationen in die Zwischenräume eindringen und andere, dort elektrostatisch gebundene Kationen verdrängen. Auch die *Wiegnersche Schule*⁹⁾ hat diesen intermicellaren Kationenumtausch des Montmorillonits durch Ionenumtauschversuche nachgewiesen. Bei den nicht quellbaren Tonmineralien bleibt der Ionenumtausch dagegen auf die äußeren Oberflächen beschränkt, er ist rein extramellar. So ist es erklärlich, daß 100 g Montmorillonit nach *Jakob*, *Hofmann*, *Loofmann* und *Maegdefrau*⁴⁾ rund 100 mval Kationen umtauschen können, während die Kationensorptionskapazität von 100 g Kaolinit kaum 10 mval beträgt. Auch das Wasseranlagerungsvermögen ist bei den quellbaren Tonmineralien natürlich beträchtlich größer als bei den Sekundärsilicaten mit starrem Gitter.

In humusarmen Böden ergaben die röntgenographischen Analysen bisher gute Parallelen zwischen dem Kationenaustauschvermögen der Tonfraktionen und den röntgenographisch geschätzten Mengen der einzelnen Tonmineralien. Je humushaltiger der Boden aber ist, um so größer wird der Anteil der organischen Sorptionskomplexe an der gesamten Kationenumtauschkapazität des Bodens. Da wir den Humus bisher noch nicht in einzelne, chemisch gut definierte Stoffe mit bekannten Austauschigenschaften zerlegen können, müssen wir uns zunächst bei jeder Bodenbeurteilung mit einer summarischen Charakterisierung der Ionenumtauschigenschaften des ganzen Bodenmaterials begnügen und aus diesen Summeneffekten auf das Vorherrschen bestimmter Austauschträger schließen. Die Agrarkulturchemie legt bei solchen Untersuchungen den größten Wert auf die Menge der einzelnen sorbierten und

*) Vorgetragen in der Fachgruppe für anorganische Chemie auf der 51. Hauptversammlung des VDCh in Bayreuth am 11. Juni 1938.

¹⁾ S. B. Hendricks u. W. H. Fry, Soil Sci. 29, 457 [1930].

²⁾ W. P. Kelley, W. H. Dore u. S. M. Brown, ebenda 31, 25 [1931]; W. P. Kelley u. H. Jenny, ebenda 41, 367 [1936].

³⁾ U. Hofmann, K. Endell u. D. Wilm, diese Ztschr. 47, 539 [1934].

⁴⁾ A. Jacob, U. Hofmann, H. Loofmann u. E. Maegdefrau, Beihefte zur Ztschr. des VDCh. Nr. 21, 11 [1935]; Auszug diese Ztschr. 48, 584 [1935].

⁵⁾ C. W. Correns u. F. K. Schlünz, Z. Pflanzenernährg. Düng. Bodenkunde Abt. A 44, 316 [1936]; W. v. Engelhardt, Chem. d. Erde 11, 17 [1937].

⁶⁾ M. Gschwind u. P. Niggli: Untersuchungen über die Gesteinsverwitterung in der Schweiz, Bern 1931.

⁷⁾ O. Tamm, Ark. Kem. Mineral. Geol. Ser. A 11, Nr. 14 [1934].

⁸⁾ G. Wiegner, Trans. Third Int. Congr. of Soil Sci. 3, 5 [1936].

für die Pflanzenernährung wichtigen Ionenarten und auf deren Haftfestigkeit im Sorptionskomplex. Demgegenüber sucht die allgemeine Bodenkunde vor allem nach Methoden, welche einen Einblick in die Komplexstruktur und in die Bildungs- und Umformungsbedingungen der verschiedenen mineralischen und organischen Ionenträger gestatten. Welche Verfahren uns derartige Einblicke in die Bodendynamik ermöglichen, soll im folgenden gezeigt werden:

Wir gliedern unsere Böden nicht nur nach ihrer Kornzusammensetzung in Sand-, Lehm- und Tonböden, sondern auch nach Typen, d. h. nach dem Neubildungs-, Umformungs- und Verlagerungszustand der kolloiden Bodenbestandteile (vgl. W. Laatsch⁹⁾). Am schnellsten läßt sich der jeweils vorliegende Umformungszustand oder Bodentypus durch folgende kombinierte, analytische Methoden charakterisieren:

1. Die Bestimmung der elektrodialysierbaren Basen.
2. Die Bestimmung der Kationensorptionskapazität.
3. Die Bestimmung der amphoteren Eigenschaften der Sorptionskomplexe.
4. Die Bestimmung des Basensättigungsverhältnisses.
5. Die Bestimmung der Verwitterungsgeschwindigkeit im ungesättigten Zustand.

Elektrodialysierbare Basen.

Die Elektrodialyse nach Mattson¹⁰⁾ und Odén¹¹⁾ oder die Elektro-Ultrafiltration nach Kötting¹²⁾ entfernt aus dem Bodenmaterial alle austauschbar gebundenen Kationen und ersetzt sie durch die H-Ionen des Wassers. Enthält der Boden schwerlösliche Carbonate und Phosphate, so werden auch sie durch den Gleichstrom zersetzt. Es ist dann nicht möglich, den Anteil der sorbierten Ionen von demjenigen der aus der Salzzersetzung hervorgegangenen gesondert zu bestimmen. Für die Pflanzenernährung haben aber beide Ionenquellen einen gleich hohen Wert, weil die Pflanzenwurzeln Kohlensäure ausscheiden, sich also des gleichen Verdrängungs- bzw. Zersetzungsmittels bedienen, welches bei der Elektrodialyse wirksam ist — nämlich des H-Ions. Je mehr elektrodialysierbare Basen vorhanden sind, um so größer ist auch die Pufferung des Bodens gegen alle Säuren, welche neben der Wurzelkohlenensäure durch die Tätigkeit der Mikroben entstehen. Ein Boden ist mithin vor Versauerung geschützt, wenn er einen großen Vorrat an austauschbaren Basen besitzt und darüber hinaus noch Carbonate bzw. Calciumphosphat enthält.

Unter den elektrodialysierbaren Basen herrschen in den humiden Bodengebieten der Erde die Ca- und Mg-Ionen vor. Ihr Überwiegen in den Ionenschwärmen der Komplexe ist gleichzeitig Vorbedingung für das Entstehen und die Erhaltung einer stabilen Krümelstruktur des Bodenmaterials, weil die zweiwertigen Kationen das negative elektrokinetische Potential der Ton- und Humusteilchen stark herabdrücken und damit den Zusammenhalt der Partikeln bewahren. Jeder deutsche Boden mit einem hohen Gehalt an elektrodialysierbaren Basen besitzt drei wesentliche Merkmale nachhaltig leistungsfähiger Standorte: er ist vor Versauerung, vor Verdichtung und vor Durchschlammung kolloider Ton- und Humuspartikeln in den Unterboden geschützt.

Die Pufferleistung eines Bodens läßt sich schon während der Elektrodialyse an den Schwankungen des Strom-

durchganges beurteilen, sofern man die angelegte Spannung und die Temperatur der dauernd aufgerührten Bodensuspension konstant hält (Odén¹¹⁾). Abb. 1 gibt die Ampere-

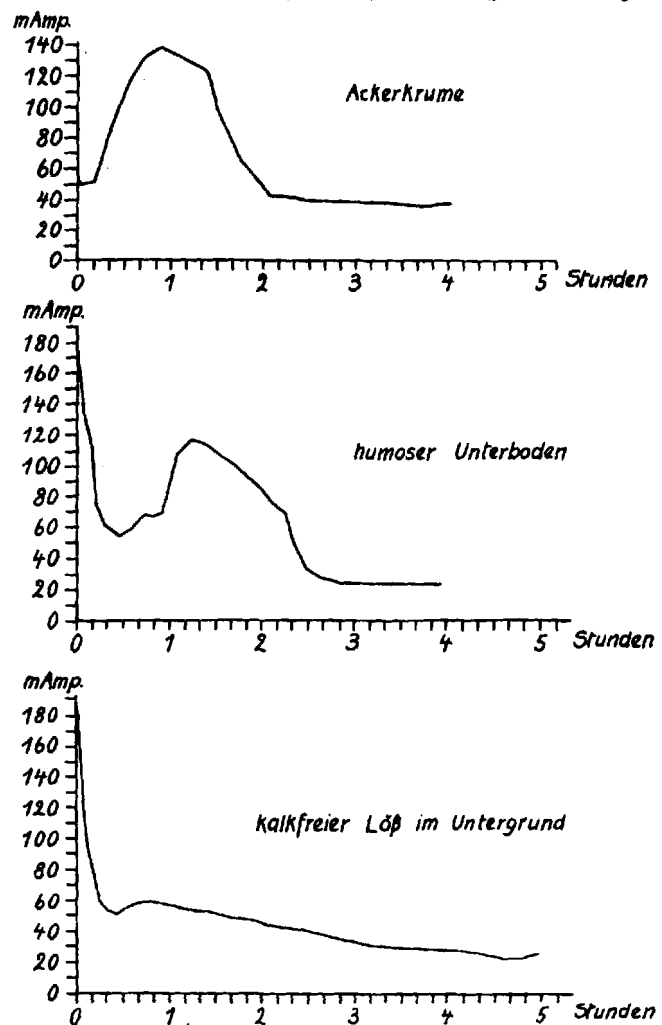


Abb. 1. Stromkurven der Elektrodialyse des Lößbodens von Zehren. Spannung 210 V, Temperatur etwa 20°, 10 g Boden.

kurven eines basenreichen, als Ackerland genutzten Lößbodens, Abb. 2 die entsprechenden Kurven eines basenarmen, versauerten und verdichteten Löß-Waldbodens

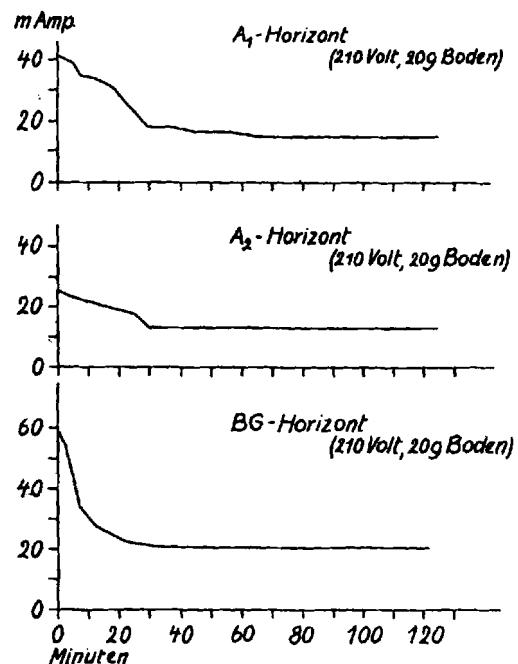


Abb. 2. Stromkurven der Elektrodialyse des Lößbodens von Hinterhermsdorf. Spannung 210 V, Temperatur etwa 20°, 20 g Boden.

⁹⁾ W. Laatsch, Dynamik der deutschen Acker- und Waldböden, Dresden 1938.

¹⁰⁾ S. Mattson, J. agric. Res. 33, 552 [1926].

¹¹⁾ S. Odén u. T. Wijkström, Medd. Centralanst. Försöksväs. Jordbruksområdet, Nr. 393; Avdelingen för lantbrukskemi, Nr. 42, Stockholm 1931.

¹²⁾ P. Kötting, Bodenkunde u. Pflanzenernährung 3, 56 [1937].

wieder. (Zur Dialyse wurde der Elektro-Ultrafiltrationsapparat nach Kötten verwandt.) Als dialysierbare Basensumme ergab sich in der Ackerkrume und im humosen Unterboden des basenreichen Lößbodens von Zehren rund 13 mval/100 g Boden, im Untergrund 10,5 mval/100 g Boden. Alle untersuchten Proben waren kalkfrei. Im Oberboden des versauerten Lößbodens von Hinterhermsdorf wurden nur 0,4–0,6 mval Basen/100 g Boden und im tieferen Unterboden (BG-Horizont) 2 mval Basen/100 g Boden gefunden. Deutlicher als diese Zahlen charakterisiert der Amperekurvenverlauf den Basenzustand der Proben, obschon diese Diagramme nur als qualitative Vergleichsmaßstäbe gelten können. Das schnelle Absinken des anfänglich hohen Stromdurchganges im humosen Unterboden und im Untergrund von Zehren deutet auf freie oder nur sehr locker sorbierte Ionenvorräte hin. Solche leichtlöslichen Bestandteile sind in der Krume nicht vorhanden. Dem rohen, entkalkten Löß im Untergrund von Zehren fehlen wiederum größere Vorräte an fester haftenden Ionen, wie sie durch das verhältnismäßig spät auftretende Kurvenmaximum des Ober- und Unterbodens in Erscheinung treten. Die sehr geringe Ausbildung eines entsprechenden Kurvenmaximums bei der Elektrodialyse des Untergrundmaterials erklärt sich nicht allein aus dem Fehlen jedes Humusgehaltes, sondern auch aus dem geringen Gehalt an anorganischen Sorptionskomplexen.

In allen regenarmen Gebieten Deutschlands besitzt der Löß nämlich noch seinen ursprünglichen Staubsandcharakter. Sorptionsfähige Tonminerale sind in ihm nur in kleinen Mengen vorhanden, und erst wenn der Kalk ausgewaschen ist, setzt ganz allmählich die Verlehmung des Lößes, d. h. die Umwandlung der staubfeinen Primärminerale in ionentauschende Sekundärsilicate ein. Dadurch wird die mürbe Staubsablagerung der Eiszeit zu einem plastischen, quellfähigen Lößlehm. Ekblaw und Grim¹³⁾ konnten durch röntgenographische Analysen ermitteln, daß diese Verlehmung im Staate Illinois auf die Umformung von Primärmineralpartikeln in Beidellit, ein zur Montmorillonitgruppe gehöriges Tonmineral, zurückzuführen ist. Schachtschabel und Mehmel¹⁴⁾ untersuchten die Tonfraktion deutscher Lößlehme und fanden in ihr außer Quarz viel Glimmer und Montmorillonit.

Unter jahrhundertelanger Waldvegetation haben die Lößlehme der niederschlagsreicheren Gebiete Deutschlands gewöhnlich so viel ihrer Basenvorräte eingebüßt, daß das Wasserstoffion die Vorherrschaft in den Komplexen vorübergehend oder dauernd einnimmt. Saure, hochdisperse Humusstoffe greifen dann die stark versauerten Tonminerale an und bewirken eine Aufspaltung in ihre Gerüstbestandteile: Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd. Zu einem solchen Typus des Tonzerfalls gehört der Lößboden von Hinterhermsdorf, dessen Amperekurven in Abb. 2 dargestellt sind. Obwohl der schnelle Stromabfall auf geringe Basenvorräte schließen läßt, kann man aus den Kurven doch keine Schlüsse auf die Kationenaustauschkapazität des Bodens ziehen, weil ein großer Teil der Austauschflächen mit Wasserstoff behaftet sein kann, der sich durch die Elektrodialyse nicht verdrängen läßt.

Es ist also in jedem Falle notwendig, die Kationenaustauschkapazität zu bestimmen, wenn der Versauerungsgrad des Bodens beurteilt werden soll.

Kationensorptionskapazität.

Die Kationensorptionskapazität des Bodens, der sog. T-Wert, setzt sich aus der Summe der sorbierten Basen (S-Wert) und dem sorbierten Wasserstoff zusammen. Mithin ist $T = S + H$. Durch Verdrängung mit einem Neutralsalz läßt sich die Basensumme bestimmen, nicht aber der Gehalt an sorbiertem Wasserstoff. Die H-Ionen sind außerordentlich fest — nach Riehm¹⁵⁾ zum größten Teil im undissoziierten Zustande — an die Komplexe gebunden, und nur bei alkalischer Reaktion werden sie mehr und mehr abgespalten. Ein Endpunkt der H-Abgabe kann nach Mattson¹⁶⁾ und Riehm¹⁶⁾ aber nicht exakt bestimmt werden, weil dazu OH-Ionen-Konzentrationen notwendig sind, die eine teilweise alkalische Hydrolyse der Tonminerale hervorrufen. Aus diesem Grunde hat Mattson vorgeschlagen, die Kationensorptionskapazität als Basenaufnahmevermögen bei einem bestimmten pH -Wert — etwa dem Neutralpunkt — zu definieren. Zur schnellen Bestimmung dieser Größe eignet sich nach Mattson die elektrometrische Titration des elektrodialysierten Materials. Abb. 3 gibt die Titrationskurven der schon mit den Abb. 1 und 2 charakterisierten Bodenhorizonte wieder.

Je 1 g des elektrodialysierten Materials wurde mit 25 cm³ einer normalen Kaliumsulfatlösung versetzt, die steigende Mengen KOH (bzw. H₂SO₄) enthielt. Nach einer 2stündigen Schütteldauer der gut verschlossenen Gefäße und 15stündigem Stehenlassen wurde der pH -Wert im Filtrat elektrometrisch bestimmt. Verbindet man die erhaltenen Meßpunkte zu einer Neutralisationskurve, so gibt der Kurvenschnittpunkt mit der 7,0 pH -Horizontalen unmittelbar an, wieviel mval KOH 1 g des elektrodialysierten Bodens bis zur Erreichung des Neutralpunktes aufgenommen hat; denn der Horizontalabstand des Schnittpunktes vom Nullpunkte der Abszisse ist gleich dem KOH-Verbrauch bzw. der ausgetauschten und neutralisierten H-Ionenmenge.

¹⁵⁾ H. Riehm, Kong. Veterinaer-Landsbohøjskole Aarskr. 1932, 21.

¹⁶⁾ S. Mattson, Soil Sci. 84, 459 [1932].

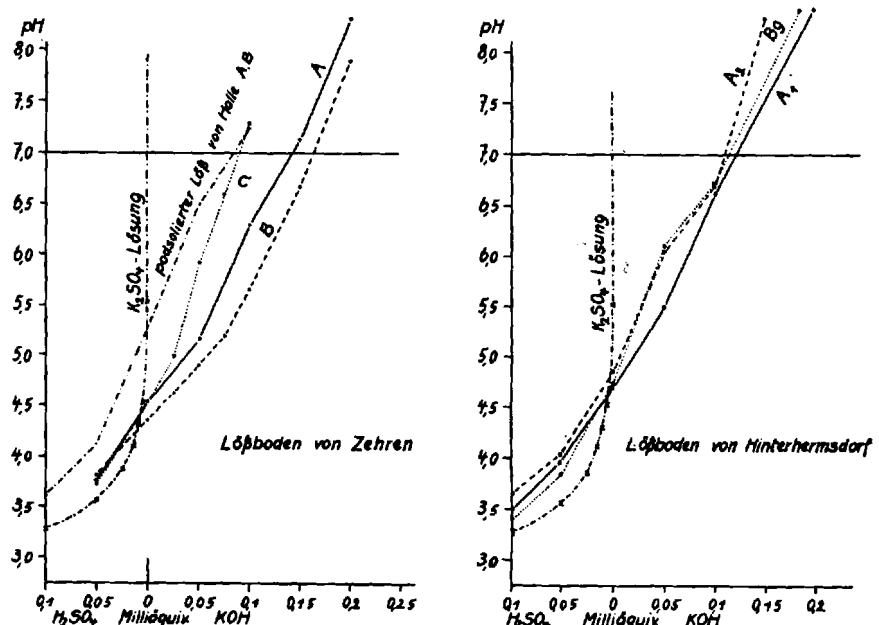


Abb. 3. Titrationskurven elektrodialysierter Bodenproben.

Links: Oberboden (A), Unterboden (B) und Untergrund (C) des Lößbodens von Zehren. Rechts: Schwach humoser Oberboden (A₁), humusfreier Oberboden (A₂) und durch Staunässe veränderter Unterboden (Bg) von Hinterhermsdorf. 1 g Boden/25 cm³ Lösung.

¹³⁾ G. E. Ekblaw u. R. E. Grim, Illinois State Geol. Survey, Report of Investigations, No. 42, Urbana 1937.

¹⁴⁾ P. Schachtschabel, Bodenkunde und Pflanzenernährung 5, 375 [1937].

Aus dem linken Teil der Abb. 3 geht hervor, daß der A-Horizont, d. h. der Oberboden von Zehren, eine etwas geringere Kationenaustauschkapazität als der schwach humose Unterboden (B-Horizont) besitzt. Am geringsten ist die Kapazität des humusfreien Untergrundes (C-Horizont), ein Ergebnis, das auch schon aus dem Verlauf der Amperekurven (Abb. 1) angenommen werden konnte.

Amphotere Eigenschaften der Sorptionskomplexe.

Um auch eine Vorstellung vom Anionenumtausch der Böden zu bekommen, erhielten 1—2 Proben an Stelle von KOH 0,05 bzw. 0,1 mval H_2SO_4 . Durch diese Ausdehnung der elektrometrischen Titration nach der „sauren“ Seite ergeben sich Schnittpunkte zwischen den Neutralisationskurven der Böden und der p_H -Kurve der bodenfreien Kaliumsulfat-Schwefelsäure-Lösung. Links von diesem Schnittpunkte wurde der p_H -Wert des Salzsäuresystems durch den Zusatz des elektrodialysierten Bodens erhöht. Mithin kann angenommen werden, daß in diesem Bereich der OH-Ionen-Austausch größer als der H-Ionen-Austausch gewesen ist. Rechts vom Schnittpunkte wird die p_H -Zahl der Salzlösung durch den Bodenzusatz erniedrigt, was nur auf das Überwiegen des Kationeneintaushes und des damit verbundenen Austausches von Wasserstoffionen zurückgeführt werden kann. Der Schnittpunkt selbst gibt diejenige p_H -Zahl der Kaliumsulfatlösung an, welche durch das Hinzufügen des Bodens nicht verändert wird. Bei dieser Wasserstoffionenkonzentration, welche von Mattson¹⁷⁾ als äquionischer Punkt bezeichnet wurde, sind Anionen- und Kationenumtausch gleich groß.

Es hat keinen Sinn, die Titration noch weiter ins saure Gebiet auszudehnen, als das bei den Analysen der besprochenen Böden geschehen ist, weil bei p_H -Werten unter 4,0 eine schnelle Zersetzung der Komplexe, bzw. Lösung freier Sesquioxide einsetzt, wodurch die reversiblen Austauschreaktionen völlig durch irreversible Lösungsreaktionen überdeckt werden. Obwohl derartige Zersetzungen auch schon zwischen p_H 4,0 und 5,0 eine Rolle spielen, ist die Lage des sog. äquionischen Punktes doch für bestimmte Bodentypen charakteristisch. Allgemein läßt sich sagen, daß der Schnittpunkt um so tiefer liegen muß, je geringer die „basoiden Kräfte“ des Bodens, das bedeutet seine Aufnahmefähigkeit für Anionen, sind. Alle quellbaren Tonminerale und vor allem die Humusstoffe besitzen ein sehr hohes negatives Potential und zeichnen sich damit durch ein starkes Überwiegen des Kationenumtausches gegenüber dem Anionenumtausch, also durch einen niedrigen äquionischen Punkt aus. Dort, wo in Waldböden hochdisperse saure Humusstoffe aber eine Aufspaltung der Tonminerale erreicht haben, entstehen kolloide Eisen-Humus- und Eisen-Tonerde-Humus-Aggregate, die ebenfalls Austauschigenschaften besitzen, nach den Untersuchungen von Mattson jedoch deutlich ausgeprägte amphotere Eigenschaften aufweisen. In diesen Aggregaten kommt neben dem Kationen- auch der Anionenumtausch stark zur Geltung. Ihr äquionischer Punkt liegt deshalb höher als derjenige der Sekundärsilicate. Gewöhnlich werden diese amphoteren Komplexe bei fortschreitender Versauerung des Bodens solförmig in den Unterboden durchschlämmt, wo sie ionentauschende Niederschläge bilden. Böden, in denen derartige Zerstörungen und Verlagerungen abgelaufen sind, bezeichnet man als podsoliert.

Auf der linken Seite der Abb. 3 stellt die Punkt-Strich-Linie die Neutralisationskurve eines mäßig podsolierten Lößbodens von Halle dar. Das untersuchte Material wurde diesem Boden aus der Übergangszone vom verarmten Oberboden (A-Horizont) zum Anreicherungs- oder

B-Horizont entnommen. Es enthält deutlich erkennbare Eisen-Humus-Komplexe und besitzt deshalb einen hohen äquionischen Punkt, der unter den beschriebenen Versuchsbedingungen 5,3 p_H beträgt, während die entsprechenden Punkte der Lößbodenhorizonte von Zehren nach Abb. 3 sämtlich unter 4,5 liegen. Da die Lage des äquionischen Punktes in weiten Grenzen unabhängig von der Menge der im Boden enthaltenen Austauschkörper ist, besitzen wir in ihm einen oft brauchbaren Weiser für stattgefundene Podsolierung.

Vergleicht man die auf der rechten Seite der Abb. 3 dargestellten Kurven des Lößbodens von Hinterhermsdorf mit den besprochenen Lößbodenkurven von Zehren, so fällt zunächst das enge Nebeneinander auf der rechten Seite auf. Die Schnittpunkte mit der K_2SO_4 -Lösung, also die äquionischen Punkte, liegen sowohl im Oberboden (A_1 - und A_2 -Horizont) als auch im Unterboden (BG-Horizont) oberhalb 4,5 p_H , was auf das Vorhandensein amphoterer Komplexe in allen Horizonten schließen läßt. Im Gegensatz zu echten podsolierten Böden hat in diesem Profil aber keine einseitige Anreicherung von Eisen-Humus- bzw. Eisen-Tonerde-Humus-Aggregaten im Unterboden stattgefunden, sondern die Produkte der Tonzerstörung sind in allen Horizonten nahezu gleichmäßig verteilt. Eine Durchschlämmung in den Unterboden war hier auch gar nicht möglich, weil dieser durch fortgeschrittene Verlehmung und anschließenden Basenverlust so verdichtet ist, daß der ganze Boden unter einer sehr mangelhaften natürlichen Dränage leidet. Oberflächennahe Staunässe herrscht vor. Das gestaute Bodenwasser vermag Eichenwurzeln und in geringem Maße auch Fichten- und Birkenwurzeln Gerbstoffe zu entziehen, die gemeinsam mit hochdispersen Humusstoffen von den Wurzelbahnen aus eine Peptisierung des Eisenhydroxyds und eine Zerstörung der Tonminerale bewirken. Außerdem ist dieser sowohl im Oberboden als auch im durchwurzelten Unterboden nachweisbare Angriff von Gerb- und Humusstoffen an den gebleichten Wurzelbahnen und Kluftflächen sichtbar, wodurch eigenartige, marmorierte Profilgepräge entstehen. Ein solcher Umformungstypus wird nach G. Krauß als gleitartiger Boden bezeichnet*).

*) Eine Photographie des besprochenen marmorierten Profils von Hinterhermsdorf findet sich bei W. Laatsch⁹⁾, Tafel III, Abb. 4.

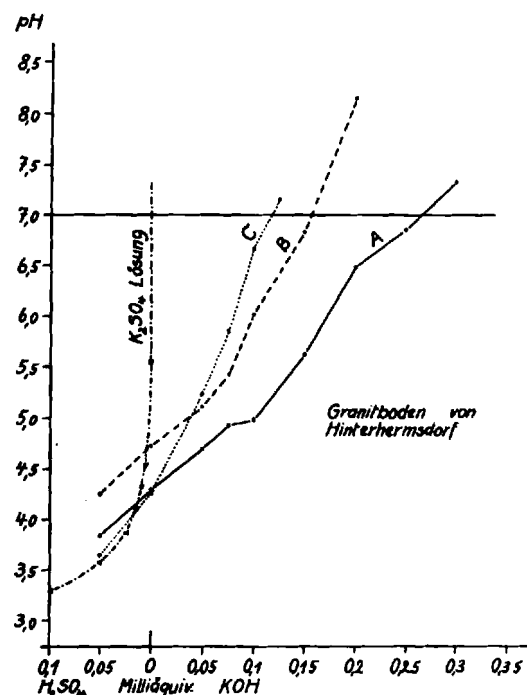


Abb. 4. Titrationskurven elektrodialysierter Proben aus dem A-, B- und C-Horizont des Granitbodens von Hinterhermsdorf. 1 g Boden/25 cm³ Lösung.

¹⁷⁾ S. Mattson u. L. Wiklander, The Annals of the Agricult. College of Sweden 4, 169 [1937].

Zur praktischen Waldbodenbeurteilung genügen in den meisten Fällen die äußerlich erkennbaren Profilmerkmale des Bodens. Bei einem Verzicht auf Laboratoriumsuntersuchungen wird man jedoch häufig Böden als nicht podsoliert ansprechen, in denen der tatsächlich ablaufende Podsolierungsvorgang noch nicht sichtbar in Erscheinung getreten ist. Abb. 4 stellt z. B. die Neutralisationskurven eines Granit-Waldbodens von Hinterhermsdorf dar, der im Gelände weder eine deutliche Oberbodenverarmung noch Anreicherungshorizonte im Unterboden erkennen läßt. Trotzdem spricht die hohe Lage des äquionischen Punktes im B-Horizonte bei 4,7 p_H für schwache Podsolierung, die für den praktischen Wert des Standortes an dieser Stelle allerdings bedeutungslos ist, weil das Profil an einem Hange liegt, der stets neues, verwitterungsfähiges Material durch die Hangabtragung herbeischafft.

Basensättigungsverhältnis.

Eine genügende Vorstellung vom Basenhaushalte der Böden gewinnt man erst dann, wenn die Menge der vorhandenen, austauschfähigen Basen zur Kationensorptionskapazität (T-Wert) in Beziehung gesetzt wird. Man bezeichnet den prozentualen Anteil der vorhandenen Basen (S-Wert) am T-Wert als Basensättigungsverhältnis oder V-Wert. Eine brauchbare Übersicht bietet auch schon der Vergleich der elektrodialysierbaren Basenmenge — in der ja außer den sorbierten Basen auch noch diejenigen etwaiger zersetzter Salze enthalten sein können — mit der Kationenaustauschkapazität, wie sie durch die elektrometrische Titration erhalten werden kann. In Abb. 5 sind diese Werte für die besprochenen Bodenhorizonte zusammengestellt worden. Der als Ackerland genutzte

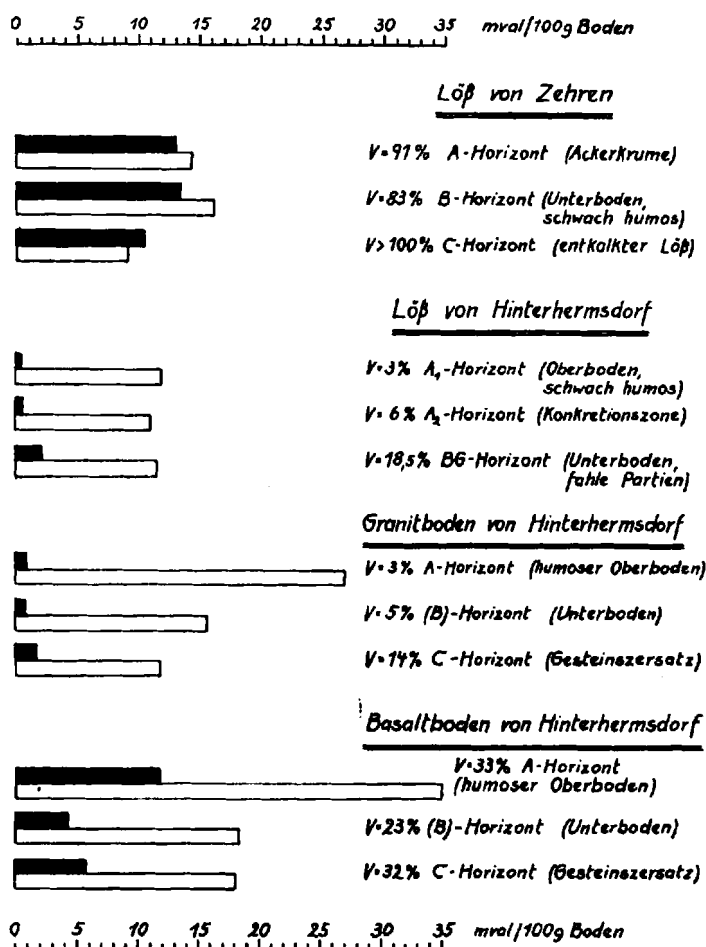


Abb. 5. Elektrodialysierbare Basen (= ausgefüllte Rechtecke) und Kationensorptionskapazität bei p_H 7,0 (= unausgefüllte Rechtecke) verschiedener Bodenproben. V = prozentualer Anteil der elektrodialysierbaren Basen an der Kationensorptionskapazität.

Lößboden von Zehren besitzt im Verhältnis zu seiner Sorptionskapazität einen hohen Basenvorrat. Im C-Horizont ist die elektrodialysierbare Basenmenge sogar größer als das Basenaufnahmevermögen bei neutraler Reaktion.

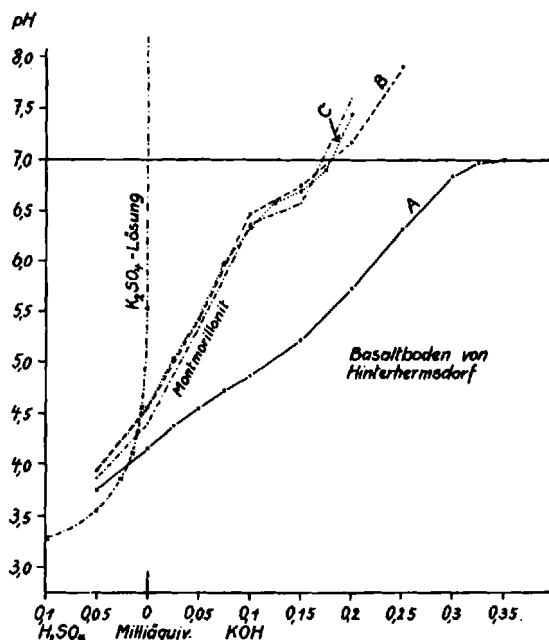


Abb. 6. Titrationskurven elektrodialysierter Proben aus dem A-, B- und C-Horizont des Basaltbodens von Hinterhermsdorf. 1 g Boden/25 cm³ Lösung.

Über sehr geringe Mengen an elektrodialysierbaren Basen verfügen demgegenüber der marmorierte Lößboden von Hinterhermsdorf und der Granitboden von Hinterhermsdorf. Das Sättigungsverhältnis ist in ihnen so gering, daß Tonzerstörungen, wie sie durch die hohe Lage der äquionischen Punkte zum Ausdruck kamen, nach dieser Zusammenstellung durchaus natürlich erscheinen.

Einen weit günstigeren Basenhaushalt weist der Basaltboden von Hinterhermsdorf auf (Abb. 5, unten). Die hohe Kationenaustauschkapazität seines A-Horizontes (35 mval/100 g Boden) muß zur Hälfte auf humose Stoffe zurückgeführt werden. Der Unterboden [(B)-Horizont] und der lehmige Gesteinszersatz des C-Horizontes wurden dagegen praktisch frei von Humus gefunden. An den Neutralisationskurven dieser beiden Horizonte (vgl. Abb. 6) fällt ein deutlicher Knick zwischen p_H 6,4 und p_H 6,8 auf, das bedeutet, in diesem Bereich puffern die Tonminerale besonders stark gegen Basen. Hier müssen demnach schwach saure Bindungskräfte zur Geltung kommen, die bei niedrigeren p_H -Werten noch nicht wirksam sind. Merkwürdigerweise besitzt die Neutralisationskurve eines elektrodialysierten Montmorillonitons von Moosburg im gleichen p_H -Intervall einen deutlichen Knick. Wahrscheinlich handelt es sich hier um eine für die Montmorillonitgruppe typische Silicatlagerung, und es bietet sich damit eventuell die Möglichkeit einer weiteren Differenzierung der chemischen Komplexuntersuchung einzelner Bodentypen.

Die Verwitterungsgeschwindigkeit im ungesättigten Zustand.

Wir haben bisher angenommen, daß die Elektrodialyse nur einen einfachen Ersatz der sorbierten Ionen durch die Ionen des Wassers bewirkt und daß sie darüber hinaus etwa vorhandene einfache Salze, wie Carbonate und Phosphate, zersetzt. Man kann jedoch bei der Analyse der meisten Böden beobachten, daß die Amperekurven nach Erreichung eines längeren, gleichmäßigen Tiefstandes wieder ein wenig ansteigen und daß mit dieser Zunahme des Stromdurchganges eine Abwanderung von Aluminium-

ionen verbunden ist. Diese Erscheinung wurde besonders von *Mattson*¹⁰⁾ und von *Odén*¹¹⁾ eingehend studiert und ist auf die saure Hydrolyse entbasierter Tonminerale zurückzuführen. Es ist deshalb notwendig, die Elektrodialyse im Augenblicke des Zerstörungsbegins abzubrechen. Allerdings läßt sich der Anfang der Komplexzersetzung nicht immer genau auffinden.

Noch schwieriger werden die Bedingungen, wenn der Boden feinstzertheilte Primärminerale enthält, die nach der Abgabe ihrer oberflächennahen Alkali- bzw. Erdalkalitionen einer teilweisen Verwitterung anheimfallen, weil sie dem Bombardement der H-Ionen auf die Dauer nicht standhalten. Ist der Anteil derartiger leicht verwitterbarer Minerale groß, so steigen die pH-Werte in der Suspension nach abgeschlossener Dialyse im Laufe mehrerer Stunden bzw. Tage an. Ein solcher Boden ist also im ungesättigten Zustande nicht beständig. Er läßt sich durch Verwitterung wieder selbsttätig mit Basen auf und würde deshalb auch bei der elektrometrischen Titration falsche Resultate ergeben. Obschon diese Tatsache das Anwendungsgebiet der Elektrodialyse einschränkt, ermöglicht sie auf der anderen Seite die schnelle Erfassung der nachschaffenden Mineralkraft eines Bodens. Jedes Basensättigungsverhältnis kann ja nicht als statischer, sondern nur als dynamischer Wert angesehen werden, und es ist für die Bodenkunde von größtem Interesse zu erfahren, in welchem Ausmaß ein bestimmter Boden seinen verdrängbaren Basenvorrat selbständig ergänzt. Am einfachsten läßt sich das durch wiederholtes Elektrodialysieren mit Abständen von mehreren Tagen beurteilen. Während der Pausen bleibt das Material im destillierten Wasser der Mittelzelle des Elektro-

Ultrafiltrationsapparates und hat dort Gelegenheit zur selbständigen Neutralisation des an ihm haftenden Wasserstoffs. Durch den Vergleich der Amperekurven und vor allem der nach jeder Pause elektrodialysierten Basenmenge gewinnt man ein gutes Bild von dem Verwitterungsausmaß im ungesättigten Zustande.

Abb. 7 zeigt die Amperekurven eines Basaltmehles, welches mit Unterbrechungen von 42 h dialysiert wurde. Die Basennachlieferung dieses Materials muß als erheblich

bezeichnet werden und erklärt zur Genüge die schönen Meliorationserfolge, welche man durch Aufbringung von Basaltmehl auf arme ausgewaschene Sandböden Norddeutschlands erreicht hat^{19, 20)}. Das basenreiche Gesteinsmehl bildet bereits in 1—2 Jahren einen lehmigen Zersatz, der nur auf einen Neuaufbau von Tonmineralien zurückgeführt werden kann. Die gebildeten Komplexe erhöhen die wasserhaltende Kraft des Bodens und seine Nährstoffspeicherleistung und sorgen wahrscheinlich auch für die Fesselung wertvoller Humusstoffe. Alle diese standortsverbessernden Eigenschaften sind aber nur möglich, weil bei der Verwitterung des Basaltmehls große Mengen an Ca- und Mg-Ionen frei werden, welche immer die erste Vorbedingung für die Bildung stabiler, günstig wirkender Ton- und Humuskomplexe sind.

Schluß.

Die geschilderten Zusammenhänge machen eine Tatsache deutlich: Wir können den Boden nicht als totes Substrat, als ein wirres Stoffgemenge betrachten, aus dem die Pflanzen ihre Nahrung aufnehmen, sondern unsere Böden sind individuelle dynamische Systeme, in denen sich stetige, gesetzmäßige Umformungen abspielen. Wichtigste Aufgabe der Bodenkunde aber ist es, Maßnahmen zu finden, durch welche die im Boden ablaufenden Prozesse so gesteuert werden, daß sie nicht zur Zerstörung, sondern zum Aufbau wertvoller Nährstoffträger und zur Bildung einer günstigen Bodenstruktur führen. [A. 54.]

¹⁹⁾ R. Albert, Forstarchiv 1936, 158.

²⁰⁾ H. H. Hüf, ebenda 1937, 113.

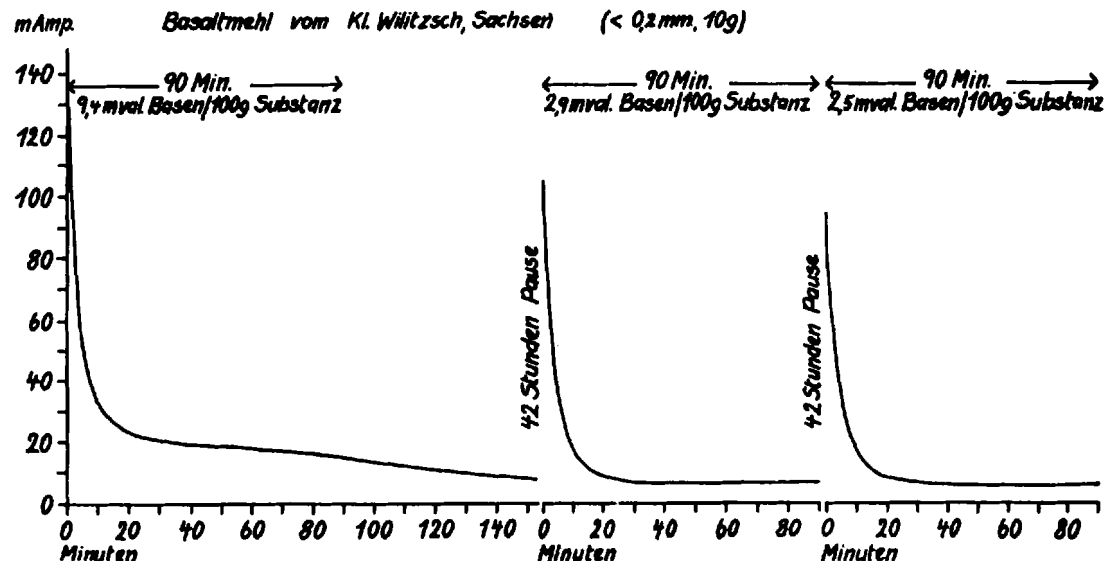


Abb. 7. Stromkurven der wiederholten Elektrodialyse von 10g Basaltmehl.

¹⁰⁾ S. Mattson, Soil Sci. 36, 149 [1933].

Toxikologische Probleme in der Schädlingsbekämpfung *)

Von Prof. Dr. F. STELLWAAG, Geisenheim

Eingep. 21. Juni 1938

Die chemische Bekämpfung von Schädlingen und Krankheitserregern in der Landwirtschaft hat den Schutz der Ernten und die Sicherstellung der Vorräte weitgehend zu gewährleisten, wobei sie so gehandhabt werden muß, daß nicht Nebenwirkungen auf Mensch, Nutztiere und Pflanzen entstehen. Durch die Erzeugungsschlacht sowie das Reichspflanzenschutzgesetz vom März 1937 werden höchste Leistungen verlangt. Nicht nur der Verbrauch

an Bekämpfungsmitteln nimmt unter dem Aufklärungsfeldzug des Reichsnährstandes und der gesteigerten Tätigkeit der Pflanzenschutzämter in steiler Kurve zu, es müssen auch die Probleme auf biologischem und toxikologischem Gebiet schärfer gefaßt werden. Meine Aufgabe, über „Toxikologische Probleme in der Schädlingsbekämpfung“ zu sprechen, lege ich nicht dahin aus, die wichtigsten Fragen auf dem Gebiete der Forschung nacheinander abzuhandeln, ich werde vielmehr einige Beispiele herausgreifen, um zu zeigen, auf welchem Stande sich die Toxikologie der niederen

*) Zusammenfassender Vortrag auf der Reichsarbeitsatagung der Deutschen Chemiker in Bayreuth am 8. Juni 1938.