

**MITTEILUNGEN
DER
ÖSTERREICHISCHEN
BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

HEFT 10

WIEN 1966

*Gedruckt mit Unterstützung des Notringes der wissenschaftlichen Verbände
Österreichs, der Firma Rudolf Bauer, Röhrenwerk und Pumpenfabrik,
Voitsberg, Stmk., und Herrn Sepp Moser, Seewinkelhof, Bgld.*

Eigentümer, Herausgeber und Verleger: Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft. Für den Inhalt
verantwortlich: Prof. Dr. Julius Fink. Beide Wien XVIII, Gregor Mendelstraße 33. Druck: F. Berger &
Söhne, OHG., Horn, NÖ.

SCHRIFTFLEITUNG

Prof. Dr. J. FINK

Prof. Dipl.-Ing. Dr. H. FRANZ

Salz- und Steppenböden des Seewinkels (Burgenland, Österreich); Charakteristik, Meliorationsergebnisse und bodenwirtschaftliche Aspekte

von A. GHOBADIAN

I. Beschreibung des Raumes	4
Geomorphologie	4
Stratigraphie und Bodencatena	5
Hydrographie	6
Klima	8
Vegetation	9
II. Allgemeiner Überblick über System, Genese und Eigenschaften der Salzböden	9
III. Die untersuchten Böden	12
Lage der Profile	12
Profilbeschreibung	13
Chemische Charakteristik	15
Physikalische Charakteristik	20
IV. Der Wasserhaushalt der Böden in der Untersuchungsperiode	27
Periodische Untersuchungen des aktuellen Wassergehaltes	27
Menge und Zeitpunkt des pflanzenverfügbaren Wassers	32
V. Die Melioration des Solontschak-Solonetz	35
Durchführung der Melioration	35
Wirkung der Meliorationsmaßnahmen	36
VI. Bodenwirtschaftliche Aspekte	40
VII. Zusammenfassungen	45
VIII. Literaturverzeichnis	51
IX. Anhang	53
Bodenchemische Methoden	53
Bodenphysikalische Methoden	54
Analysendaten	57

Salz- und Steppenböden des Seewinkels (Burgenland, Österreich); Charakteristik, Meliorationsergebnisse und bodenwirtschaftliche Aspekte

(Aus dem Institut für Bodenforschung der Hochschule für Bodenkultur in Wien,
Vorstand: Prof. Dipl.-Ing. Dr. H. FRANZ)

von A. GHOBADIAN, Mazenderan/Schirgah, Iran

Vorwort

Die Salzböden bilden seit Jahrzehnten ein hervorragendes Forschungsobjekt verschiedener naturwissenschaftlicher Richtungen. Die Salzbodenforschung ging von Rußland, Ungarn und den USA aus, drei Ländern, in denen diese Böden eine weite Verbreitung besitzen. Für mich war ein besonderes Interesse an Salzböden dadurch gegeben, daß in meinem Heimatland solche Böden große Flächen, wie z. B. die Iranische Khevir, bedecken.

In Österreich treten Salzböden nur auf kleinen Flächen auf, sie sind jedoch z. T. ebenso extrem ausgebildet wie in den Gebieten ihrer Hauptverbreitung. Es können daher an diesen Objekten alle wichtigen Probleme des Salzbodendynamik und -melioration studiert werden.

Im Hinblick auf die weltweite Bedeutung, die den Salzböden zukommt und im Hinblick auf die Möglichkeit, an diesen extremen Bodenbildungen Bodenprobleme extremer Prägung zu studieren, hatte Herr Professor FRANZ veranlaßt, Untersuchungen an Salzböden in das Arbeitsprogramm seines Institutes aufzunehmen. Es sind bereits mehrere diesbezügliche Veröffentlichungen aus dem Institut hervorgegangen, die teils von Herrn Prof. FRANZ selbst, teils von Herrn Dr. G. HUSZ verfaßt worden waren. Mir fiel im Rahmen dieser Arbeiten die Aufgabe zu, die Böden eines fortschrittlichen Betriebes, des Seewinkel-Hofes in Apetlon im Seewinkel, Bezirk Neusiedl am See, Nord-Burgenland, so eingehend wie möglich physikalisch und chemisch zu charakterisieren und die Auswirkung bestimmter zu ihrer Melioration ergriffener Maßnahmen festzustellen.

Herrn Professor FRANZ habe ich für die Themenstellung und für stete Förderung meiner Arbeit zu danken. Wertvolle Ratschläge und mannigfache Hilfe erhielt ich von den wissenschaftlichen Mitarbeitern des Institutes, allen voran von Herrn Prof. Dr. G. FRASL, Herrn Doz. Dr. W. LOUB und Herrn Dipl. Ing. Dr. G. HUSZ. Auch seitens des Vorstandes des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Herrn Prof. Dipl. Ing. Dr. L. KOPETZ und seines Mitarbeiters, Herrn Doz. Dipl. Ing. Dr. K. EHRENDORFER, habe ich mannigfache Förderung erfahren. Der Betriebsinhaber des Seewinkel-Hofes, Herr LENZ MOSER, sowie sein Sohn JOSEF MOSER, haben in großzügiger Weise nicht nur die Durchführung der Bodenuntersuchung auf dem Betrieb ermöglicht, sondern durch Anlage und Betreuung exakter Versuche die Durchführung der Arbeit in der vorliegenden Form möglich gemacht. In verständnisvoller Weise hat mich besonders auch der Verwalter des Gutes, Herr Dipl. Ing. MICHAEL LUNZER, stets unterstützt und keine Mühe zum Gelingen meiner Arbeit gescheut. Es ist mir ein aufrichtiges Bedürfnis, allen Genannten an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

I. Beschreibung des Raumes

Über die geologischen, hydrologischen und pedologischen Verhältnisse des Raumes liegt eine Vielzahl von Veröffentlichungen vor. Verwiesen sei auf: H. HASSINGER (1918), J. FINK (1958), A. F. TAUBER (1959), A. F. TAUBER und P. WIEDEN (1959), F. SAUERZOPF (1956, 1959), H. KÜPPER (1961), G. FRASL (1961), H. RIEDL (1963a, b, 1965); A. SWAROWSKY (1920), A. F. TAUBER, K. KNIE, H. GAMS, E. PESCHEK (1959), H. BOJKO (1932), H. FRANZ, K. HÖFFLER und E. SCHERF (1937), G. WENDELBERGER (1950); H. FRANZ und G. HUSZ (1961), G. HUSZ (1962, 1963). Ich kann mich also unter Hinweis auf die umfangreiche bestehende Literatur auf eine zusammenfassende, kurze Darstellung beschränken.

Geomorphologie

Die Oberflächenformen und die Ablagerung der Sedimente sind durch die jugendliche Tektonik im Inneralpinen Wiener Becken und in der Kleinen Ungarischen Tiefebene geprägt. Diese Tektonik setzte bereits im Tertiär ein und führte zur Absenkung und Überlagerung der Alpen mit mächtigen tertiären und quartären Sedimenten. Diese Erdkrustenbewegungen dauerten zumindest noch im Jungquartär an.

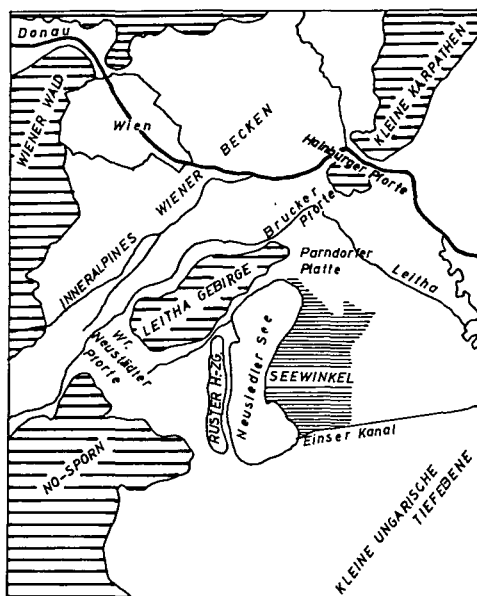


Abb. 1. Topographisch-geomorphologische Übersichtsskizze.

Der Seewinkel und der Neusiedler See zählen bereits zu Teil-Senkungsfeldern der Kleinen Ungarischen Tiefebene (s. Abb. 1). Im W sind sie durch die Höhen des Rosaliengebirges, des Leithagebirges und der Hundsheimer Berge, die zu den Kleinen Karpaten überleiten, vom Inneralpinen Wiener Becken getrennt. Diese markieren einen Höhenzug der Alpen, der nur noch in Form von Horsten erhalten ist; die Zwischenstücke waren bereits im Oberpliozän/Altquartär niedergebrochen, so die Wr. Neustädter Pforte im S zwischen Rosaliengebirge und Leithagebirge, die Brucker Pforte zwischen Leithagebirge und Hundsheimer Bergen und die Hainburger Pforte im N.

Im Oberpliozän und Altquartär wurde das Inneralpine Becken durch die Wr. Neustädter Pforte und die Brucker Pforte entwässert. Die erstere wurde von der Ur-Pitten (H. RIEDL, 1963, 1964), die Brucker Pforte aber von der Ur-Donau durchflossen. Beide Flüsse schotterten mächtige Terrassenfelder auf: die Zillingdorfer- und die Parndorfer Platte. Altquartäre Hebungen im Raume der Pforten inaktivierten diese Entwässerung: beide Flüsse wurden nach Norden abgedrängt, die Donau in die Hainburger Pforte, während ein Großteil der Flüsse aus dem südlichen Teil des Inneralpinen Wiener Beckens zur Leitha und durch die Brucker Pforte entwässert wurde. Die Zillingdorfer Platte wurde somit zur Wasserscheide; östlich von dieser entwickelte sich das autochthone Entwässerungssystem der Wulka, des einzigen offenen Zubringers zum Neusiedler See.

Östlich des Leithagebirges entstand in weiterer Folge ein Bruchsystem, an dem das Seebecken und der Seewinkel niederbrechen (s. H. KÜPPER 1961). Diese Senkungsfelder haben im Riß und Würm die Donau nochmals angezogen, ihre Sedimente finden sich östlich des Sees im Seewinkel (vgl. G. FRASL, 1961). Das Seebecken selbst ist wahrscheinlich nicht als Schürfrinne der Donau zu verstehen (H. HASSINGER, 1918), da am Seegrund keinerlei Donauschotter auftreten (s. A. F. TAUBER, 1959). Zudem reichen die Donauschotter nicht bis an den Ostrand des Sees (G. FRASL, 1961), in diesem Randsaum findet sich vielmehr kantiger Schutt (G. HUSZ, 1963), der bei H. RIEDL (1963a) als solifuidal verlagertes Nahtransportmaterial Erwähnung findet.

Stratigraphie und Bodencatena

Das Senkungsfeld des Seewinkels zeigt nicht die gewohnte Sedimentabfolge der Terrassen, wonach die älteren Sedimente in höheren Niveaus als die jüngeren liegen. Hier erfolgt eine Umkehrung: an der Basis lagern die älteren und auf diese wurden die jüngeren Sedimente abgelagert. Dieser Sachverhalt wurde durch vergleichende Schwermineralanalysen, die F. GRASL (1961) durchführte, bekannt.

An der Basis, über dem Tertiärsockel, findet sich der sogenannte Basissand, ein grauer Grobsand, der Süßwasser führt. Dieser wird von einem Schotterpaket überlagert, dessen Spektrum ihn auf Grund der Untersuchungen von G. FRASL als rißeiszeitlichen Donauschotter (Gänserndorfer Schotter) ausweist. Die darauffolgende Strate ist stark salzführend und wird nach H. FRANZ als salzführender Horizont bezeichnet; an seiner Oberkante ist vielfach noch der zugehörige A-Horizont vorhanden. Aus diesem Salzaunmoor wurde als Leitpollen des Riß-Würm der charakteristische Pollen einer *Pinus* sp. „striiert“ isoliert (vgl. W. KLAUS, 1962). Die darauf abgelagerten Schotter stammen wieder von der Donau und sind den Praterterrassen-Schottern (Würm) gleichzusetzen. Diese Würmschotter werden von verschiedenen, stark variierenden, holozänen Feinsedimenten überlagert, die entweder von Seetransgressionen stammen oder aber kalkfreien Flugstaubdecken entsprechen.

Dieses Idealprofil ist nicht im gesamten Seewinkel vollständig erhalten, es wurde durch mehrere Erosions- und Akkumulationsperioden (Seehochstände) gestört und ist nur noch an wenigen Stellen vollständig. Dazu kommt, daß der Würmschwemmfächer einzelne Teile a priori freiläßt. Daraus ergibt sich eine große Variabilität der Profilausbildung, die zusammen mit der Art, Herkunft und Mächtigkeit der holozänen Deckschichten eine Vielfalt von Profilmodifikationen entstehen ließ [vgl. H. FRANZ u. G. HUSZ (1961) und G. HUSZ (1963)].

Nach einer ersten Großgliederung können die Böden auf den Schotterfluren des Würmschwemmfächers im N der Linie Apetlon-Wallern von den Böden der Seeplatte im S abgetrennt werden. Auf den Schottern gelangten nebeneinander Tschernoseme und Paratschernoseme zur Entwicklung (vgl. H. FRANZ, 1955), während im Bereich der

Seenplatte neben Tschernosemen und Rohböden auf jungen, tiefgründigen Sedimenten sämtliche Salzbodentypen vertreten sind; diese entsprechen Stockwerksprofilen.

Solontschaks finden sich dort, wo der salzführende Horizont exhumiert und fallweise von nur geringmächtigen jüngeren Sedimenten, z. B. einem Steinpflaster, bedeckt, freiliegt. Flächen, die durch stärkere fluviale Erosion denudiert wurden, tragen keine Solontschaks, sie sind ausgewiesen durch jüngere, salzfreie Bodenbildungen auf weitgehend holozänen Sedimenten. Der Solontschak fehlt vor allem in tieferen Erosionsrinnen und Schürfpfannen, was vor allem an der Zonierung der Vegetation im Bereich tieferer Lacken deutlich wird. Auf Grund dieses Sachverhalte konzipierte H. FRANZ (e. a. 1937, 1960) einen ersten Entwurf über die ursächliche Verknüpfung der Salzböden des Seewinkels mit einem bestimmten salzführenden geologischen Substrat. Dieses Konzept, das von wesentlicher Bedeutung für die meliorationstechnische Behandlung der Salzböden ist, wurde seither auf Grund detaillierter Kartierungen bestätigt [vgl. G. HUSZ (1963), H. RIEDL (1965)].

Solonetze entwickelten sich durch jüngere Überlagerung der Solontschaks. Sie besitzen Afos/C/Afos/Sa-Profile. Die große Variabilität ihres Profilaufbaues ist durch die Mächtigkeit der holozänen Auflagen und das Alter der fossilen A-Horizonte bedingt. Besonders typisch sind sie dort, wo der Arez einem riß-würm-interglazialen Salzanmoor entspricht; wo holozäne begrabene A-Horizonte vorliegen, ist die Ausbildung der Kolumnen weniger typisch.

Solontschak-Solonetze nehmen die weitesten Flächen ein. Sie entsprechen sedimentologisch den erosionsbedingten Übergangsbildungen zwischen Solonetz und Solontschak. Dies äußert sich auch deutlich in den Analysendaten; vgl. G. HUSZ (1962).

Solode wurden von H. FRANZ (1960) auf kleineren Flächen vorgefunden und eingehend beschrieben.

Hydrographie

Das gesamte Neusiedler-See-Becken ist von Natur aus abflußlos; der künstlich angelegte Einsler-Kanal entwässert nach NO zur Donau. Der einzige offene Zufluß ist die Wulka, deren Wassermengen keineswegs den See zu speisen vermögen. Gespeist wird der See zum Großteil von Grundwasserströmen, die weitgehend Donauwasser zuführen.

Es liegen mehrere Grundwasserhorizonte vor, was schon H. FRANZ, K. HÖFLER und E. SCHERF (1923) nachweisen konnten. Die Vernässung der Böden rührt aber auf dem Großteil der Kulturfächen nicht vom Grundwasser her, sondern vom Tagwasser, welches vom salzführenden Horizont gestaut wird. Eine Entwässerung gestaltet sich aus zwei Gründen sehr schwierig: zunächst darf bei der Anlage der Entwässerungsgräben der salzführende Horizont nicht durchstoßen werden, da sich sonst das bei hohem Grundwasserstand gespannte Grundwasser darunter auf ein hydrostatisches Niveau nahe der Oberfläche oder über dieser einstellen würde; die Seenplatte liegt zum Teil wenig über dem rezenten Seespiegel, was für das Gelände des Püspökhofes zutrifft, z. T. sogar unter dem hoher rezenten Seestände, was auf derart tief liegenden Flächen zu einer Polderwirtschaft zwingt.

Im einzelnen kann dem noch hinzugefügt werden, daß der Grundwasserspiegel im Laufe eines Jahres Schwankungen von rund 1,50 m aufweist und damit auf weite Erstreckung die Bodenverhältnisse in charakteristischer Weise beeinflußt. Gespanntes Grundwasser findet sich besonders im südlichen Teil der Seenplatte. Diese Tatsache ist besonders für Meliorationsmaßnahmen von Bedeutung, da bei der Schaffung von Vorflutern nicht auf das eigentliche Grundwasserniveau, sondern auf das hydrostatische Druckniveau desselben Rücksicht genommen werden muß. Ebenso wichtig ist die Feststellung, daß im Seewinkel nicht nur ein, sondern mehrere z. Teil voneinander gänzlich unabhängige Grundwasserstockwerke vorhanden sind. Die Verschiedenheit derselben

äußert sich nicht nur in den verschiedenen Niveaus, sondern auch in ihrem Chemismus. Das ergiebigste Grundwasser weist eine Strömungsrichtung NO-SW auf. Bei seiner Wanderung nimmt es ständig an Härte zu. Das tiefe Niveau des Seewinkelgebietes und besonders seines südlichen Teiles bringt es mit sich, daß, verstärkt durch die ebene Lage, eine große Zahl von kleineren und größeren Lacken vorhanden ist. Diese können nach F. KOPF (1963) in vier Gruppen eingeteilt werden; von diesen sind die beiden ersten für das Verstehen der Salzbödenengese wesentlich: zufolge der verschieden tief greifenden Erosion zum Zeitpunkt dieser Hohlformenanlagen ist der salzführende Horizont bei der 1. Gruppe der Lacken weitgehend erodiert.

1. Ständige Lacken. Sie liegen in wasserdurchlässigem Material, werden vorwiegend durch Grundwasser gespeist, und trocknen nie völlig aus. In diese Gruppe gehört u. a. die Lange Lacke, an deren Ost-Ufer, rund 500 m landeinwärts, der Seewinkel-Hof liegt.

2. Periodische Lacken. Sie sind in flachen Mulden angelegt und werden weitgehend durch Tagwasser gespeist, welches auf ihrem undurchlässigen Untergrund gestaut wird. Dementsprechend ist ihr Wasserstand niederschlagsabhängig, in trockenen Sommern trocknen sie oft zur Gänze aus, wobei sich auf ihrem Grund starke Salzausblühungen zeigen (vgl. a. H. BOJKO, 1932).

3. Versumpfte oder halbentwässerte Lacken.

4. Trockengelegt, bereits kultivierte Lacken.

Alle Lacken des Seewinkels sind durch ihre geringe Tiefe charakterisiert. In ihrem Chemismus weisen sie beträchtliche Unterschiede auf [vgl. K. KNIE (1960/61), H. LÖFFLER (1960)]. Der Neusiedler See selbst steht mit dem Grundwasser in direkter Verbindung und wird in erster Linie von diesem gespeist. Er ist ein flacher Steppensee mit erhöhtem Salzgehalt und weist außer dem künstlich angelegten Hanságkanal keinen Abfluß auf. Trotz einer großen Fläche von ca. 200 km² besitzt er eine durchschnittliche Tiefe von weniger als 1 m. Er ist nicht nur für die Prägung der Landschaft von Bedeutung, sondern durch seine große Verdunstungsfläche auch mitbestimmend für die örtlichen Klimaverhältnisse. Entsprechend den starken Grundwasserschwankungen nicht nur innerhalb eines Jahres, sondern auch über längere Zeitperioden weist der Neusiedler See bedeutende Schwankungen seines Wasserspiegels auf. So kann auf Grund der mächtigen Strandwallbildung am Ostufer des Sees (Seedamm) auf einen ehemals höheren Seestand geschlossen werden, wobei der Höchststand fast 2 m über dem heutigen Niveau lag (vgl. H. FRANZ und G. HUSZ, 1961, und G. HUSZ 1963). Einen weiteren Hinweis bildet ein junges Seesediment, das sich im südöstlichen Seewinkel noch auf größere Erstreckung nachweisen läßt: „Seeschlamm“ bei G. HUSZ (1963). Andererseits ist aus geschichtlichen Dokumenten erwiesen, daß vor ca. 100 Jahren der See vollkommen ausgetrocknet war. Die genaueren Ursachen solch extremer Schwankungen in der Geschichte des Neusiedler Sees sind nicht erforscht.

A. F. TAUBER (1959) vertritt die Ansicht, daß der Chemismus der Wässer des Seewinkels von artesisch aufsteigenden Tiefenwässern beeinflusst wird, oder in der Vergangenheit beeinflusst wurde. Ob tatsächlich ein derartiger Zusammenhang besteht, ist noch nicht exakt erwiesen. Jedenfalls ergibt sich aus einem Vergleich des Chemismus der artesischen Wässer mit denjenigen der Salzlacken kein eindeutiger Zusammenhang.

Für die Wasserversorgung der Siedlungen wird Grundwasser aus verschiedenen Grundwasserstockwerken herangezogen. Dieses ist z. T. chemisch nicht einwandfrei, selbst wenn es aus bedeutender Tiefe heraufgebracht wird. Auch für die Beregnungswirtschaft ergeben sich dadurch Schwierigkeiten, daß das verfügbare Grundwasser einen relativ hohen Salzgehalt aufweist.

Klima

Der Seewinkel trägt Züge des bekannten pannonischen Klimas, das man als semi-humides Klima kennzeichnen kann. Warme, trockene Sommer stehen kalten, meist schneearmen Wintern gegenüber. Die sommerliche Trockenperiode, die im Schnitt vom Juni bis zum Oktober dauert, wird noch durch die ständige Windeinwirkung und hohe Verdunstung verschärft; die Luftfeuchtigkeit sinkt dabei auf 65–70%. Obwohl das Maximum der Niederschläge auf die Vegetationsperiode verteilt ist (ca. 70 mm je Monat) vermag sich dieses nicht entscheidend auszuwirken und führt zu deutlichen Ertragsdepressionen. In landwirtschaftlicher Hinsicht sind auch die schneearmen Winter von Nachteil, denn sie führen bei mangelnder Schneedecke zu ausgedehnten Kahlfrösten.

Das Klima ist kleinperiodischen aber extremen Schwankungen unterworfen. Dieser Sachverhalt läßt sich klar an Hand der registrierten Niederschlagsminima und -maxima erkennen. Es beträgt die niedrigste jährliche Niederschlagsmenge 356 mm, die höchste aber 847 mm.

Mittlere Niederschlagshöhe von 1896–1930 (in mm)
(Hydrogr. Dienst in Österreich, Wien 1947)

	Wien- Hohe Warte 203 m	Wiener Neustadt 263 m	Manners- dorf 213 m	Breiten- brunn 140 m	Rust 120 m	Kittsee 136 m	Apetlon 121 m
I	14	32	35	42	35	36	36
II	35	29	31	36	27	32	34
III	45	34	43	49	38	40	34
IV	62	56	56	60	40	48	47
V	72	67	65	76	61	65	52
VI	72	81	69	68	62	58	61
VII	87	88	86	61	60	71	72
VIII	68	77	67	64	64	52	62
IX	60	77	67	68	65	60	66
X	53	45	49	48	50	46	43
XI	45	38	43	51	48	49	47
XII	52	38	44	55	54	48	46

Jahresmittel der Niederschläge (von 1881–1930) in mm

	St. Pölten 260 m	Wr. Neustadt 263 m	Wien–Hohe Warte 202 m	Rust	Neusiedl 140 m	Apetlon 121 m
	718	662	670	630	611	600

Mittelwerte der Temperatur in C° (1831–1950)

	St. Pölten 260 m	Wien–Hohe Warte 202 m	Neusiedl/Sec 140 m	Andau 118 m
I	-2,2	-1,4	-2,0	-2,2
II	-0,5	0,3	-0,1	-0,1
III	3,6	4,4	4,4	4,2
IV	8,7	6,4	10,0	9,9
V	13,8	14,2	15,1	15,1
VI	17,0	17,6	18,1	18,1
VII	18,9	19,4	20,3	20,4
VIII	18,0	18,7	19,5	19,3
IX	14,3	15,0	16,0	15,6
X	8,8	9,4	10,2	9,8
XI	3,2	4,0	4,4	4,3
XII	0,7	0,0	-0,1	0,1
Jahresmittel	8,6	9,3	9,7	9,5

Wetterbeobachtungen aus Apetlon, 1962 und 1963
(nach Hydrogr. Dienst in Österreich, 1947)

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1962	Temp. °C	0,0	1,0	2,0	12,3	14,0	17,8	19,5	22,0	15,8	11,0	4,6	-2,8
	Regen mm	23	28	50	40	49	21	64	23	41	37	-119	35
1963	Temp. °C	-6	-4,8	2,6	11,5	15,3	19,4	21,5	20,1	17,2	10,3	8	-
	Regen mm	33	19	30	25	78	93	7	155	29	26,3	34	-

Vegetation

Nach den Angaben des Burgenländischen Landesarchivs (1954) kann der Seewinkel nach vegetationskundlichen Gesichtspunkten in drei größere Bereiche gegliedert werden: Der Süßwasserbereich ist um die nicht versalzten Lacken angeordnet. Hier finden sich alle Übergänge vom randlichen Schilfwuchs bzw. Sumpfwiesen bis zum trockenen Steppenrasen. Der Sodabereich deckt sich mit dem Vorkommen der Salzböden. Die hauptsächlichsten Bestandsbildner sind: *Chenopodium glaucum*, *Champhorosoma annua* Pall., *Suaeda maritima*, *Suaeda salza* Pall., *Suaeda pannonica* Beck, *Lepidium cartilagineum*, *Achillea asplenifolia* Vent., *Artemisia maritima* u. a. Der Kulturbereich, die dritte vegetationskundliche Großeinheit, ist durch fehlenden bis kaum vorhandenen Salzeinfluß gekennzeichnet. Er unterliegt einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung, daher sind ursprüngliche Standorte kaum noch anzutreffen. Kultiviert werden alle Getreide- und Hackfruchtarten, gegenwärtig finden besonders der Wein- und Feldgemüsebau eine intensive Förderung. Mit der Intensivierung Hand in Hand gehen Aufforstungen und anderweitige meliorative Maßnahmen zur Unterbindung der Winderosion; unter den verwendeten Holzarten haben sich *Robinia pseudoacacia* und auf salzbeeinflußten Standorten Ölweiden und Tamarisken am besten bewährt.

Eingehende Detailuntersuchungen waren dem Süßwasser- und Sodabereich gewidmet, wobei besonders auf die gürtelförmige Anordnung der Vegetationszonen um die Lacken, sowie auf die gleichförmige Mikrozonierung kleinerer, kaum 20/40 cm das übrige Salzbodenniveau überragender Sandrücken verwiesen wird (vgl. H. BOJKO (1932), H. FRANZ, HÖFLER, SCHERF (1937), G. WENDELBERGER (1947, 1950)]. Nach G. WENDELBERGER (1947) wird die Zonierung von der Salzlacke gegen die salzbeeinflußten Flächen durch folgende Assoziationen angezeigt: Sodalacke mit *Parvipotameto-Zannichellietum pedicellatae*. Strand mit *Crypsidetum aculeatae*. Wellenraum mit *Scirpetum maritima*. Niederung mit *Juncus Gerardi-Scorzonera parviflora*-Ass., Überschwemmungsraum mit *Pucinella-Aster*-, *Pucinellia-Lepidium-Pucinelliatum limosae Pholiuurus-Plantago tenuiflora*-Assoziationen. Lackensaum mit *Carex distans-Taraxacum bessarabicum*. Übergangsbereich zum Sandrücken mit *Comphorosmetum annuae* Bänken (Mikrostrandterrasse) mit *Staticeto Artemisietum*. Rücken mit *Festuca Pseudovina-Centaurea pannonica*-Assoziationen.

II. Allgemeiner Überblick über System, Genese und Eigenschaft der Salzböden

Für die Salzbodensystematik der europäischen bodenkundlichen Schule ist die im wesentlichen von K. K. GEDROIZ (1921, 1926) entwickelte russische Theorie der Salzbodenentstehung maßgebend gewesen. Von dieser werden die Salzböden nach genetisch-morphologischen Gesichtspunkten gegliedert, und zwar in den:

Solontschak: weißer Salzboden, bzw. salzhaltiger Gley.

Solonetz: schwarzer Salzboden bzw. Salzanmoor; durch Auslaugung des Solontschaks entstanden.

Solod: durch Versauerung der Solonetz-Eluvialhorizonte verbunden mit Abscheidung freier Kieselsäure aus dem Solonetz entwickelt.

In den USA (vgl. US Salinity Laboratory Staff, zit. b. D. W. THORNE und H. B. PETERSON, 1954) werden dagegen die Salzböden nach reiner Merkmalerfassung ohne Bezug auf ihre Entstehung folgendermaßen gegliedert:

Saline Soils (Salzböden): Leitfähigkeit (1:1) > 4000 μ S, Na^+ < 15%, pH < 8,5, wenig Soda.

Saline-Alkali Soils (Salz-Alkaliböden): L (1:1) > 4000 μ S, Na^+ > 15%, pH 8,5; bei

geringerer Na-Konzentration infolge Auslaugung kommt es zum Na^+ -Austausch in die Bodenlösung und zur Bildung von Na-Bikarbonat und Soda, was $\text{pH} > 8,5$ nach sich zieht.

Nonsaline-Alkaline Soils (salzfreie Alkaliböden): $L (1:1) < 4000 \mu\text{S}$, $\text{Na}^+ > 15\%$, $\text{pH } 8,5-10$.

Neuerdings ist versucht worden, diese beiden Einteilungsprinzipien miteinander zu vergleichen. Es zeigte sich jedoch, daß sie sich nicht zur Deckung bringen lassen [vgl. S. SZABOLCS und F. IASSO (1959), H. FRANZ (1960)].

Wesentliche Fortschritte hat die Salzbodenforschung in den letzten Jahrzehnten dadurch erreicht, daß es ihr gelang, die Charakteristik der einzelnen Salzbodenhorizonte zu verfeinern und andererseits die Zusammenhänge zwischen Relief, Hydrologie und Salzbodenentstehung aufzuzeigen. Die russische Schule wertet bekanntlich die Salzbodenentstehung als rein aktualistisches Geschehen: die Salzböden werden als klimatogene Bildungen herausgestellt, deren Profildifferenzierung durch endoperkoletive Überprägung der Solontschaks nach erfolgter Absenkung des Grundwassers zustande kommt. Auch W. KUBIENA (1953) vertritt diese Meinung, trennt jedoch scharf zwischen primären und sekundären Salzböden; zu den sekundären faßt er alle sekundär versalzten terrestrischen Böden zusammen. Im Gegensatz zu dieser Meinung konnte bereits E. SCHARF (1935) auf die kausale Verknüpfung mancher pannonischer Salzböden mit dem Relief und bestimmten geologischen Substraten verweisen. Besonders durch die Untersuchungen von H. FRANZ und seiner Schule und nach Sichtung umfangreichen Materials aus dem pannonischen und getisch-sarmatischen Raum hat sich gezeigt, daß viele Salzböden nicht durch die gegenwärtig wirksame Dynamik allein entstanden sind, sondern eine weit zurückgreifende Entwicklungsgeschichte hinter sich haben. Da diese Salzböden, die P. DUCHAUFOUR (1965) als *sols salins polycycliques*, bzw. *sols „salins“ fossiles* bezeichnet, ursächlich an salzführende geologische Horizonte geknüpft sind, können sie nur als substratogene Bildungen gelten.

Die chemischen und physikalischen Merkmale der Salzböden sind spezifisch ausgeprägt und unmittelbar voneinander abhängig. Wie es schon in der US-Nomenklatur zum Ausdruck kommt, sind hohe Mengen wasserlöslicher Salze bzw. ein hoher Na^+ -Sättigungsgrad die ersten wesentlichen Merkmale. Daten zu diesem Sachverhalt finden sich u. a. bei S. ARANY (1955), STEFANOVITS (1955), SZABOLCS (1955), US-Salinity Laboratory Staff (1954). Ermittelte chemische Daten sind keine Konstanten. Während des Jahres unterliegen sie oft einem starken Wechsel. Am stärksten schwanken die Werte der leichtlöslichen Chloride [vgl. V. A. KOVDA, zit. b. P. JANETZKY (1957)], während Sulfate und Karbonate schwerer auslaugbar sind und eine fortlaufende Anreicherung im Boden erfahren können. Als Indikator der Karbonat-, besonders der jahreszyklischen Sodadynamik kann das pH gelten. Ob dabei eine Salzanreicherung, eine Auslaugung oder eine stationäre Lage gegeben ist, wird nach den Richtlinien des Dokutschajev-Institutes an Hand des Versalzungs-faktors (SV) geprüft:

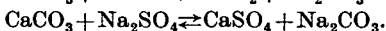
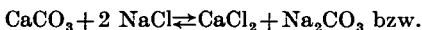
$$\text{SV} = \frac{\text{Gesamtsalzkonzentration, bzw. Konzentration eines Ions zu Ende der Trockenperiode}}{\text{Gesamtsalzkonzentration, bzw. Konzentration eines Ions zu Beginn der Trockenperiode}}$$

Eine Versalzung findet statt, wenn $\text{SV} > 1$. Der Versalzungs-faktor ist allerdings eine variable Größe und hängt ab vom Grundwasserstand, von der Salzkonzentration des Grundwassers, der Textur und Struktur und der Verdunstungsintensität. Grundwasser gelten als stark versalzt, wenn sie eine Salzkonzentration $> 50 \text{ g/l}$ aufweisen. Konzentra-

tionen < 10 g/l bedeuten eine schwache Versalzung (vgl. V. A. KOVDA). Zudem ist auch das Verhältnis von Na^+ : ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) wesentlich (vgl. D. G. WILENSKI, 1957). Ist der Quotient > 4 , wird besonders viel Na^+ durch den Boden sorbiert, ist der Wert < 1 , so erfolgt keine Na^+ -Sorptions. Im Zusammenhang mit dem Grundwasserstand wird von D. G. WILENSKI (1957) die kritische Tiefe zitiert; diese struktur- und texturabhängige Variable gibt an, bei welchem Grundwasserstand unter gegebenen Bedingungen eine Salzanreicherung im Boden stattfindet. Dieses liegt in der Regel zwischen 1,5–3,5.

Die Anreicherung der Salze kann über das Grundwasser, über Niederschläge und durch äolische Sedimentation erfolgen. Die erstgenannte Möglichkeit ist die allgemein geläufigste und wurde zuerst von der russischen Schule untersucht. Neuerdings liegen mehrere Angaben über die äolische Sedimentation von Salzen vor [vgl. V. A. KOVDA (1946, 1947), I. F. GARKUSCHA (1954), D. H. YALON (1963)]. Die je Hektar sedimentierten Salz mengen sind hoch und können bis zu 50 t/ha betragen.

Die Höhe der Salzanreicherung gibt allein noch keinen genügenden Aufschluß über die genetische Stellung des Salzbodens und seine Standortbedingungen. Ein wesentliches Kriterium ist das Vorhandensein von Karbonaten, Bikarbonaten, sowie von Natrium, bei dem man vor allem beachten muß, ob es in der Bodenlösung vorkommt oder an den Sorptionskomplex gebunden ist. Die extremsten Standorte finden sich auf Sodaböden. Die Entstehung der Soda ist aber ein sehr umstrittenes Problem, vor allem, weil unter natürlichen Bedingungen neben Na^+ stets auch Erdalkalitionen vorhanden sind, was im Gleichgewichtssystem $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{CaCO}_3$ stets eine Verschiebung nach rechts zur Folge hat. Aus diesem Grund neigt man heute zur Ansicht, daß vorhandene Soda nicht über weite Strecken herantransportiert, sondern weitgehend an Ort und Stelle gebildet wird (vgl. ANTIPOV-KARATAJEV, 1954). Diese Überlegung ist neben den hohen erforderlichen CO_2 -Konzentrationen, die zur Lösung von CaCO_3 benötigt werden, auch der Haupteinwand gegen die Erklärungsversuche der Sodabildung an Hand der Berthelot-Hilgard-Reaktion:



Obwohl nach den Literaturangaben, die bei W. P. KELLY (1951) gegeben werden, die Löslichkeit des Kalziumkarbonates bei Anwesenheit neutraler Na-Salze steigt, so darf doch nicht übersehen werden, daß bei Anwesenheit von Natriumkarbonaten die Dissoziation des Kalziumkarbonates eingeschränkt ist. Deshalb suchte DEDROIZ nach einer kolloidchemischen Erklärung und formulierte sie an Hand der Austauschtheorie: $\text{Boden-Na}_2 + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{Boden-Ca} + \text{Na}_2\text{CO}_3$, bzw. $\text{Boden-Na} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Boden-H} + \text{NaOH} \rightarrow 2\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$, bzw. $\text{Boden-Na}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{Boden-H}_2 + \text{NaCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$

Die modernen Untersuchungen [vgl. W. P. KELLEY (1951)], V. A. KOVDA (1946)] kehren vor allem die anaeroben Standortbedingungen auf Salzböden hervor. Dabei wird vor allem die Möglichkeit einer biochemischen Sulfatreduktion unter anaeroben Bedingungen nach $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{S}$ hervorgehoben, deren Produkt die Sodabildung sein kann.

Gerade das Na^+ ist für eine Reihe wesentlicher bodenphysikalischer Salzbodeneigenschaften verantwortlich. Beispielsweise hängt die Quellung und Schrumpfung eines Bodens wesentlich vom Kationenbelag ab, wobei die Quellung und Schrumpfung umso extremer ist, je stärker hydratisierbar die Ionen im Sinne der lyotropen Reihe sind (vgl. M. S. ANDERSON, 1929). Nach S. MATTSON (1932) haben wassergesättigte, reine Na^+ -Tone das vierfache Volumen eines Ca^{++} -Tones, bei einem Verhältnis von Ca^{++} : Na^+ am Sorptionskomplex von 1:1 beträgt das Volumen 5,08 gegenüber 1,86 eines reinen Ca^{++} -Tones. Solche Volumsvermehrungen üben einen Druck aus, der sich nach

der Freundlich-Prosnyakoff'schen Gleichung $P = P_0 \cdot c \cdot k$ berechnen läßt (P = Quelldruck des Geles, c = Konzentration des Geles, P_0 = Quelldruck je Geleinheit. Diese Gegebenheiten verdeutlichen, warum Salzböden einer starken Dispergierung unterliegen und nach Austrocknung von tiefen Schwundrissen durchgezogen werden.

Für den Wasserhaushalt der Salzböden ist von entscheidender Bedeutung ihre hohe Salzkonzentration. Die dabei auftretenden hohen osmotischen Drucke sind aber ganz wesentlich auch eine Funktion des Kationenbelages. So konnte H. WOLKWITZ (1960) nachweisen, daß bei gleichem Wassergehalt von 37 Vol. % ein Ca^+ -Boden dieses mit Saugspannungen von 2 at., ein Na^+ -Boden hingegen mit 5 at. bindet. Als Ursache dafür können der höhere Hydratwassergehalt des Na^+ (s. lyotrophe Reihe), die Dispersion der Tone und die damit verbundene Freilegung höherer Oberflächenaktivitäten genannt werden. Es ist einleuchtend, daß sich unter diesen Umständen der osmotische Druck zum normalen Saugspannungsdruck addiert. Die Bestimmung des osmotischen Druckes kann in vereinfachter Form nach Vant Hoff berechnet werden: $P = c \cdot R \cdot i$, wobei: c = molare Konzentration der Bodenlösung, R = Gaskonstante, i = isotonischer Koeffizient sind.

Die ernährungsphysiologischen Bedingungen auf Salzbodenstandorten sind daher extrem. Dabei fällt vor allem das disharmonische Angebot ins Gewicht, weniger die absolute Konzentration eines Stoffes. So ist den Literaturangaben bei F. SCHEFFER und E. WELTE (1955) zu entnehmen, daß z. B. Na^+ durch Zusatz von Ca^{++} , Mg^{++} entgiftet werden kann. Na^+ ist ein Nährstoff, es regelt nach WYBENGA (1957) den Quellenzustand der Plasmakolloide und die osmotischen Verhältnisse. Es scheint für die Bildung von Kohlehydraten, weniger jedoch für die Eiweißbildung nötig zu sein. Manche K^+ -Mangelsymptome gehen tatsächlich auf Na^+ -Mangel zurück; ein erhöhtes Na^+ -Bedürfnis scheinen Betarüben und Tomaten zu besitzen (vgl. Literatursammlung bei F. SCHEFFER und E. WELTE, 1955, K. HENGEL, 1961, P. SCHACHTSCHABEL, 1955, W. BAUMEISTER, 1960).

Ein wesentliches Moment für die Pflanzenernährung auf Salzbodenstandorten ist die Beachtung der Nährstoffantagonismen. Ein solches besteht sowohl zwischen den beiden Alkaliionen K^+ und Na^+ als auch zwischen diesen und den Erdalkalien, sowie zwischen den letzteren selbst.

Salzpflanzen scheinen ein enges $\text{K}^+ : \text{Na}^+$ Verhältnis zu verlangen (J. ZELLNER [1926], BERTRAND und ROSENBLATT (1930)]. Umgekehrt müssen Meliorationsmaßnahmen die bei P. SCHACHTSCHABEL (1955) zusammengestellten optimalen Nährstoffverhältnisse anzustreben trachten. Es sei noch vermerkt, daß die Na^+ -Aufnahme auch eine Funktion des Anions zu sein scheint, wobei eine wechselseitige Begünstigung der Aufnahme zwischen Natrium, Phosphaten und Bikarbonaten vorliegen dürfte (vgl. K. SCHARRER und L. JUNG (1957), M. GRACANIN (1952), J. J. LEHER (1940)].

III. Die untersuchten Böden

Lage der Profile

Die untersuchten Böden liegen im Bereich des Seewinkel-Hofes, des ehemaligen Püspökhofes. Das Gelände ist eben bis flachwellig und mäßig gegen die Lange Lacke im W geneigt. Es liegt am Schnittpunkt der beiden Landschaftsbereiche des Seewinkels, der würmeiszeitlichen Schotterflur des Donauschwemmfächers und der Seenplatte. Östlich des Hofes liegen z. T. mächtige Schwemmlößdecken auf den solifluidal verschliffenen Rändern des Schotterfächers. In diese Fläche wurde ein Profil gelegt; der Tschernosem darauf ist mäßig entwickelt, im Unterboden schwach versalzt und sandig-schluffig. Westlich des Hofes ist die Catena der Seenplatte voll entwickelt. Weite Verbreitung finden Solontschak-Solonetze. Die Solonetze sind rund 1000 m SW des Seewinkelhofes

prächtig entwickelt, sie zeigen den typischen Kolumnenhorizont, der hier in einem fossilen Salzanmoor des Riß-Würm mit Pollen von *Pinus* sp., *Larix*-Holz und -Zapfen entwickelt ist. 1960 konnte die Stratigraphie entlang eines Entwässerungsgrabens gut studiert werden: die Sedimente des Würm lagern auf der Schichtfolge des Riß/Würm und Riß, welche ihrerseits gegen die zentralen Flächen des Würm-Schotterfächers, wo sie einer deutlichen Erosion unterlegen sind, auskeilen.

In die Salzbodencatena wurden zwei Profile gelegt: der Solontschak-Solonetz liegt auf einer alten Hutweide W des Seewinkel-Hofes; der salzführende Horizont ist mit einer seichten holozänen Sand-Schluff-Auflage bedeckt. Der Solonetz liegt 1000 m SW des Hofes, es ist ein Stockwerksprofil, dessen Oberkante über dem fossilen A-Horizont holozänen Ursprungs ist.

Profilbeschreibung

Profil A: Solonetz.

Lage: S Lange Lacke, ca. 300 m N Straße Apetlon-Wallern.

Relief: Rand einer flachen Erosionsstufe, eben — flachwelliges Gelände.

- A₁ 0–15 cm. Kräftig dunkelgrau (10YR 2/2). Humos, Mull. Lehmig-feinsandiger Schluff. Plastisch nicht klebend. Undeutlich krümelig. Gut durchwurzelt. Übergehend.
- Afos₁Bh 15–38 cm. Schwarz (5YR 2/1). Stark humos, Pechanmoor. Schluffiger Lehm, in den Schwundrissen schluffiger Sand. Plastisch, klebend. Großkolumnare Struktur. Deutliche Humusüberzüge, an der Horizontbasis intensiver. Biologisch untätig, übergehend.
- Afos₂Bh 38–50 cm. Dunkelgrau (5YR 3/1). Stark humos. Pechanmoor und fossiler Wurzelfilz. Schluffiger Lehm, stark schotterig.
- Sa 50–80 cm. Mischfarbe rötlich (5YR 7/3). Stark lehmiger Schluff, starker Schotterbesatz an der Oberkante (nach unten abnehmend). Strukturlos, dicht. Rostfleckig.
- D ab 80 cm. Schotter.
- Anm.: A₁ — holozäne Überlagerung. Afos₁Bh — fossiles Pechanmoor, Kolumnenhorizont. Afos₂Bh — fossiler Wurzelfilz und Pechanmoor, Sa — salzführender Horizont. D — Rißschotter.

Dieses Profil setzt sich aus zwei Stockwerken, also Sedimenten verschiedenen Alters, zusammen: Der A₁-Horizont ist bereits vollständig biologisch umgeprägt, er weist ein spätwürmzeitliches Alter auf. Dieses Sediment war von Anfang an stark sandig und salzfrei. Es überlagert den Humushorizont eines älteren Bodens, der nach H. FRANZ und G. HUSZ (1961) riß-würminterglazialen Alters ist und einem Salzanmoor entspricht. Das bodenbildende Sediment darunter entspricht dem „salzführenden Horizont“; dieses Sediment, das schwermineralogisch von G. FRASL (1961) untersucht wurde, wird bei G. HUSZ (1962, 1963) als Schwemmlöß II (Arbeitsbegriff) bezeichnet.

Profil B: Solontschak-Solonetz

Lage: NO Lange Lacke, ca. 70 m W des neuangelegten Karpfenteiches am Püspökhof.

Relief: eben, Randbereich einer flachen Ausräumungsrinne.

- A₁Sa 0–15 cm. Kräftig dunkelgrau (10YR 3/1). Humos, Mull. Toniger Schluff, leicht schottrig. Zusammengesetzte Struktur: undeutliche großprismatische Aggregate, zusammengefügt aus mittel-feinblockigen und granulären Einheiten. Dicht gelagert, nur vereinzelt feinporig. Absetzend.
- A₂Sa 15–32 cm. Grau (5YR 5/2). Schwach humos. Feinsandig toniger Schluff, schwach schottrig. Mittel-feinblockig, schwach feinporös. Mäßig durchwurzelt, übergehend.
- Ag 32–44 cm. Rötlichgrau (M 5YR 5/2). Schwach humos. Feinsandig toniger Schluff, schwach schottrig. Mittelblockig. Undeutlich rostfleckig, Filme entlang der Schwundrisse. Schwach durchwurzelt.
- SaGO₁ 44–80 cm. Rötlichgrau (5YR 6/2). Stark lehmiger Schluff, mäßiger Buntschotterbesatz. Undeutlich blockig. Rostfleckig, Humuscoatings entlang der Schwundrisse. Übergehend.
- SaGO₂ ab 80 cm. Hellrotbraun (M 5YR 6/3). Stark lehmig, schluffiger Sand. Strukturlos. Rostfleckig.
- DG Basissand.

Bei diesem Profil handelt es sich um kein so deutliches Stockwerkprofil wie bei Profil A, wie überhaupt bei der Ausprägung der Bodenhorizonte keine deutlichen morphologischen Hinweise für einen neuen Haupttypus aufscheinen. Wie die Analysen zeigen, handelt es sich um einen Übergangsboden zwischen Solontschak und Solonetz, wobei der Oberboden durch häufige Überschwemmungen und dadurch bedingten Wechsel zwischen Erosion und Sedimentation als dünne Überschiebung mit einem jüngeren Sediment aufzufassen ist. Das bodenbildende Sediment ist aber auch hier wieder der salzführende Horizont.

Profil E: Tschernosem

Lage: 30 m O Weg zum Püspökhof, 1 km N Straße Apetlon-Wallern.

Relief: eben — undeutlich flachwellig.

- A₁p 0–18 cm. Schwarz (10YR 2/1). Humos, Mull. Lehmig-schluffiger Sand. Krümel, normal gelagert. Durchwurzelt, tätig. Übergehend.
 A₂p 18–28 cm. Schwarz (10YR 2/1). Humos, Mull. Lehmig-schluffiger Sand. Großkrümelig, leichte Verdichtungen. Durchwurzelt, tätig.

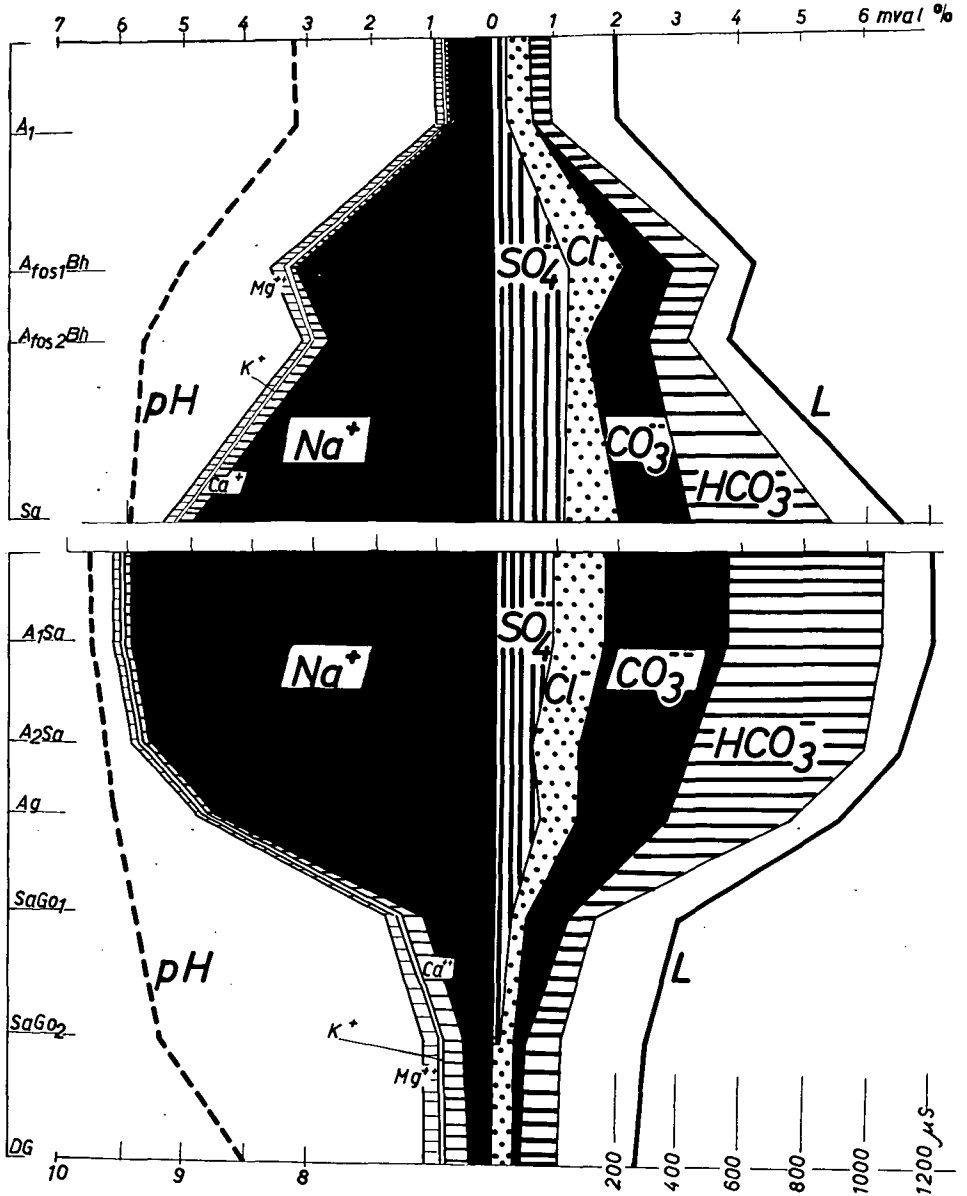


Abb. 2. Verteilung der wasserlöslichen Salze, des pH und der Leitfähigkeit im Solonetz (oben) und Solonchak-Solonchak (unten).

AC 28–55 cm. Kräftig dunkelbraun (10YR 3/2). Schwach humos, humusfleckig. Lehmig-schluffiger Feinsand, in 33/38 cm schwacher Schotterschleier. Undeutlich blockig. Durchwurzelt. Übergehend ab 55 cm. Schwach lehmig-schluffiger Sand, vereinzelt Kies. Viele Kalkkonkretionen. Übergehend in ab 68 cm. grauen (5YR 6/1), schwach lehmig-schluffiger Sand, vereinzelt Kies. Schwach durchwurzelt.

Anm.: Grundwasserstand ca. 3 m.

Bei diesem Profil handelt es sich um einen Tschernosen aus vorwiegend sandigem, lößähnlichem Material. Es handelt sich um ein Sediment, das würm- bzw. spätglazialen Alters ist.

Chemische Charakteristik

In den Abb. 2 und 3 ist die Verteilung der wasserlöslichen Salze in den drei untersuchten Profilen einander gegenübergestellt. Die von Horizont zu Horizont stark wechselnden Werte weisen Stockwerksprofile aus. So steigen im Profil des Solonetz die Werte nach

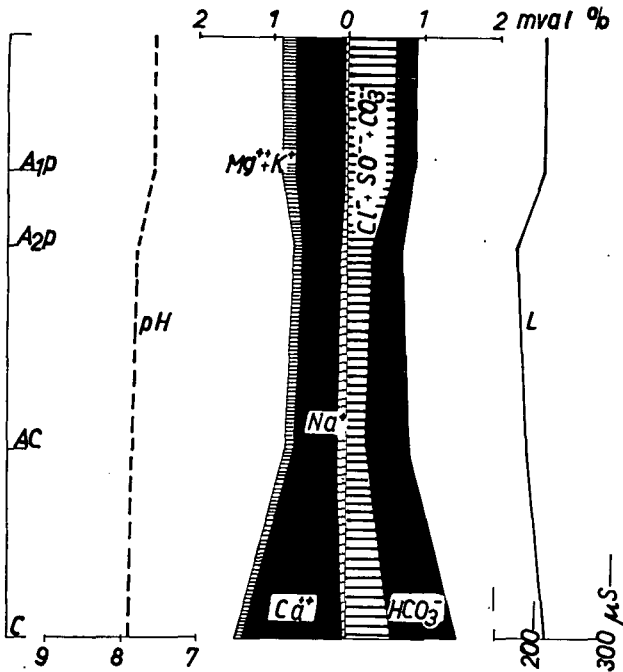


Abb. 3. Verteilung der wasserlöslichen Salze, des pH und der Leitfähigkeit im Tschernosem.

unten hin stark an und liegen in 80 cm gleich hoch wie die Werte des darunter abgebildeten Solontschak an der Oberfläche; der Chemismus unterstreicht hier die schon stratigraphisch treffbare Aussage, wonach die starke Versalzung an den salzföhrnden Horizont geknüpft ist, welcher im Solontschakprofil die Oberkante bildet. Im Solonetz zeigt sich ein zweites Maximum der Salzanreicherung, es liegt im A_{f0s1} Bh. Alle Kationen und Anionen zeigen den gleichen Kurvenverlauf, lediglich das CO_3 zeigt im A_{f0s2} Bh eine gegenteilige Tendenz, was sich auch sehr eindeutig in der Reaktion auswirkt: da der Anteil der Anionen aller starken Säuren sinkt, steigt das pH stark an. Im übrigen zeigt sich sowohl im Solonetz als auch Solontschak die gleiche Verteilung der Kationen: $Na^+ > Mg^{++} > Ca^{++} > K^+$. Bei den Anionen zeigen sich Abweichungen zwischen Solonetz und Solontschak,

denn im Solontschak überwiegen deutlich die Karbonate und Bikarbonate, während sich beim Solonetz der Anionenanteil der starken Säuren, besonders des Sulfates, durchaus in der Größenordnung des Karbonates und Bikarbonates bewegt.

Die Leitfähigkeitskurve verläuft in beiden Böden in strenger Abhängigkeit vom Salzgehalt. Es verdient, auf den starken Abfall der wasserlöslichen Salze im Unterboden des Solontschak hingewiesen zu werden; ihr Anteil im Basishorizont (DG) steigt nur unwesentlich über den Salzanteil des holozänen Oberbodens im Solonetz.

Im Vergleich zu den beiden Salzbodentypen zeigt der Tschernosem (Abb. 3) einen relativ sehr niederen Salzgehalt im Wasserauszug. Dementsprechend steigt auch die Leitfähigkeit nicht über 215 μ S. Die Schwankung der Kurve im Profil läßt erkennen, daß verschiedene Straten das Profil aufbauen. Obwohl der Salzgehalt gering ist, liegt die Reaktion zwischen pH 7,6 und 7,9. Dieser Sachverhalt ist auf den hohen Anteil des Bikarbonates zurückzuführen; alle übrigen Anionen sind in untergeordnetem Maße vertreten. Das dominierende Kation ist das Kalzium, die weiteren Alkali- und Erdalkalitionen sind in geringer Konzentration vorhanden.

Das Verhältnis von Ca^{++} : Na^+ beträgt 68: 7,5; im Vergleich dazu beträgt es im Solontschak 2,3: 96 und im Solonetz 1,7: 89. Vergleiche hiezu Anhang Tabelle 3.

In Abb. 4 ist die Ionenverteilung am Sorptionskomplex des Solonetz und des Tschernosems gegenübergestellt. Die Darstellung wurde beim Solonetz so gewählt, daß links der O-Linie die zwei dominierenden Kationen, das Na^+ und Ca^{++} , aufgetragen wurden, während K^+ und Mg^{++} rechts von der O-Linie verzeichnet sind. Am Hand dieser Darstellung wird ersichtlich, daß das Na^+ in allen Horizonten des Solonetz (ausgenommen in der Krume) dominiert. Das Ionenverhältnis in den beiden Böden ist somit das folgende:

$Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++} > K^+$ beim Solonetz

$Ca^{++} > Mg^{++} > K^+ > Na^+$ beim Tschernosem.

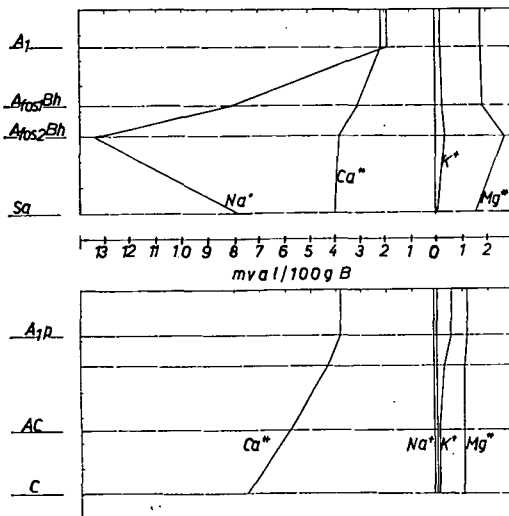


Abb. 4. Verteilung der austauschbaren Kationen im Solonetz (oben) und Tschernosem (unten).

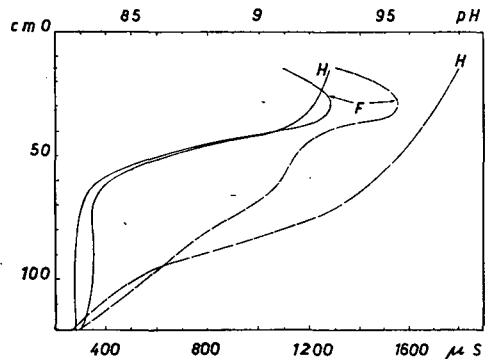


Abb. 5. Jahreszyklische Dynamik des Solontschak-Solonetz. Darstellung an Hand des pH (strichlierte Kurve) und der Leitfähigkeit. F - Frühjahr, H - Herbst.

Beim Solonetz sei noch auf die Unterschiedlichkeit zwischen dem Anteil der sorbier-ten Ionen und der wasserlöslichen Salze verwiesen (vgl. auch Abb. 3). Das Maximum an sorbierten Ionen fällt räumlich mit einem Minimum an wasserlöslichen Salzen (Bh-Horizont) zusammen. Zur Maximumbildung trägt nun nicht etwa nur das Na^+ bei, sondern alle austauschbaren Ionen. Im gleichen Zusammenhang ist zu vermerken, daß an der Profilbasis, wo ja der wasserlösliche Salzanteil wiederum steigt, das Verhalten von Na^+ und Ca^{++} gegenläufig ist: Na^+ nimmt ab, das Ca^{++} aber zu. Interessant ist ferner, daß sich in der Ionenkombination der Krume wiederum der Stockwerkcharakter spiegelt: die Krume der Solonetze ist der einzige Solonetz-Horizont, worin der Ca^{++} -den Na^+ -Sättigungsgrad übersteigt (vgl. hiezu Anhang Tabelle 6/7). Die in Abb. 2 und 4 dargestellten Werte sind nun keinesfalls als statische Größen zu werten.

Im Jahresablauf stellen sich vielmehr sehr beträchtliche Schwankungen ein. Diese Schwankungen wurden am Solontschak während eines Jahres an Hand der pH- und Leitfähigkeitswerte verfolgt und sind in Abb. 5 dargestellt. Die einschlägigen Untersuchungen wurden vom August 1962 bis zum Frühjahr 1963 periodisch durchgeführt. Monatlich wurden einmal Proben aus dem Solonetz und dem Solontschak-Solonetz (Profil A und Profil B) entnommen. Bis November 1962 konnten keine wesentlichen Änderungen festgestellt werden, dann aber ergaben sich bis zum Frühjahr 1963 deutliche Unterschiede. Die Änderungen gingen in beiden Profilen vor sich, aber nicht in gleicher Weise: während beim Profil A (Solonetz) die Leitfähigkeit im Bh-Horizont nur geringfügig abnahm, sank der pH-Wert viel deutlicher ab. Im Profil B (Solontschak-Solonetz) war im Frühjahr 1963 sowohl der pH-Wert als auch die Leitfähigkeit stark gesunken. Die deutliche Schwankung der Leitfähigkeit trat aber nur bis zu einer Tiefe von 25 cm auf und erreichte hier auch ihr Maximum, die pH-Werte hatten sich dagegen bis in größere Tiefen geändert. Das Grundwasser liegt ca. 100 bis 150 cm tief, kann aber in feuchten Frühjahren bis 80 cm ansteigen. Es besitzt eine Leitfähigkeit von $\sim 1300 \mu \text{ S}$ bei 20° C . Die in Abb. 5 angeführten Werte beziehen sich auf Messungen im Oktober 1962 und Mitte April 1963 (nach der Schneeschmelze). Der jahreszeitliche Salzfaktor SV ist größer als 1 (Profil B), nimmt aber mit zunehmender Tiefe ab. Stellt man diese Untersuchung für das gesamte Profil an, dann zeigt sich kaum eine Änderung im Gesamtsalzgehalt des Profiles. Innerhalb des Profiles aber kommt es zu starken Konzentrationsschwankungen. Diese bewegen sich beim Profil B in den Tiefen 0–15 cm und 15–35 cm, d. h. daß sich die Salzdynamik dieses Bodens innerhalb der oberen 35 cm abspielt. Wenn man von der Versickerungsmöglichkeit entlang der in den obersten 15 cm vorhandenen Wurzelgänge absieht, zeigt der beobachtete Boden (Profil B) praktisch keine Durchlässigkeit. Wenn es trotzdem zu einer Dynamik in begrenzten Bereichen kommt, so hängt dies möglicherweise mit den Saugspannungs- und Konzentrationsdifferenzen innerhalb des Profiles zusammen, die erhebliche Kräfte mobilisieren können, welche zum Ausgleich dieser Differenzen drängen. Neben den Konzentrationsschwankungen treten auch Änderungen im pH-Wert auf, die auf eine Änderung der Salzzusammensetzung schließen lassen (vergl. Anhang Tab. 10).

Zur weiteren Charakterisierung der Salzbodendynamik wurde ein Versuch angestellt, der über die sekundäre Versalzung sowie die Möglichkeit einer Salzbodenmeliorierung mittels Überschichtung mit salzfreiem Bodenmaterial Aufschluß geben sollte (Abb. 6). Auf einen Solontschak wurden 20 cm Bodenmaterial eines Tschernosems aufgebracht und die Salzdynamik in dieser frisch aufgetragenen Auflage vom 5. August bis 28. Oktober 1962 verfolgt. Die ermittelten Ergebnisse sind in Abb. 6 dargestellt.

Die Leitfähigkeit der Auflage bewegte sich zu Versuchsbeginn in den Grenzen normaler, nicht versalzener Böden. Einen Monat später begann sich die Leitfähigkeitskurve

im untersten Teil der Auflage zu verschieben, weil sich der kapillare Aufstieg der Salzlösung vom begrabenen Solontschak her dort auszuwirken begann. Der Anstieg zwischen 15/20 cm betrug das Doppelte bis Dreifache gegenüber dem Ausgangswerte; bei 10 cm konnte man dann allerdings keinen Anstieg mehr beobachten. Im Kurvenverlauf vom 20. September spiegeln sich die feuchteren Witterungsverhältnisse und die künstliche Bewässerung wider, (während der gesamten Versuchperiode wurden ca. 300 mm Regen in Form von künstlicher Beregnung gegeben). Die drei Wochen zuvor bereits bis 15 cm kapillar gehobenen Salze wurden wieder bis in den unmittelbaren Grenzflächenbereich des Solontschak ausgewaschen. Nach dem Einsetzen trockener Spätherbstwitterung erfolgte wieder ein ruckartiger kapillarer Hub, der diesmal bis 10 cm unter die Oberkante reichte und den Ausgangswert der Leitfähigkeit um ein Drittel bis zum Vierfachen ansteigen ließ (vergl. Anhang Tab. 11).

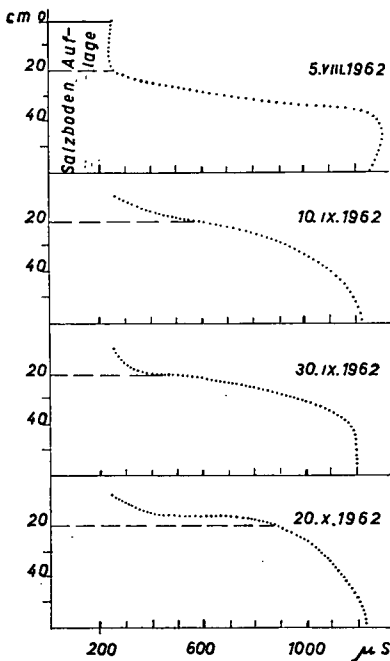


Abb. 6. Beispiel sekundärer Versalzung: Entwicklung des pH und der Leitfähigkeit in einer seicht (20 cm) auf einen Solontschak-Solonetz am 5. VIII. 1962 aufgetragenen Tschernosemauflage.

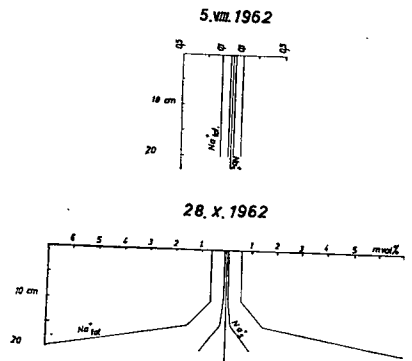


Abb. 7. Beispiel sekundärer Versalzung: Entwicklung des Na^+ -Sättigungsgrades in der seicht aufgetragenen Tschernosemauflage.

Die entsprechenden Vorgänge am Sorptionskomplex bestanden in einer sprunghaften Zunahme des Na^+ . Diese betrug bis zu 10 cm, ca. das Fünffache des Ausgangswertes, während ab 10, besonders aber ab 15 cm die Zunahme beinahe in der Größenordnung einer Zehnerpotenz lag (siehe Abb. 7).

Die Salzdynamik bedingt eine spezifische Verwitterung. Diese wurde in einem Solonetz untersucht ($A_{\text{fos}}\text{Bh}$ -Horizonte) und mit der Verwitterungsart und -intensität in einem Tschernosem (A_{p} -Horizont) verglichen (Abb. 8).

Die unterschiedliche Verwitterungsart wird am augenscheinlichsten durch den SiO_2 : R_2O_3 -Quotienten demonstriert. Der Kieselsäuredynamik kommt in Salzbodenhorizonten eine große Bedeutung zu, da die (freie) Kieselsäure die Plastizität und Quellbarkeit des Bodenmaterials maßgebend mitbestimmt. Der genannte Quotient ist im Solonetz > 1 , im Tschernosem < 1 . Diese Werte zeigen den sehr unterschiedlichen Verlauf der Kieselsäurefreisetzung im neutralen und alkalischen Reaktionsbereich. Gleichzeitig wird aber auch deutlich, daß sich das R_2O_3 des Solonetz zu über $2/3$ aus Al_2O_3 zusammensetzt, während das Al_2O_3 am R_2O_3 des Tschernosem nicht einmal ein Drittel ausmacht. Damit zeigt sich, daß im Solonetz von den R_2O_3 vorwiegend Al_2O_3 als Aluminat freisetzbar ist, während im Tschernosem beträchtliche Mengen freien Eisens gebildet werden. Um zu den bodenphysikalischen Aussagen dieser chemischen Daten zu kommen, muß erwähnt werden, daß gerade der hohe Anteil der Kieselsäure mit ein Faktor für die Plastizität und Quellbarkeit des Substrates ist. Wenn man diese Verschiedenheit zwischen Solonetz und Tschernosem an Hand eines der gebräuchlichen Quotienten zu charakterisieren versucht [vgl. H. HARRASSOWITZ (1929), H. H. BENNETT (1926) und H. JENNY (1948)] muß gesagt werden, daß in diesem Fall der SiO_2 : R_2O_3 -Quotient die unterschiedlichen Verhältnisse besser wiederzugeben vermag als der Ki-Quotient SiO_2 : Al_2O_3 .

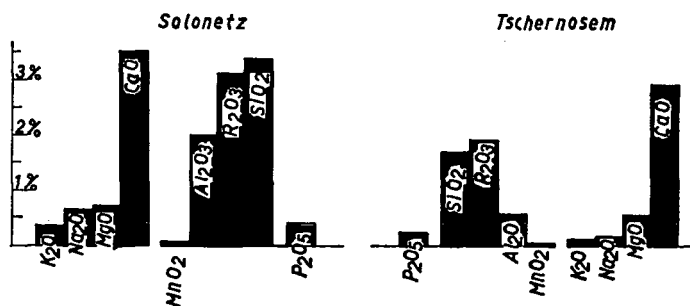


Abb. 8. Verwitterungsart und -intensität eines Salz- und eines Steppenbodens. Darstellung an Hand der Salzsäureauszüge aus den ABh- und Ap-Horizonten.

Aus Abb. 8 ist auch die bedeutend höhere Intensität der Verwitterung im Solonetz ersichtlich. Sämtliche Oxyde sind im Solonetz, wenn man von den auf die Verwitterungsart Rückschlüsse gestattenden Al_2O_3 und Fe_2O_3 -Oxyden absieht, zu einem höheren Prozentsatz vertreten: besonders augenscheinlich ist aber der hohe Anteil des CaO. Von praktischem Interesse ist es ferner, daß auch der Phosphatanteil im Solonetz höher ist. Dieses Phosphat liegt in diesem alkalischen Milieu in Form schwer löslicher Apatite vor; in einem der üblichen Extraktionsmittel, z. B. Doppellactat, waren nur ganz geringe Mengen nachweisbar (vgl. Anhang, Tabelle 8 und 9).

Zwecks genauer Überprüfung der Verwitterungsart wurden im Solonetz und Tschernosem sämtliche Horizonte bis zu einer Tiefe von 60/80 cm sowohl in 5-prozentiger KOH als auch in 5-prozentiger NaOH auf freie Kieselsäure und freies Aluminium geprüft (Abb. 9).

Abgesehen vom schärferen Auszug durch die Natronlauge decken sich die durch die verschiedenen Extraktionsmittel gewonnenen Kurven in großen Zügen. Die Kieselsäure und Tonerde-Kurven zeigen einen gleichsinnigen Verlauf, bis sie sich in einer bestimmten Tiefe schneiden; auf diesen Sachverhalt muß weiter unten noch näher eingegangen wer-

den. Im Solonetz zeigt sich das Kieselsäuremaximum im A_{fos_1} Bh und A_{fos_2} Bh, nach unten, gegen den salzföhrnden Horizont, nimmt die Kieselsäure relativ sprunghaft ab und wird hier vom Tonerdemaximum überholt. Aller Wahrscheinlichkeit nach gibt der NaOH-Auszug das Kieselsäuremaximum im A_{fos_1} Bh richtig wieder, denn es kann angenommen werden, daß das quarzsandreiche Material dieses Horizontes stark zersetzt ist, sodaß die schärfer wirkende NaOH nicht aber die KOH das in Gelform übergegangene Material miterfaßt. Interessanterweise zeigt auch der Tschernosem ein Kieselsäuremaximum zwischen 18/20—30 cm und auch hier sinkt, bei gleichzeitiger Al-Maximumbildung, der Kieselsäureanteil nach unten sprunghaft ab.

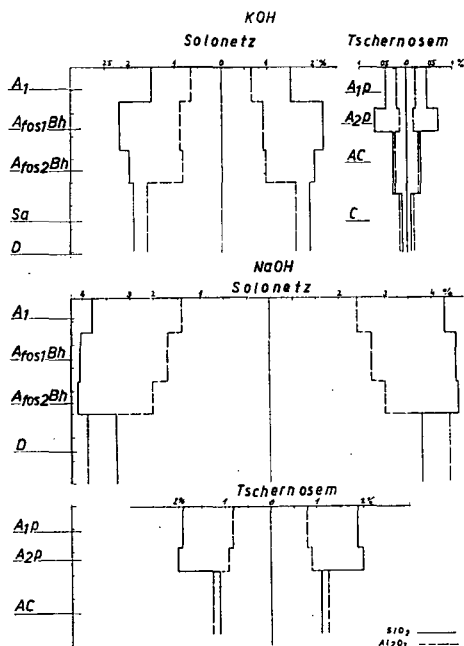


Abb. 9. Verwitterungsart und -intensität eines Salz- und eines Steppenbodens. Darstellung an Hand der 5%igen KOH- und NaOH-Auszüge.

Physikalische Charakteristik

In Abb. 10 ist nebeneinander der Kurvenverlauf der Plastizitätszahlen nach A. ATTERBERG (1911, 1912) und der Kurvenverlauf der Rohtongehalte eingetragen. Beide zeigen zwar einen weitgehend parallelen Verlauf, es zeigt sich aber auch, daß sich die Fingerprobe mehr mit den Atterbergkonstanten deckt. Dies zeugt davon, daß in der Fraktion $< 2 \mu$ bedeutende Unterschiede liegen müssen. Diese Unterschiede gehen weitgehend auf Anteil und Form der freien Kieselsäure zurück. Im Solonetz z. B. variiert ihr Anteil gleichsinnig mit den Plastizitätszahlen, im Tschernosem dagegen dürfte Kieselsäure vorliegen, die kolloidchemisch weitgehend inaktiviert ist und es daher zu Divergenzen im Verlauf der beiden Kurven kommt (vergl. Tabelle 1 und Anhang, Tab. 12).

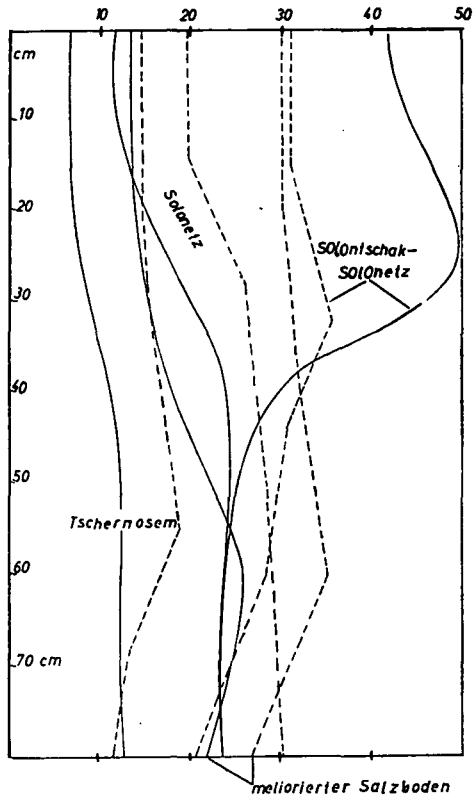


Abb. 10. Verlauf der Rohntonkurven (strichliert) und der Plastizitätszahlkurven.

Tabelle 1: Plastizitätszahlen, Ausroll- und Fließgrenzen

	Horizont in cm	Fließgrenze	Ausrollgrenze	Plastizitätszahl
Tschernosem (Profil E)	0 - 18	20	13,6	6,40
	18 - 28	20,94	13,33	6,67
	28 - 55	24	16	8,00
	55 - 68	26	14	12,00
Solonetz (Profil A)	0 - 14	27	15	12,00
	15 - 38	33	13	20,00
	38 - 50	38	13,9	24,10
	50 - 80	38	12,4	23,60
Solontschak-Solonetz (Profil B)	0 - 15	56	13	43,00
	15 - 32	62	12,4	49,60
	32 - 44	44	12,9	31,10
	44 - 60	36	12,1	25,50
	60 - 80	36	12,1	23,90
meliorierter Solontschak-Solonetz (Profil C)	0 - 20	30,6	16	14,00
	20 - 40	35,4	16,66	18,74
	40 - 60	36	14,5	21,50
	60 - 80	35	13	22,00

Die Saugspannungsdiagramme sind den Abb. 11–14 zu entnehmen. Daraus ist zu ersehen, daß im Tschernosem, aber auch in der salzfreien Auflage über dem fossilen Salzanmoor der Wassergehalt kontinuierlich mit der Stärke der angelegten Saugspannung sinkt. Eine unbedeutend stärkere Bindung des Wassers im Tschernosem ist lediglich im pF-Bereich 2,5–3 feststellbar; dieser Sprung im Kurvenverlauf verstärkt sich nach

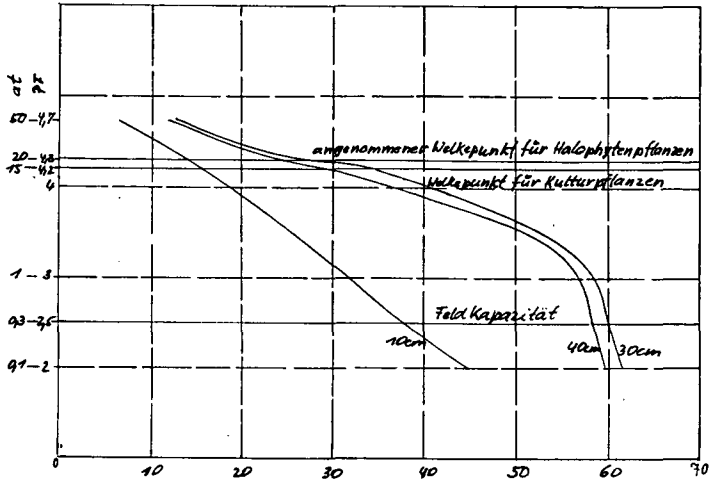


Abb. 11. Saugspannungsdiagramm des Solonetz.

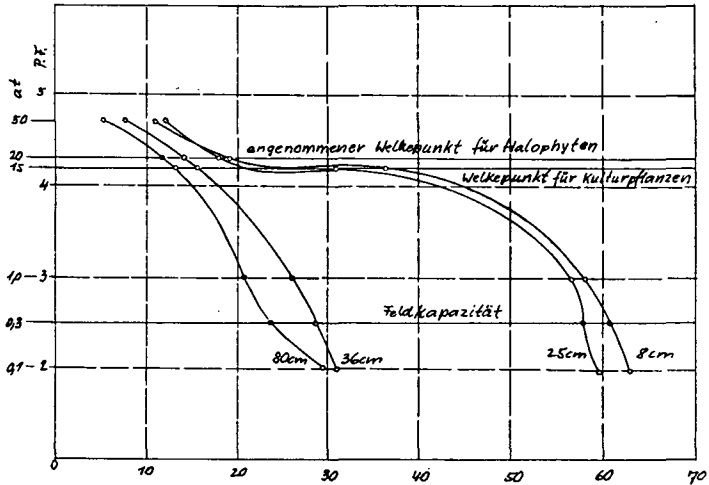


Abb. 12. Saugspannungsdiagramm des Solontschak-Solonetz.

unten und ist in 80 cm, wo das Maximum der wasserlöslichen Salze und des sorbierten Ca^{++} der untersuchten Profiltiefe liegt, am höchsten. Eine derartige Ausbildung von Kurvenknicken ist typisch für die Salzbodenhorizonte. Die Kurven verlaufen nicht geradlinig und steil ansteigend, wie man sie von schweren Tonböden gewohnt ist. Es läßt sich vielmehr feststellen, daß im Saugspannungsbereich der Feldkapazität und darüber bis ungefähr pF 2,3 weniger Wasser abgegeben wird als im höheren Saugspan-

nungsbereich. Die Menge des abgegebenen Wassers sinkt im niederen Saugspannungsbereich umso mehr, je höher der Salzanteil steigt, bis schließlich in den Solontschak-kurven der Wassergehalt an der Grenze des Welkepunktes sprunghaft um ein ganzes Drittel abnimmt. In Salzböden tritt also das Phänomen auf, daß ihre Entwässerung unter dem Welkepunkt sehr langsam, an seiner Grenze aber ruckartig erfolgt; der Entwässe-

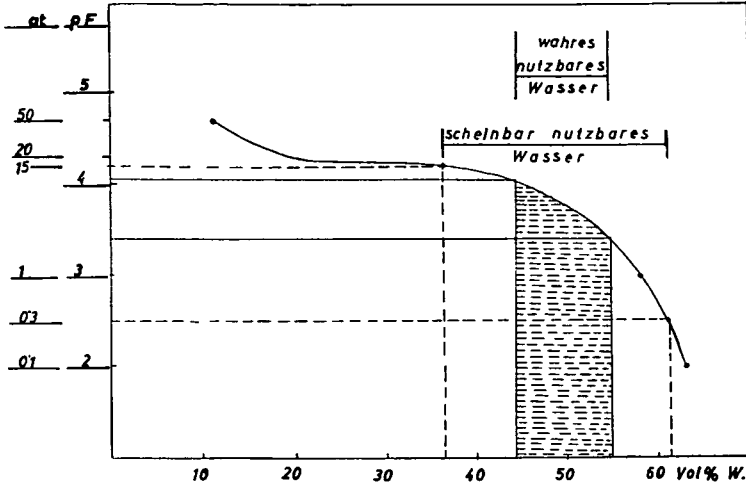


Abb. 13. Korrigiertes Saugspannungsdiagramm des Solontschak-Solonetzes.

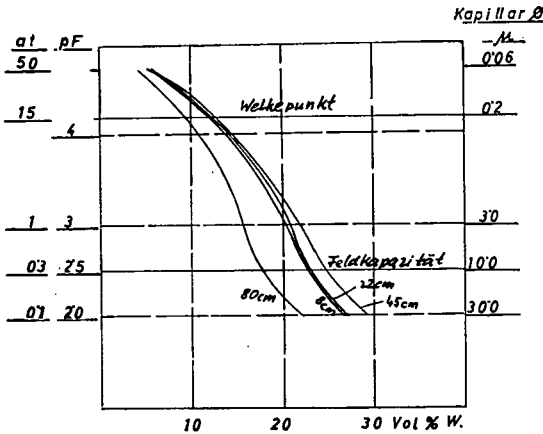


Abb. 14. Saugspannungsdiagramm des Tschernoems.

rungsstoß ist dabei umso größer, je höher der Anteil der wasserlöslichen Salze ist (siehe Anhang, Tabelle 13 und 14).

Bei der Ermittlung des pflanzennutzbaren Wassers muß von der Überlegung ausgegangen werden, daß bei fortschreitender Entwässerung die Salzkonzentration der Bodenlösung erhalten bleibt und das Wasser daher einer doppelten Saugspannung durch die kapillaren und die osmotischen Drucke ausgesetzt ist. Eine exakte Feststellung der



Abb. 15a

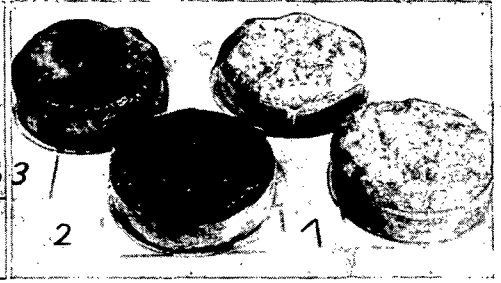


Abb. 15b

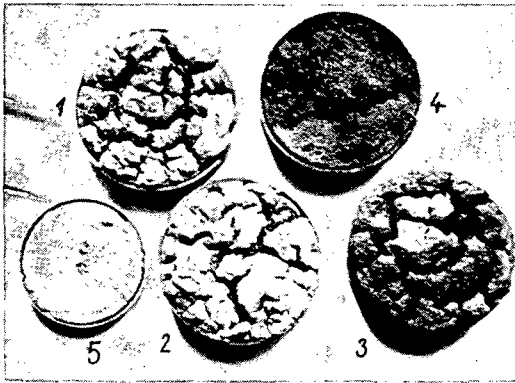


Abb. 16a



Abb. 16b

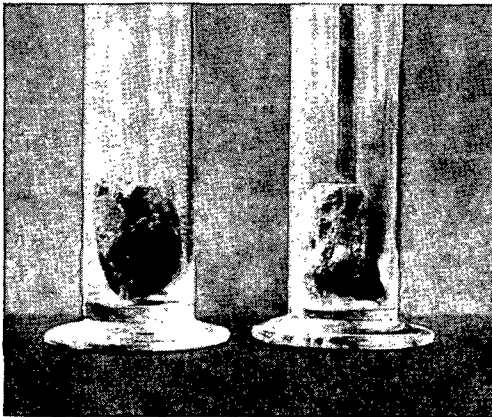


Abb. 17a

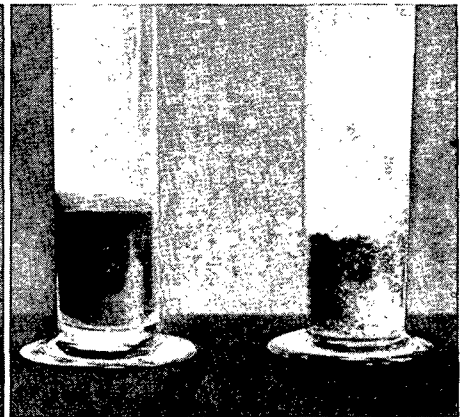


Abb. 17b

Bindungsfestigkeit des Wassers wird erst möglich sein, wenn in der Folge die tatsächlichen osmotischen Drucke mittels einer Gefrierpunktniedrigungsapparatur nachgeprüft werden können. Zur Zeit dieser Untersuchungen stand mir ein derartiges Gerät nicht zur Verfügung, weshalb versucht wurde, die osmotischen Werte rechnerisch aus den Salzkonzentrationen und mit Hilfe der VANT'HOFFSCHEN Gleichung zu ermitteln (siehe Anhang, Tabelle 15).

Die Berechnungen erfolgten für den A_1Sa des Solontschak. Sein Wassergehalt beträgt bei FK. 61,90 Vol. %, beim Welkepunkt (15 atm) 36,42%. Der Gesamtnatriumgehalt (97% der Salze), berechnet als NaCl, ist $59,10 \cdot 10^{-4}$ Mol/100 g. Dies ergibt eine Salzkonzentration von $472,10 \cdot 10^{-4}$ bzw. $783,10 \cdot 10^{-4}$ Mol/l bei FK bzw. WP; dem ist zugrundegelegt, daß 61,90 Vol. % Boden = 1/16 l, 36,42 Vol. % Boden = 1/27 l. Nach $P=c \cdot R \cdot i$ ergeben sich osmotische Drucke von 2,05 und 3,45 bei FK und WP. Die Korrektur der Saugspannungskurven des Solontschak- A_1Sa muß derart erfolgen, daß bei FK der errechnete Wert zur Saugspannung addiert, beim Welkepunkt von dieser aber abgezogen wird.

Die so dargestellten Werte entsprechen Näherungswerten; sie stimmen mit den laufenden Feuchtigkeitsbeobachtungen und den Pflanzenbeständen überein. Die Werte sind noch immer relativ hoch, denn die Werte für die homologen aber meliorierten Böden liegen tiefer. Inwieweit dieses Wasser tatsächlich pflanzenverfügbar ist, konnte an dieser Stelle nicht geprüft werden.

Die Ergebnisse weiterer Versuche sind in Tab. 2 zusammengestellt. Daraus geht deutlich die Abhängigkeit des Quellungsvermögens vom $Ca^{++}:Na^+$ hervor. Das Quellungsvermögen der Salzböden übertrifft selbst jenes des Ca^{++} -Bentonites um das Doppelte.

Tabelle 2: Quellung von Proben verschiedener Bodentypen; Zunahme in cm^3

Proben	Bodenvolumen cm^3		Vol. Vermehrung (Diff. d. Vol. in Wasser u. Benzol	Verhältnis $Ca^{++}:Na$ am Sorptionskomplex
	in Benzol	in Wasser		
Solonetz; Afos, Bh	3,9	7,1	4	29:71
Tschernosem; A_1D	3,9	4,6	0,7	98:1
Solontschak-Solonetz A_1Sa ; meliorierter Solontschak- Solonetz; aus 20 cm	4,5	8,9	4,4	27:73
Ca^{++} -Bentonit	4,4	4,9	0,5	93:7
	6,0	8,3	3,2	90:10

Sehr anschaulich wirken in dieser Hinsicht die Abbildungen 15–19:

Abb. 15a zeigt die mit Messingringen entnommenen Proben in feldfeuchtem Zustand. Die Nummern bedeuten: 1 Solontschak-Solonetz, 2 Tschernosem, 3 Solonetz. Aus Abb. 15b geht das starke Quellungsvermögen der Salzböden nach dem Einweichen hervor; der Tschernosem hingegen zeigt nur eine geringe Volumszunahme. Alle Böden besaßen schon im feldfeuchten Zustand 40 Volumsprozent Wasser.

Abb. 16a zeigt die gleichen Proben nach dem Trocknen auf Gewichtskonstanz. Sowohl der Tschernosem (4) als auch der meliorierte Solontschak-Solonetz (5) zeigen nur geringe Volumsänderungen, während der Solontschak-Solonetz (1, 2) und der Solonetz (3) von tiefen Schwundrissen durchzogen sind. In Abb. 16b sind Humuslack-Krusten festgehalten: links in feldfeuchtem Zustand, rechts nach dem Trocknen, wobei sie sich in der charakteristischen Form einrollten.

Abb. 17a zeigt links Schollen eines unmeliorierten und rechts eines meliorierten Solontschak-Solonetz; beide waren in feldfeuchtem Zustand in Meßzylinder eingebracht worden. Nach dem Zusatz von Wasser, Abb. 17b, quillt der unmeliorierte Boden (links) stark, zeigt dabei eine Volumszahl von $16 cm^3$, dispergiert und zerfällt in Einzelkorn-

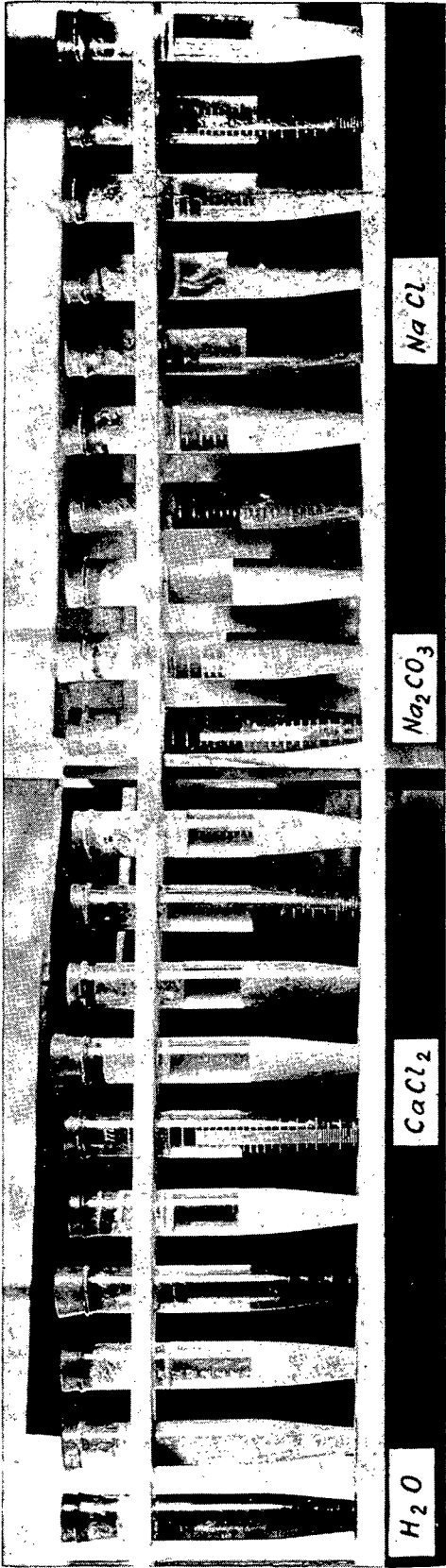


Abb. 18

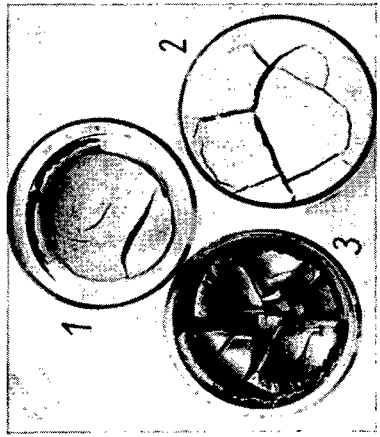


Abb. 19

struktur. Die Volumszunahme des meliorierten Bodens (rechts) beträgt dagegen nur 4 cm^3 , seine Struktur bleibt weitgehend erhalten.

- Abb. 18 zeigt Aufschlammungen von 5 Proben in 4 verschiedenen Lösungsmitteln; von links nach rechts sind jeweils die Suspensionen von: Solonetz, Solontschak-Solonetz, meliorierter Solontschak-Solonetz, Tschernosem und Ca^{++} -Bentonit. In NaCl und CaCl_2 kommt es infolge Kolloidflockung nur zu geringfügigen Quellungen. Dagegen ist die Quellung in der Sodalösung, besonders in Wasser, in dem die Böden vollkommen quellen, hoch. Auch hier zeigt sich folgende Reihung hinsichtlich des Quellungsvermögens: Solontschak-Solonetz > Solonetz > Ca^{++} -Bentonit > Tschernosem > meliorierter Solontschak-Solonetz. In Soda kann zudem eine starke Freistellung organischer Substanzen bei Solonetz und Tschernosem beobachtet werden.

Abb. 19 zeigt die Schrumpfung von verschiedenen Böden in Glasschalen nach dem Trocknen (Schrumpfungsversuch). Der Solontschak-Solonetz (1) wurde durch die starke Schrumpfung von der Schale losgerissen, während der Bentonit (2) ohne wesentliche Volumsänderung nur Schrumpfrisse zeigt. Der Solonetz (3) zeigt starke Schrumpfung, Humuslackbildung und Schwundrisse.

Über die Durchlässigkeit und Kapillarität siehe Anhang Tab. 17 und 18.

IV. Wasserhaushalt der Böden in der Untersuchungsperiode

Periodische Untersuchungen des aktuellen Wassergehaltes

Die einschlägigen Untersuchungen erstreckten sich über 15 Monate, sie dauerten vom August 1962 bis November 1963. Die Ergebnisse sind auf den Abbildungen 20 u. 21 graphisch dargestellt, es ergaben sich zu den einzelnen Terminen die folgenden Verhältnisse.

Bodenwassergehalt am 28. August 1962 (siehe Abb. 20).

Die Proben wurden nach einer längeren Trockenperiode entnommen. Beim Solontschak waren schwache Salzausblühungen bemerkbar und die oberen Horizonte stark verfestigt. Die Probenentnahme an der Oberfläche mußte mit der Spitzhacke durchgeführt werden. Auf dem Tschernosem waren Gurken gestanden und daher ist die Bodenoberfläche durch Gurkenblätter und -stengel stark beschattet gewesen. Pflanzennutzbare Wasser war hier genug vorhanden (siehe Abb. 12). Beim Solontschak lag der Wassergehalt bis 30 cm Tiefe nicht nur unterhalb der Welkepunktfeuchtigkeit, sondern auch unterhalb des Wassergehaltes, der bei 20 at in der pF-Apparatur ermittelt wurde. Deshalb waren alle Gräser und salzvertragenden Gewächse total ausgetrocknet. In 30 cm Tiefe liegt der Wassergehalt nahe der Feldkapazität. Die Ursache dafür liegt einerseits im Schutz gegen die Verdunstung durch den darüber lagernden dichten Horizont und andererseits in der Grundwasserbeeinflussung. Der Grundwasserspiegel liegt zwischen 110 und 130 cm Tiefe.

Bodenwassergehalt am 30. September 1962.

Die Bodenproben wurden nach einem ergiebigen Regen in der zweiten Septemberhälfte entnommen. Trotz einer Steigerung des Wassergehaltes im oberen Horizont des Solontschaks lagen die Werte noch unter der Welkepunktfeuchtigkeit.

Beim Tschernosem ist die Kontrolle zweimal durchgeführt worden, einmal am 16. September: die Pflanzen waren zum großen Teil ausgetrocknet und die Bodenfläche dementsprechend wenig beschattet. Der Wassergehalt des oberen Horizontes lag unter-

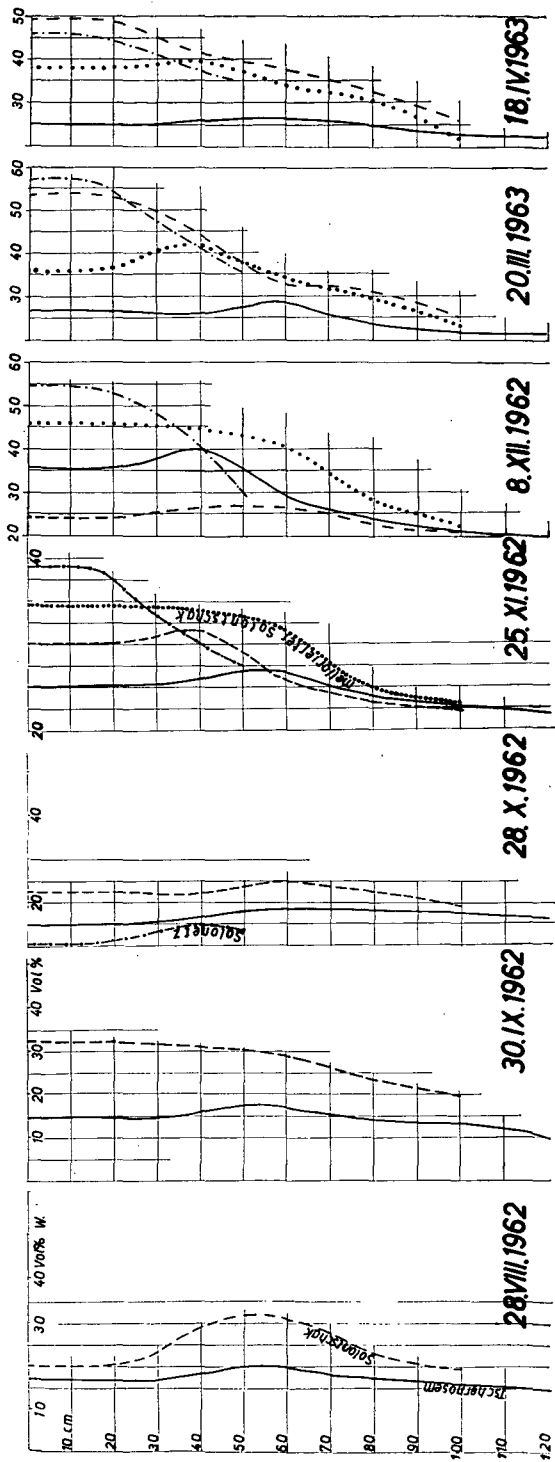


Abb. 20. Bodenwassergehalt August 1962 - April 1963.

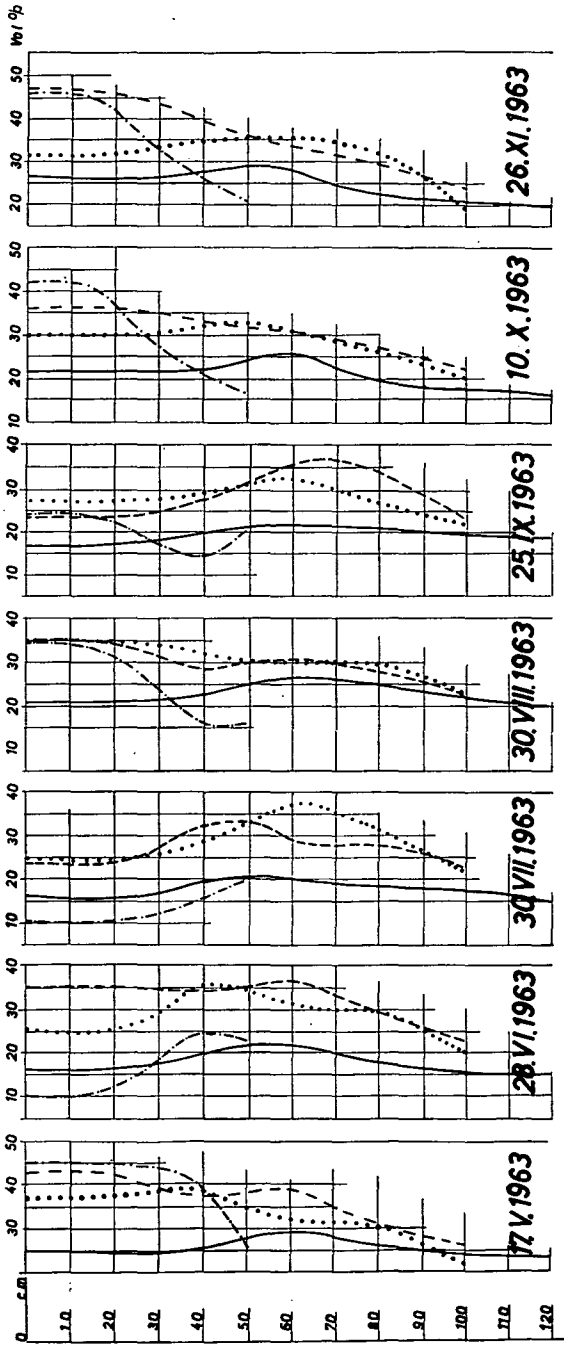


Abb. 21. Bodenwassergehalt Mai – November 1963.

halb des Welkepunktwertes. Bei der zweiten Kontrolle im September (30. September 1962) ließ sich eine bedeutende Steigerung des Bodenwassergehaltes bis in eine Tiefe von 60 cm beobachten.

Bodenwassergehalt am 28. Oktober 1962.

Die Bodenproben wurden nach strenger Trockenheit im Oktober entnommen. Beim Solontschak zeigte sich eine starke Senkung des Wassergehaltes im Oberboden, im Unterboden aber ein Konstantbleiben. Die gleichen Beobachtungen wurden auch beim Tschernosem gemacht. Der Tschernosem war zu diesem Zeitpunkt vegetationslos und auch noch nicht umgebrochen. Mit der Probenentnahme aus dem Solonetz wurde zu dieser Zeit begonnen.

Bodenwassergehalt am 25. November 1962.

In allen Bodentypen konnte nach höheren Niederschlägen im November und starker Verminderung der Verdunstungsintensität durch Kälteeintritt sowie Erhöhung der Luftfeuchtigkeit eine deutliche Steigerung des Wassergehaltes festgestellt werden. Beim Solontschak hat der obere Horizont erst jetzt die Welkepunktfeuchtigkeit erreicht, bzw. etwas überschritten. Der Wassergehalt der unteren Horizonte zeigt noch immer keine wesentliche Veränderung. Beim Solonetz ist der Wassergehalt der oberen Horizonte eineinhalbmal so groß wie der Feldkapazitätswert, die Kolumnen aber hatten erst ihre Welkepunktfeuchtigkeit erreicht. Die Solonetzfläche war zu dieser Zeit etwas überschwemmt. Der Wassergehalt des Tschernosem lag (im Wurzelraum) einige Volumsprozente oberhalb der Feldkapazität. Mit der Probenentnahme für die Wasserhaushaltsuntersuchungen im meliorierten Salzboden wurden zu diesem Zeitpunkt begonnen. Auf dieser Fläche standen keine Pflanzen, sie war nur geackert; die Melioration war erst am Ende des ersten Meliorationsabschnittes angelangt. Der Oberboden war reich mit Torfmull gemischt. Der aktuelle Wassergehalt lag in allen Horizonten über der Feldkapazität.

Bodenwassergehalt am 8. Dezember 1962.

Durch strengen Frost waren die Böden bis zu einer Tiefe von 10 cm gefroren. Das auf dem Solonetz und Solontschak gestaute Wasser war ebenfalls gefroren. Die Bodenwassergehalte hatten sich etwas erhöht.

Bodenwassergehalt am 20. März 1963.

Durch das bei der Schneeschmelze angesammelte Wasser hatten der Solontschak und auch der Solonetz Gelegenheit gehabt, Feuchtigkeit aufzunehmen. Der Wassergehalt des Solontschak erreicht dadurch besonders im Oberboden die eineinhalbfache Welkepunktfeuchtigkeit und im Unterboden das Zweifache derselben. Im Solonetz war keine bedeutende Wassergehaltssteigerung im ABh- und Bh-Horizont im Vergleich zum aktuellen Wassergehalt des Dezember 1962 festzustellen, in den Kolumnen z. B. ergab sich lediglich eine Steigerung von 2 Volumsprozente. Der Tschernosem wies ungefähr den gleichen Wassergehalt wie im Dezember auf. Beim meliorierten Salzboden war der aktuelle Wassergehalt etwas niedriger als im Dezember 1962; dies ist durch weitere Verbesserung der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Bodens zu erklären. Nach der Schneeschmelze hat auch, als Folge der Meliorationsmaßnahmen, eine Na⁺-Auswaschung stattgefunden, der eine Herabsetzung der Verschlämmung folgte.

Bodenwassergehalt am 18. April 1963.

Der Wassergehalt ist sowohl im Oberboden des Solonetz als auch des nicht überstauten Solontschaks abgesunken. Auf beiden Bodenoberflächen war noch fleckenweise Staunässe vorhanden. Der Tschernosem zeigt ebenfalls einen relativ geringen Wassergehalt. Eine ähnliche Absenkung ließ sich bei meliorierten Boden beobachten. Auf dem Tschernosem war Weizen angebaut worden. Die Pflanzen zeigten ein gleichmäßiges und intensives Wachstum. Der meliorierte Salzboden blieb noch ungenutzt.

Bodenwassergehalt am 17. Mai 1963 (siehe Abb. 21).

Das Schaubild zeigt eine weitere Feuchtigkeitsverminderung in allen Böden. Entsprechende Änderungen der Durchfeuchtung konnten in allen Horizonten festgestellt werden, nur der meliorierte Salzboden zeigte fast keine Änderung des Wassergehaltes im Oberboden. Die Ursache ist in der Aufbringung einer dünnen Torfmull-Streuschicht auf die Bodenoberfläche zu suchen. Der Torfmull wurde dann Mitte Juni eingeeckert.

Bodenwassergehalt am 28. Juni 1963.

Hier ist eine starke Abnahme des Wassergehaltes der Böden infolge langer Trockenperioden im Juni zu bemerken; besonders im Tschernosem wird der Abfall bis unter die Welkepunktgrenze augenscheinlich. Das ist einerseits auf den großen Wasserverbrauch des Weizens bis zur Reife, andererseits auf die Witterungsverhältnisse zurückzuführen. Beim Solontschak zeigte der obere Horizont den Wassergehalt der Welkepunktfeuchtigkeit. Beim Solonetz liegen die Wassergehalte des Oberbodens weit unter, im Unterboden aber um das Doppelte über der Welkepunktfeuchtigkeit. Die Gräser darauf waren, mit Ausnahme einiger Salzpflanzen, ziemlich ausgetrocknet. Die Wassermengen in den Kolumnen und in den tieferen Horizonten sind mit Saugspannungen von 15/20 at und mehr gebunden. Beim meliorierten Salzboden zeigte, die Krume ausgenommen, das ganze Profil einen aktuellen Wassergehalt, der der Feldkapazität entsprach. Die Ursache der geringeren Werte im obersten Horizont sind durch Lockerung der Bodenoberfläche bei Einarbeitung des Torfmulls zu erklären. Der hohe Wassergehalt in den tieferen Bodenschichten erklärt sich durch Unterbindung des kapillaren Hubes und Fehlen eines Pflanzenwuchses.

Bodenwassergehalt am 30. Juli 1963.

Es ergab sich eine weitere Abnahme des Bodenwassers, was sich besonders beim Solonetz bemerkbar machte. Der Wassergehalt in den Kolumnen sank hier unter den Wert von 20 at Saugspannung ab. Die Bodenoberfläche trug keine grünen Pflanzen mehr. Beim Solontschak lag für den obersten Horizont der Wassergehalt nahe der Feldkapazitätsfeuchtigkeit. Der Wassergehalt des untersten Horizonts sank dauernd, jedoch sehr langsam ab. Daraus wird ein Zusammenhang mit dem Grundwasserniveau ersichtlich. Beim Tschernosem ist ebenfalls eine Wasserabnahme im ganzen Profil, aber nicht so stark wie beim Solonetz, zu bemerken. Die Weizenstoppel wurden gestürzt und dadurch eine Verminderung der starken Verdunstung erreicht. Der meliorierte Salzboden zeigte eine Erhöhung des Wassergehaltes in den unteren Horizonten, es waren ihm nämlich 120 mm Regen verabreicht worden.

Bodenwassergehalt am 30. August 1963.

Der August war ziemlich feucht und regnerisch und deshalb war auch eine deutliche Bodenwassergehaltssteigerung bei allen Bodentypen zu verzeichnen. Der Tschernosem

und der meliorierte Salzboden erreichten Feldkapazitätswerte. Ihre Bodenoberflächen waren stark mit Unkraut bedeckt. Die Krume des Solonetz war bis zur Feldkapazität aufgefüllt, während das Bodenwasser der Solontschak-Krume nahezu mit Saugspannungen, die jenen beim permanenten Welkepunkt entsprechen, festgehalten wurde. Im Unterboden des Solonetz wurde das Wasser nahezu mit 20 at festgehalten.

Bodenwassergehalt am 25. September 1963.

Die Bodenproben wurden nach einer Trockenperiode von einigen Wochen entnommen. Wieder ließ sich eine Bodenwassergehaltssenkung in allen Bodentypen feststellen, besonders aber beim Solonetz. Alle anderen Böden weisen nur in den oberen Horizonten eine Unterschreitung des Wassergehaltes ihrer Feldkapazität auf.

Bodenwassergehalt am 10. Oktober 1963.

Die Bodenproben wurden nach ergiebigen Niederschlägen entnommen, deshalb sieht man eine Wassergehaltssteigerung bei allen Böden; besonders stark ist sie im Tschernosem, der seine Feldkapazität erreicht.

Bodenwassergehalt am 26. November 1963.

Eine Steigerung der Bodenwassergehalte war durch Verminderung der Verdunstungsintensität, Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und häufige Regenfälle bedingt. Der Tschernosem und die Solonetz-Krume waren mit Wasser bis über die Feldkapazität aufgefüllt, während die Krume des Solontschaks lediglich zu 75% ihre Feldkapazität erreichte. Der Kolumnenhorizont des Solonetz war ebenfalls angereichert, so daß das Wasser mit weniger als 15 at festgehalten wurde.

Menge und Zeitpunkt des pflanzennutzbaren Wassers

Aus den Werten der aktuellen Wassergehalte wurden nun Diagramme über Umfang und Zeitpunkt des pflanzennutzbaren Wassers erstellt. Abb. 22 zeigt unterhalb der Niederschlagsverteilungskurve die Bodenwassergehalte der untersuchten Böden in ihrer Beziehung zu Feldkapazität und Welkepunkt. Um den Sachverhalt näher zu veranschaulichen, wurde der Welkepunkt einmal mit den korrigierten und einmal mit den unkorrigierten Werten dargestellt.

Diese Darstellungen lassen erkennen, daß nur ein Typ, nämlich der Tschernosem, in keinem der untersuchten Zeitabschnitte bis unter den Welkepunkt ausgetrocknet war, während der Solonetz nur von Dezember bis Mitte April bis über den Welkepunkt mit Wasser aufgefüllt war. Solonetz und Solontschak liegen demnach von Mitte April bzw. Mitte Mai bis Dezember in „trockenem“ Zustand, ihr Wasser ist in nicht pflanzenverfügbarer Form gebunden.

Stellt man die Beziehung zur Niederschlagsverteilung her, so läßt sich erkennen, daß lediglich die Oktober-Niederschlagsspitze mit einiger Verzögerung zur Auffüllung der Böden führt, das absolute Niederschlagsmaximum im Juni/Juli aber völlig wirkungslos bleibt. Nach der etwas länger andauernden, aber nur mäßige Niederschlagsmengen bringenden „Mai-Regenperiode“ beginnt eine fortlaufende Austrocknung.

In diesem Zusammenhang muß noch vermerkt werden, daß der Solonetz mit viel geringeren Verzögerungseffekten auf die Niederschlagsverteilung anspricht, als der Solontschak; deshalb wird bei diesem im Winter viel später als beim Solonetz der Wassergehalt des Welkepunktes unterschritten und im Frühsommer der Welkepunkt um rund 10 Tage später erreicht als beim Solonetz.

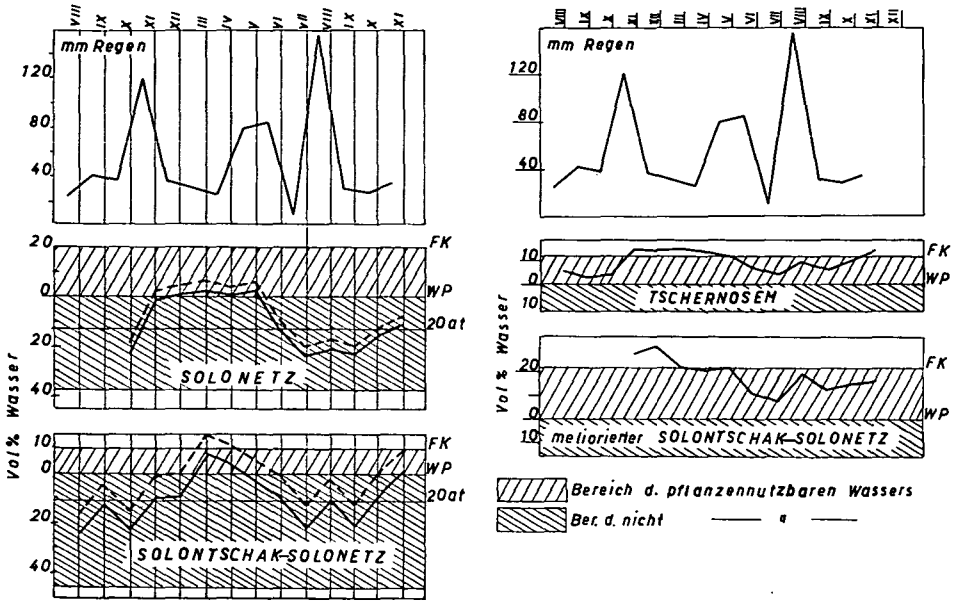


Abb. 22. Jahreszeitliche Verteilung des Bodenwassers in Beziehung zur Niederschlagsverteilung, Welkepunkt und Feldkapazität. Vom Solonetz ist der AfosBh-Horizont dargestellt; die strichierte Linie zeigt die unkorrigierten, die volle die korrigierten Werte. Vom Solontschak-Solonetz ist der A₁Sa-Horizont, vom Tschernosem der A₁p-Horizont und vom meliorierten Solontschak-Solonetz der Horizont von 0–20 cm dargestellt.

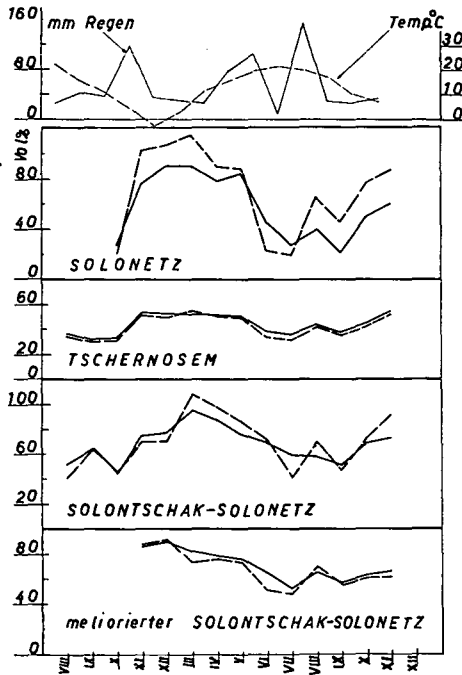


Abb. 23. Jahreszeitliche Verteilung des Bodenwassers im Oberboden (volle Linie) und Unterboden (strichiert) und ihre Beziehung zum Witterungsverlauf.

Im folgenden sollen die Wassergehalte verschiedener Bodentiefen und Horizonte in ihrer Beziehung zur Temperatur und zum Niederschlag dargestellt werden. Zunächst wurden die Wassergehalte in Vol. % dargestellt und für Ober- und Unterboden getrennt aufgetragen (Abb. 23). Aus dieser Darstellung ist zu entnehmen, daß sich die Niederschläge am gleichmäßigsten dem Tschernosen mitteilen; die Kurven des Ober- und Unterbodens verlaufen ziemlich parallel. Bei den beiden Salzbodentypen wird deutlich, daß bei ihnen die Versickerung eine starke Hemmung erleidet; zur Zeit der stärksten Durchfeuchtung wird diese im Oberboden gestaut und teilt sich nur sehr langsam dem Unterboden mit. Andererseits sind dem Unterboden die Austrocknungsextreme fremd, sein Wassergehalt ist ausgeglichener.

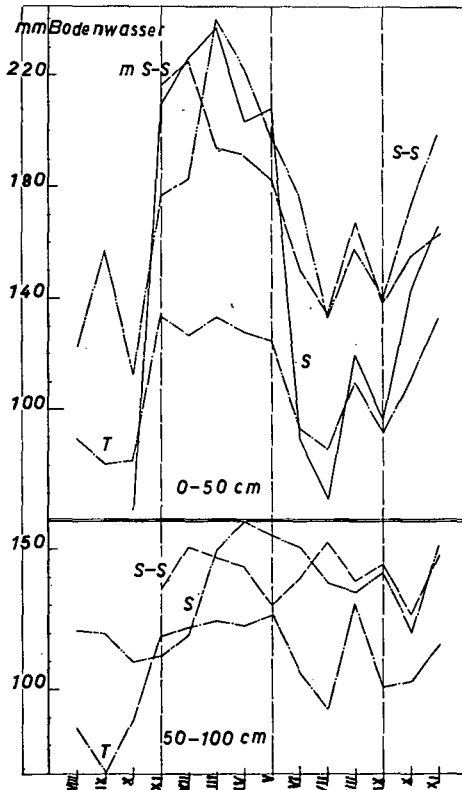


Abb. 24. Jahreszeitliche Verteilung des Bodenswassers in den Tiefen 0-50 cm und 50-100 cm (S = Solonetz, S-S = Solontschak-Solonetz, mS-S = meliorierter Solontschak-Solonetz, T = Tschernosem).

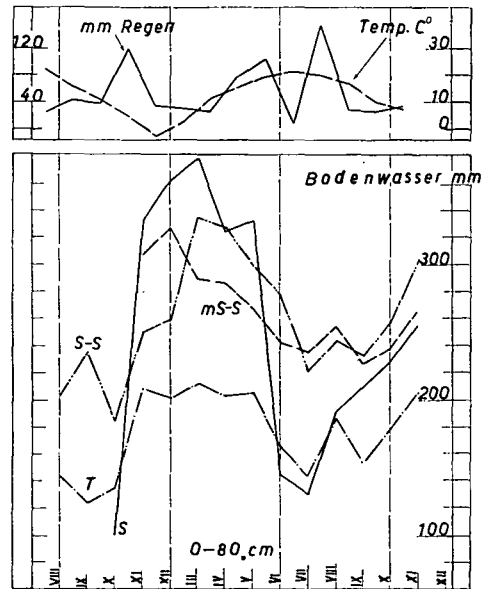


Abb. 25. Jahreszeitliche Verteilung des Bodenswassers in 0-80 cm in Beziehung zum Witterungsverlauf.

Wie die Abbildungen 24 und 25 zeigen, kann ein Verzögerungseffekt der Salzböden im Bezug auf die vorangehende Niederschlagstätigkeit und auch auf den Gang der Lufttemperatur festgestellt werden; wieder ist dieser Verzögerungseffekt beim Solontschak größer als beim Solonetz. Die Durchfeuchtungsmaxima decken sich mit Verzögerung mit den Lufttemperaturminima. Trägt man nun die aktuellen Wassergehalte verschiedener Bodentiefen in mm Niederschlag auf und bringt diese ähnlich wie oben in Beziehung zur Witterung, so zeigen sich die in Abb. 24 und 25 dargestellten Ergebnisse.

Generell läßt sich feststellen, daß die Durchfeuchtung in allen Bodentiefen mit dem bekannten Verzögerungseffekt auf die Witterungsverhältnisse anspricht. Allerdings zeigt sich bei dem Ansprechen ein von Typ zu Typ verschiedenes Verhalten, das sich aber in allen Tiefen, je Typ konstant, durchziehen läßt. Die geringste Durchfeuchtung zeigt in allen Tiefen, analog seiner Regenkapazität, der Tschernosem; diese Durchfeuchtung aber ist den geringsten periodischen Schwankungen ausgesetzt. Die stärksten Schwankungen zeigt der Solonetz; diese Schwankungen übertreffen jene des Solontschak besonders in der Tiefe 0—80 cm, während die Wassergehaltsspitzen beider Typen zwischen 0—50 cm ungefähr gleich liegen. Dieser Sachverhalt zeigt auf, daß der Solontschak nach abwärts an Sorptionskraft verliert, wobei sich dieser Befund mit der Verteilung der wasserlöslichen Salze deckt. Sinngemäß sind die Durchfeuchtungsschwankungen des Solontschaks zwischen 50—110 cm auch am geringsten.

V. Die Melioration des Solontschak-Solonetz

Durchführung der Melioration

Das Meliorationsvorhaben erfaßte die Salzbodenfläche des Seewinkel-Hofes mit rund 25 ha. Diese weite flache Mulde war im Herbst und Frühjahr mit Wasser überstaut und im Sommer extrem ausgetrocknet. Der Boden auf diesen Flächen entsprach vor der Melioration dem oben beschriebenen Solontschak-Solonetz. Abb. 32 zeigt die Fläche im Urzustand. Man erkennt die Salzvegetation und die Ausblühungen an der Oberfläche.

Die Meliorierung geschah nach einem Drei-Punkte-Programm, sie umfaßte Entwässerungs- und Bodenbearbeitungsmaßnahmen und die eigentliche chemische Melioration. Zuerst wurde ein Hauptgraben angelegt, der annäherungsweise parallel zum See und Terrassenrand, von diesem rund 300 m entfernt, führte. Gegen den See wurde er mit einer Schleuse abgesichert. Er wurde bis in den Basissand gelegt, seine maximale Tiefe beträgt 2 m. Normal auf diesen und in einem Abstand von 150—200 m wurden 5 Sammler gelegt, deren Sohle unter dem salzführenden Horizont im Basissand liegt. Die Entwässerung der Teilflächen wurde mittels Maulwurfsdrainung besorgt. Die Stränge wurden auf eine Tiefe von 65/80 cm gelegt, ihr Abstand betrug 1—1,50 m. Die Bearbeitungsmaßnahmen waren darauf abgestellt, mittels Rigolpflügen den Boden bis auf die Tiefe des salzführenden Horizontes aufzureißen und das Material zu vermengen. In der Regel lag die Rigoltiefe auf 60/70 cm.

Die eigentliche Melioration wurde mit Gips durchgeführt. Je nach der Punktanalyse wurden 10—30 t/ha ausgestreut. Dabei erfolgte die halbe Gabe vor, die zweite aber nach dem Rigolen. Die Verteilung der Gaben, sowie die Homogenisierung des Bodenmaterials geschah mit Hilfe von Grubbern, Schollenschlägern, Eggen und Igelwalzen. Um die Austauschvorgänge zu beschleunigen wurde während des Sommers 400—500 mm geregnet. Gleichzeitig wurde eine Gründüngung mit Sonnenblumen, Mais und Luzerne durchgeführt. Der Erfolg dieser ersten Maßnahmen war wechselnd. Auf den stärker versalzten Flächen mußten im darauffolgenden Jahr diese Maßnahmen wiederholt werden. Auf dem größten Teil der Fläche konnte jedoch schon im nächsten Jahr Wein gepflanzt werden. Vorher wurde eine NPK-Volldüngung verabreicht, die sich auf 2000—2500 kg K_2SO_4 , 1000—1500 kg Superphosphat und 800—1200 kg Ammonsulfat je Hektar belief. Einzelne Flächen erhielten auch organische Düngung in Form von Torf. Abb. 33 zeigt die in Abb. 32 dargestellte Fläche nach der Meliorierung und Bepflanzung mit Wein. An der Böschung des Entwässerungsgrabens sind noch die Salzausblühungen zu erkennen.

Wirkung der Meliorationsmaßnahmen auf dem Solontschak-Solonetz

Die hier dargestellten Ergebnisse wurden an Untersuchungen gewonnen, die 5 und 16 Monate nach der Melioration durchgeführt wurden.

Durch die mechanische Lockerung war der rigolte Oberboden sofort nach der Melioration sehr inhomogen: nebeneinander lagerten grobe Blöcke und granuläre Einheiten; Sande, Schotter und Tone waren ungleichmäßig vermengt. 16 Monate nachher, als das folgende Profil aufgenommen wurde, zeigten aber die Blöcke deutlichen Zerfall ihres ursprünglich dichten Gefüges.

Meliorierter Solontschak-Solonetz (Profil C)

Lage: NO Lange Lacke, innerhalb Betriebsfläche, 70 m vom Teich entfernt.

Relief: Eben. Randbereich einer flachen Ausräumungsrinne, im Verlauf der Erdbewegungen planiert.

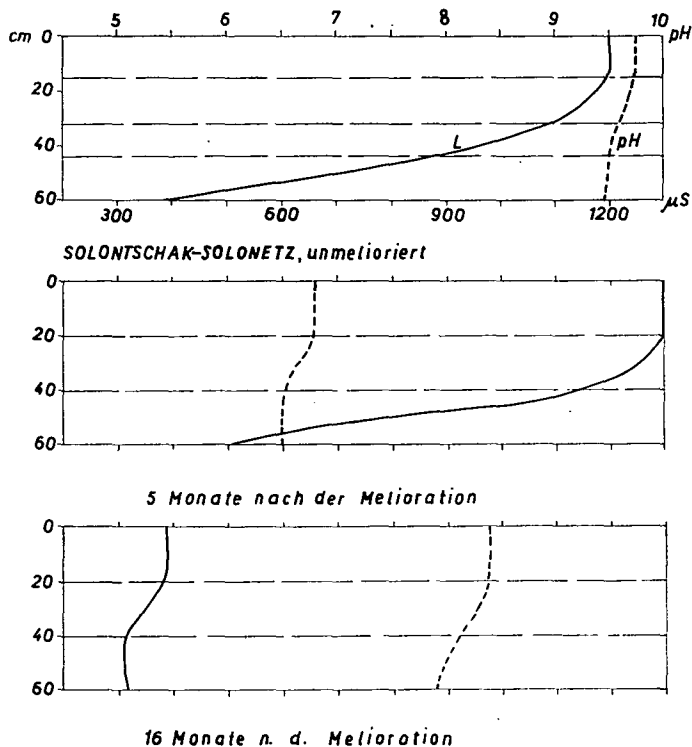


Abb. 26. Entwicklung des pH und der Leitfähigkeit im Solontschak-Solonetz nach der Melioration.

A₁D: 0–30 cm. Schwach humos. Toniger Schluff, daneben sandigere Partien (deutliche Spuren der Bearbeitung). Grob- und mittelblockige Struktureinheiten. Locker gelagert. Durchwurzelt. Übergehend.

A₂D: 30–60 cm. Schwach humos. Toniger Schluff, schwach schottrig. Blockige und krümelige Aggregate (Zertrümmerungsstrukturen). Normal gelagert, daneben dichtere Packungen. Durchwurzelt. Absetzend.

Sa: Ab 60 cm. Stark lehmiger Schluff, schottrig-kiesig. Undeutlich blockig. Dicht gelagert. Rostfleckig.

Anm.: A₁D, A₂D rigolte Horizonte mit deutlichen Spuren der mechanischen Durchmischung: Trümmerstrukturen und inhomogene Partien.

Fünf Monate nach der Verabreichung von Gips sank der pH-Wert schlagartig um 2,5 Einheiten, die Leitfähigkeit dagegen stieg leicht an (Abb. 26). Der Anstieg der Leitfähigkeit ist die Folge einer Erhöhung der Salzkonzentration in der Bodenlösung, hervor-

gerufen durch den Gipsüberschuß und die ausgetauschten Na^+ -Ionen. Die Absenkung des pH geht auf den Überschuß von Anionen starker Säuren zurück. Im System $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$ kam es zu einer Sodaaufspaltung und zu einer neuen Gleichgewichtseinstellung in Richtung des Pfeiles: Kalziumkarbonat fiel als schwerlösliche Komponente aus, während das Natriumsulfat in die Bodenlösung wanderte.

Die kurzzeitig hinabgedrückte Reaktion stieg 16 Monate nach der Gipsaufbringung wiederum an, während die Leitfähigkeit auf ein Drittel des Ausgangswertes abgesunken war und sich gleichmäßig auf die einzelnen Horizonte verteilte. Eine Erklärung für den pH-Wiederanstieg ist darin zu suchen, daß die Na-Sulfate ausgewaschen wurden und sich nunmehr CaCO_3 bildete; fein zerteiltes CaCO_3 (Suspensionen) zeigt normalerweise Werte, die zum alkalischen Bereich tendieren. Ansonsten trat eine starke Salzverarmung ein, die sich im Fallen der Leitfähigkeit äußerte. Bei weiteren Beobachtungen, die hier

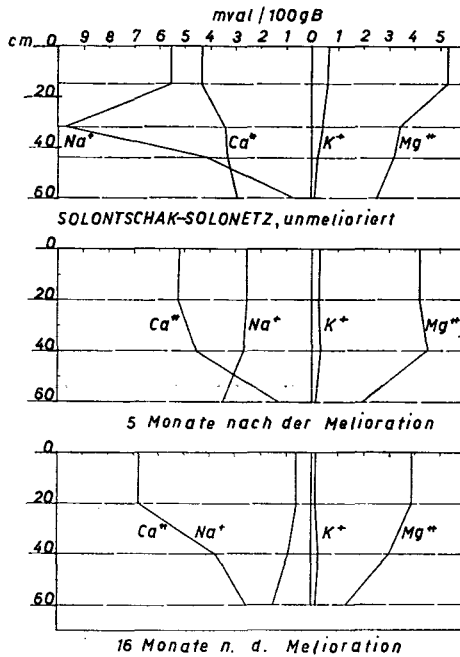


Abb. 27. Änderung der Austauschergarnitur nach der Melioration des Solontschak-Solonetz.

nicht im einzelnen wiedergegeben sind, wurde festgestellt, daß die Reaktion im Folgenden konstant blieb, die Leitfähigkeit aber absank. Schon daran kann man erkennen, daß der Boden in einen nutzbaren Zustand übergeführt war; dementsprechend zeigten auch die darauf gepflanzten Reben ein zufriedenstellendes Wachstum.

Die Meliorationswirkung mit Gips wurde ferner an Hand der Ionenkombinationsänderung verfolgt. Auch in dieser Richtung wurden die Proben vor bzw. 5 und 16 Monate nach der Gipsaufbringung untersucht (Abb. 27). Dabei zeigte sich nach 5 Monaten noch ein beträchtlicher Na^+ -Sättigungsgrad, ein Großteil des Ca^{2+} lag noch in unsorbierter Form vor. Wesentlich ist, daß aber bereits nach 5 Monaten das Na^+ -Maximum des A_2Sa -Horizontes abgebaut war; allerdings erhöhte sich dadurch der Mg^{2+} -Sättigungsgrad. Ansonsten nahmen Mg^{2+} und K^+ gleichmäßig ab. Während dieser ersten 5 Monate nahm der Na^+ -Anteil besonders im Unterboden stark ab.

Nach 16 Monaten war bereits das Ca^{++} das dominierende Ion am Sorptionskomplex, das Na^+ war unter den Anteil des Mg^{++} abgesunken. Das $\text{Ca}^{++}:\text{Na}^+$ -Verhältnis hatte sich von 27:73 auf 59:4 verändert. Gleichzeitig wurde aber auch das im Zwischenstadium gebildete Mg^{++} -Maximum im A_2Sa abgebaut; Hand in Hand ging eine weitere geringfügige Abnahme des Mg^{++} und K^+ im gesamten Profil. Nach diesen 16 Monaten betrug das $\text{Ca}^{++}:\text{K}^+$ -Verhältnis 59:2 und das $\text{Ca}^{++}:\text{Mg}^{++}$ -Verhältnis 59:34 sowie das $\text{K}^+:\text{Mg}^{++}$ -Verhältnis 2:34. Diese keineswegs ideale Ionenkombination hatte zunächst keine nachteiligen Auswirkungen auf die ausgesetzten Reben, da der gravierende Faktor, die bodenphysikalischen Eigenschaften, in Ordnung gebracht waren (vergl. Anhang, Tabelle 4).

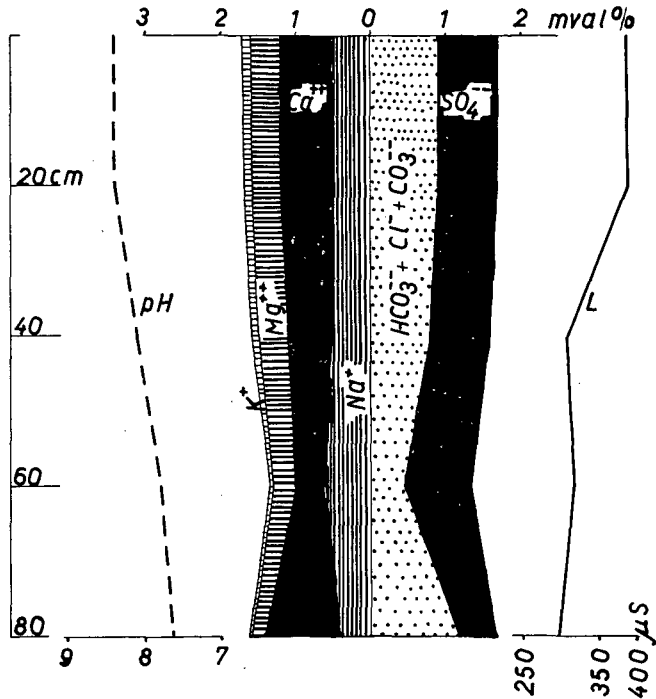


Abb. 28. Verteilung der wasserlöslichen Salze, des pH und der Leitfähigkeit im meliorierten Solontschak-Solonetz.

Aufschlußreich für die Meliorationswirkung ist auch die Verteilung der wasserlöslichen Salze, die in den Abb. 26 und 28 schematisch dargestellt ist. Daran zeigt sich, daß das Na^+ nur noch in der Größenordnung des Ca^{++} in der Bodenlösung vorhanden ist und einer weiteren Auswaschung unterliegen wird. Der gesamte wasserlösliche Salzanteil ist nach der Meliorierung stark zurückgegangen. In bodenwirtschaftlicher Hinsicht ist der Anstieg wasserlöslichen Magnesiums von Bedeutung (vergl. Anhang, Tabelle 5).

Sehr eindrucksvoll ist auch die Änderung des Boden:Wasser:Luft-Verhältnisses. Dieses wurde zusammen mit den Kornfraktionen, dem Na^+ -Sättigungsgrad und dem $\text{Ca}^{++}:\text{Na}^+$ -Verhältnis in den Abb. 29 und 30 gemeinsam dargestellt.

Die Änderungen der Korngrößenzusammensetzungen können hier nicht beachtet werden, weil sie auf die intensive mechanische Durchmischung des Oberbodens im Verlauf der Meliorierungsarbeiten zurückzuführen sind. Im übrigen zeigen Abb. 29 und 30, daß

mit sinkendem Na^+ -Sättigungsgrad, sowie mit steigenden $\text{Ca}^{++}:\text{Na}^+$ -Verhältnis der Anteil des Wassers am Boden:Wasser:Luft-Verhältnis sinkt, der Anteil der größeren Poren aber ansteigt. Das Verhältnis Boden:Wasser bei F. K. hatte sich von 40:60 vor der Meliorierung auf 60:40 nach der Melioration verschoben.

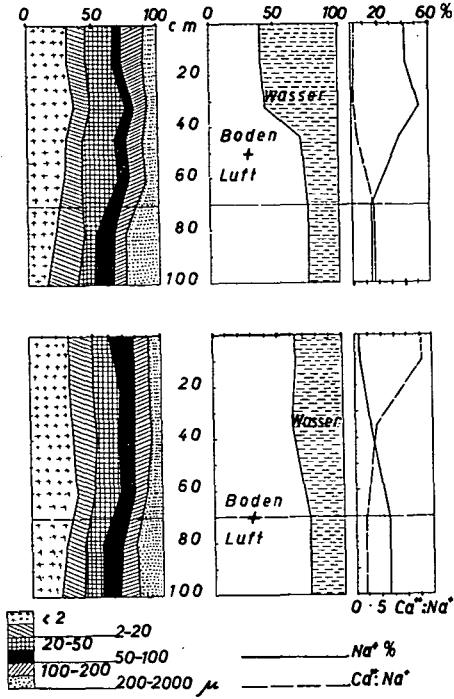


Abb. 29. Graphische Darstellung der Korngrößenverteilung, des Boden: Wasser: Luft-Verhältnisses, des Na^+ -Sättigungsgrades und des $\text{Ca}^{++}:\text{Na}^+$ -Verhältnisses im Solontschak-Solonetz vor (oben) und nach der Meliorierung (unten).

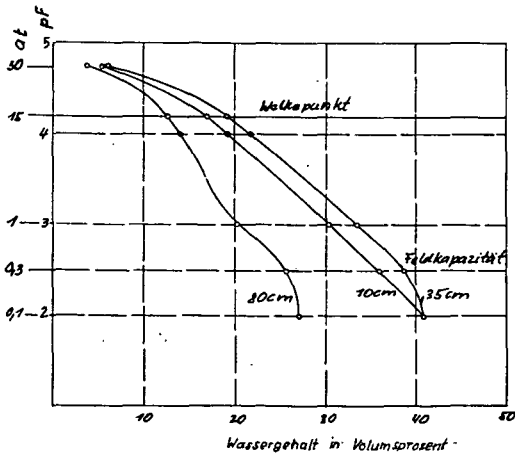


Abb. 30. Saugspannungsdiagramm des meliorierten Solontschak-Solonetz.

Das geringere Quellungsvermögen, sowie die Herabminderung der Saugspannungsdrucke kommen auch im Saugspannungsdiagramm des meliorierten Solonetz-Solontschak gut zum Ausdruck (Abb. 30). Daraus läßt sich erkennen, daß nahe dem Welkepunkt bzw. zwischen 10–15 at die Wassergehalte um vieles langsamer sinken als beim Solontschak. Die Wassergehaltsabnahmen erfolgen zwischen F. K. und W. P. annähernd linear, lediglich in 80 cm Tiefe sind stärkere Schwankungen beobachtbar. Daraus läßt sich ableiten, daß im Vergleich zum Solontschak relativ wenig Wasser mit solchen Saugspannungskräften gebunden ist, die nahezu bis an den Welkepunkt reichen; die Pflanzen vermögen mit bei weitem geringeren Energieaufwand ihren Wasserbedarf zu decken.

Der Erfolg der Meliorierung zeigt sich auch, wenn man die aktuellen, periodisch schwankenden Wassergehalte des meliorierten Solontschak-Solonetz in Beziehung zu F. K. und W. P. bringt (Abb. 22). Dann erkennt man, daß der ehemals nur während des Spätwinters und frühen Frühjahres bis über den W. P. gesättigte Boden nunmehr das ganze Jahr über den Pflanzen Wasser zur Verfügung zu stellen vermag.

VI. Bodewirtschaftliche Aspekte

Die Schäden bzw. Erschwernisse, die auf Salzböden auftreten, reichen von den verschiedensten Schädigungen der Kulturen bis zur extremen Erschwerung der Bearbeitung und Befahrbarkeit.

Unter den verschiedenen Schädigungen, die möglich sind, nehmen die durch die ungünstigen physikalischen Eigenschaften der Böden hervorgerufenen einen wesentlichen Platz ein. Die leichte Dispergierbarkeit der Na^+ -Tone, der hohe Verschlämmungsgrad, die überdimensionierten Volumsänderungen im Verlauf von Quellung und Schrumpfung (Wurzelsrisse!) und schließlich der höchst unzutragliche Wasserhaushalt der Salzböden in Verbindung mit den Osmoseerscheinungen weisen Standorte aus, die als extreme Minutenböden angesprochen werden können, auf denen landwirtschaftliche Kulturen nicht gedeihen. Allein schon der Wasserhaushalt läßt erkennen, daß die Pflanzen nach kurzer Jugendentwicklung zusammenbrechen müssen, da mit Mitte Mai der Welkepunkt überschritten wird. Selbstverständlich gelten diese Aussagen für die untersuchten, extrem ungünstigen Standorte; dort wo der salzführende Horizont mit mächtigeren holozänen Sedimenten bedeckt ist, treten günstigere Verhältnisse auf.

Die ungünstigen bodenphysikalischen Eigenschaften werden durch den hohen Anteil an sich schon schädlicher Anionen und Kationen in der Bodenlösung und am Sorptionskomplex bewirkt; dies konnte eindeutig dadurch bewiesen werden, daß nach dem Austausch bzw. der Abfuhr dieser schädlichen Ionen und Salze der Boden in Ordnung gebracht werden konnte.

Von den durch den Chemismus direkt ausgelösten Schäden nehmen die „Reaktionschäden“ einen wesentlichen Platz ein. Die untersuchten Böden liegen ja im pH-Bereich von 9–11. Diese Werte zeigen bereits an, daß Anionen schwacher Säuren überwiegen und dementsprechend ein starkes Abdissoziieren von OH-Gruppen nicht verhindert wird. Die Schwankungen der Reaktion werden im übrigen durch die von Typ zu Typ, aber auch von Horizont zu Horizont leicht streuenden Verhältnisse der Karbonate und Bikarbonate zu den Sulfaten und Chloriden ausgelöst; auf Grund des Karbonat- und Bikarbonatüberhanges reagieren auch die Solontschaks alkalischer als die Solonetze (vergl. Abb. 2). Dieser Sachverhalt verdeutlicht, daß die Kulturpflanzen nicht imstande sind, ihren Nährstoffbedarf über den Austausch von H^+ -Ionen zu decken; diese Salzböden sind stark abgepuffert und vermögen die geringen H^+ -Konzentrationen ohne jegliche pH-Schwankungen abzufangen. Zudem sind in einem derartigen Milieu auch noch das hohe Angebot freier Tonerde und Kieselsäure sowie die Festlegung von Eisen und

Mangan als ertragsmindernde Faktoren zu berücksichtigen. Vergleicht man zudem noch den relativ hohen Anteil der Gesamtphosphorsäure mit jenen Spuren, die nach Extraktion mit den üblichen Extraktionsmitteln wie Doppellaktat und Laktat zu finden sind, so wird deutlich, daß die extrem alkalischen Reaktionsverhältnisse auch zu einer enormen Phosphatfestlegung führen.

Diese Ausführungen lenken schon zu einem Kernproblem der Pflanzenernährung auf Salzböden, dieses äußert sich in der Disharmonie des Nährstoffangebotes. Eine derartige Disharmonie läßt sich sowohl auf die ungünstige Ionenkombination am Sorptionskomplex und in der Bodenlösung als auch auf einseitige Festlegung einzelner Nährstoffe (s. o.) zurückführen. Im Überschuß vorhanden sind auf den untersuchten Salzböden stets das Na^+ und Mg^{++} . Über die Rolle des Natriums in der Pflanzenernährung liegen noch keine sicheren Aussagen vor (vergl. Literatur). Es kann aber angenommen werden, daß — abgesehen von allen osmotischen Schäden — das Natriumangebot selbst das Bedürfnis der Abkömmlinge alter „Meerespflanzen“, wie z. B. der Beta-Rüben, überwiegt. Die Salzkonzentrationen liegen selbst im Rahmen einer ausgewogenen Ionenkombination zu hoch. Zudem sind unter den herrschenden Bedingungen die übrigen Ionen der Umtauschgarnitur gar nicht befähigt, als Antagonisten zum Na^+ aufzutreten, da ihre Konzentrationen zu gering sind.

Diese kurzen Ausführungen lassen klar erkennen, daß im Rahmen einer Salzbodenmeliorierung folgende Ziele erreicht werden müssen:

1. Beseitigung der hohen Verschlämbarkeit, der hohen osmotischen Drucke und der hohen Wasserspeicherung in Form von totem Wasser.
2. Erniedrigung des pH-Wertes um mindestens 2—3 Einheiten.
3. Herstellung einer „harmonischen“ Umtauschgarnitur.

Die Forderungen der Punkte 1 und 2 konnten im Verlauf der Meliorierungsvorhaben erfüllt werden. Dies geschah durch Versetzen des Bodens mit einem Überschuß von Ca-Salzen (Gips). Dadurch wurde vor allem das Na^+ aus dem Sorptionskomplex gedrängt und mit der Bodenlösung als wasserlösliches Salz ausgewaschen. Als Sukzessionserscheinungen stellten sich darnach geordnete Verhältnisse im Wasserhaushalt (das ganze Jahr über pflanzennutzbares Wasser!), in der Osmose, Koagulation der Tone und der Reaktion ein.

In diesem Zusammenhang ist auf die angestellten Versuche über die sekundäre Versalzung zu verweisen (siehe Abb. 6 und 7). Daraus geht deutlich hervor, daß eine Salzbodenmeliorierung keineswegs durch „Überschichtung“ erzielbar ist; um auf diesem Wege zu Erfolg zu kommen, müßten nämlich riesige Erdbewegungen stattfinden, damit bedeutend mehr als nur 20 cm Auflage aufgebracht werden könnten. Der Weg, den die Ungarn vor nunmehr bald 200 Jahren beschritten, indem sie Löß auf ihre Szik-Böden aufbrachten, führte dort deshalb zu Erfolg, weil das Material sehr kalkreich war und damit eine kombinierte physikalisch-chemische Meliorierungswirkung erzielt wurde. Versucht man kalkfreies Material aufzubringen, dann müßte man Sand wählen, dem jeder kapillare Hub fehlt.

Was die Forderung nach einer harmonischen Umtauschgarnitur anlangt, so wurde diese mit Gips allein nicht erfüllt. Die Gipsdüngung führte lediglich dazu, daß das Na^+ als dominierendes Ton vom Ca^{++} abgelöst wurde. Damit wurden Verhältnisse erzielt, wie sie bei Böden mit normaler terrestrischer Verwitterung anzutreffen sind; in diesen zeigt sich die bekannte Ionenreihungsfolge: $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$. Auch die Tschernoseme des Seewinkels sind in der angebegebenen Reihenfolge mit Ionen ausgestattet (vergl. Abb. 4). Um die Forderung nach Punkt 3 zu erfüllen, müßten Meliorierungssalze mit einem ent-

sprechenden Ionenverhältnis entwickelt werden. Wie aber die obigen Ausführungen andeuten und durch das Gedeihen des Weines auf den meliorierten Flächen bewiesen wird, ergibt sich diese Forderung lediglich im Interesse, das Nährstoffangebot ins Optimum zu rücken.

Ein solches Optimum ist nach T. S. CHU und L. M. TÜRK (zit. bei P. SCHACHTSCHABEL, 1954) dann gegeben, wenn das $\text{Ca}^{++}:\text{Mg}^{++}$ -Verhältnis 6,5:1, d. h. der Ca^{++} -Sättigungsgrad 65% und der Mg^{++} -Sättigungsgrad 10% beträgt. Der ideale Kalisättigungsgrad liegt bei 5%; 20% H^+ am Sorptionskomplex stören nicht. Nach J. SANIK u. a. (zit. bei P. SCHACHTSCHABEL, 1954) ist das optimale $\text{Ca}^{++}:\text{Mg}^{++}$ -Verhältnis in Abhängigkeit der Aufnahme verschiedener Spurenelemente variabel und schwankt zwischen 2:1 bei optimaler Z-Aufnahme und 6,7:1 bei Bor.

Im meliorierten Solontschak beträgt das $\text{Ca}^{++}:\text{Mg}^{++}$ -Verhältnis 59:33, der K^+ -Sättigungsgrad liegt bei 2,6%. Das vordringliche Problem ist hier demnach die Beseitigung des Mg^{++} -Überschusses und des K^+ -Margels. Zwischen diesen beiden Ionen besteht ja ein ausgesprochener Antagonismus. Auf Grund dessen ist der Mg^{++} -Überschuß z. T. über erhöhte Kaligaben behebbar. Dadurch wird das Mg^{++} -Angebot zwar nicht absolut, wohl

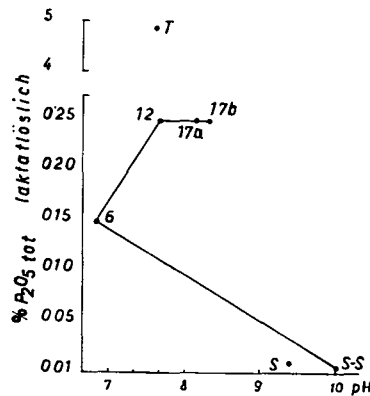


Abb. 31. Steigung der Phosphorsäurelöslichkeit durch Melioration in Abhängigkeit von pH und Zeit. 6, 12, 17 = Monate nach Melioration, S = Solonetz, S-S = Solontschak-Solonetz, T = Tschernosem. a = oberer, b = unterer Horizont.

aber „relativ“ herabgesetzt; seine physiologische Wirksamkeit wird herabgedrückt. Die erforderlichen Kaligaben berechnen sich auf Grund der in Abb. 27 dargestellten Ergebnisse zu 1500 kg/ha Reinkali ($\text{K}^+:\text{Mg}^{++}=1:2$), damit ist auch ein gleiches äquivalentes Verhältnis wie im Tschernosem erreicht (siehe Abb. 3).

Eine absolute Magnesiumherabsetzung ist zwar schwierig zu erreichen, dennoch aber geht aus den Abb. 27 und 28 hervor, daß der Anteil des Mg^{++} am Sorptionskomplex infolge Ca^{++} -Eintausches sank. Zwar ist im meliorierten Solontschak eine Erhöhung des wasserlöslichen Magnesiums beobachtbar, die gegenüber dem unmeliorierten 300% beträgt, aber diese Erhöhung ist vorübergehend und auf den Mg^{++} -Austausch in die Bodenlösung zurückzuführen. Für die Praxis ist die Annahme berechtigt, daß bei Kaliumüberschußgaben der Mg^{++} -Anteil absolut herabgemindert werden kann, sofern der Kalihauhalt nicht gestört wird.

Über die Form der zu verabreichenden Düngergaben kann gesagt werden, daß diese stets in Sulfat- und nicht in Chloridform gegeben werden müssen. Ganz allgemein kann ja hinsichtlich der schädigenden Wirkung die HOFMEISTER'sche Reihung $\text{SO}_4^{--} < \text{Cl}^- <$

$<HCO_3^- < CO_3^{--}$ gelten. Daher sind Kalisulfate den Chloriden vorzuziehen. Analog sind Ammonsulfat und Superphosphat als Stickstoff- und Phosphatdünger zu verwenden. Patentkali ist selbstverständlich infolge seiner Magnesiumbeimengung abzulehnen.

Ein eigenes Verhalten zeigt die Phosphorsäure (siehe Abb. 31). Im unmeliorierten Solontschak sind große Mengen in nicht pflanzenverfügbarer Form festgelegt (nur 0,01% der Gesamtphosphorsäure, d. s. 0,04 mg/100 g Boden doppellaktlöslich). Im Verlauf der Meliorierung hat aber eine erhöhte Pflanzenverfügbarkeit und Löslichkeit eingesetzt, nach 6 Monaten waren bei pH 6,7 0,15%, d. s. 0,7 mg/100 g Boden doppellaktlöslich, nach 12 Monaten war die Löslichkeit bei steigender pH ebenfalls weitergestiegen, nach 17 Monaten war dann demgegenüber keine Veränderung mehr eingetreten. Zur Orientierung sei vermerkt, daß im Tschernosem bei pH 7,1 4,83% der Gesamtphosphorsäure, d. s. 15 mg/100 g Boden und im Solonetz (AfosBh) bei pH 9,4 0,02%, d. s. 0,04 mg/100 g Boden doppellaktlöslich sind.

Im neutralen Reaktionsbereich ist die Phosphatlöslichkeit generell am höchsten. Im Verlauf der Meliorierung zeigte es sich aber, daß diese bei pH 6,7 nach 6 Monaten geringer war als später bei pH 8,4. Eine Erklärung dafür findet sich wohl darin, daß nach der kurzen Zeitdauer von 6 Monaten trotz schwach saurer Reaktion nicht das gesamte schwerlösliche Kalziumphosphat in leichter lösliche Phosphate übergeführt war. Nach 10 Monaten kam dann die pH-Erniedrigung, trotz neuerlichen Anstieges, erst richtig zum Ausdruck.

Schließlich seien noch einige Hinweise auf die Berechnungstechnik gegeben. Es wird davon ausgegangen, daß die nutzbare Wasserkapazität des Bodens zu 70% aufgefüllt sein sollte. Die nachfolgende Zusammenstellung zeigt, wieviel Wasser zu einem bestimmten Zeitpunkt ausgedrückt in % NK (nutzbare Kapazität) in verschiedenen Bodentiefen vorhanden ist und wieviel beregnet werden muß, um das angeführte Volumen wieder bis zu 70% NK aufzufüllen:

		1962			1963				
		30.VIII.	30.IX.	28.X.	28.VI.	30.VII.	28.VIII.	25.IX.	10.X.
Tschernosem									
0-20 cm	% NK	40	28	32	44	32	>70	46	>70
	mm R	8	13	11	9	11	0	8	0
0-50 cm	% NK	49	35	37	55	41	>70	>70	>70
	mm R	20	25	24	16	22	0	0	0
0-80 cm	% NK	59	36	49	>70	59	>70	>70	>70
	mm R	27	40	30	0	27	0	0	0
Meliorierter Solontschak-Solonetz									
0-20 cm	% NK				54	44	>70	62	>70
	mm R				11	14	0	8	0
0-50 cm	% NK				>70	61	>70	56	>70
	mm R				0	22	0	25	0
0-80 cm	% NK				>70	>70	>70	>70	>70
	mm R				0	0	0	0	0

Zunächst zeigt die Gegenüberstellung, daß im Untersuchungszeitraum die Beregnung mit Ende Mai einzusetzen gehabt hätte. Ende Juni hätten beim Tschernosem 9 bzw. 16 mm verregnet werden müssen, um den Boden bis 50 cm wieder auf 70% NK aufzufüllen; der Unterboden hatte zu dem Zeitpunkt noch Wassergehalte, die über 70% NK lagen. Maximale Regenmengen waren Ende der Sommer/Herbst-Trockenperiode zu verabreichen. Sie lagen bei 40 mm (siehe auch im Anhang Tab. 16).

Beim meliorierten Salzboden liegen die Verhältnisse insofern anders, als unter der meliorierten Tiefe von 60/80 cm eine gehemmte Durchlässigkeit vorliegt. Da die Regenkapazität 0-80 cm 200 mm beträgt, genügt dies im gegebenen Zusammenhang, um ein Absinken des Wassergehaltes unter 70% NK im oberen Saum des undurchlässigen

Unterbodens zu verhindern. Ein Absinken unter 70% NK konnte während der Untersuchungsperiode nur Ende Juni 1963 festgestellt werden.

Eine Kapillarität und damit ein Wassernachschub vom Grundwasser her liegt nicht vor, da im Grenzbereich meliorierter Oberboden/unmeliorierter Unterboden ein ausgesprochenere Grenzflächeneffekt zu beobachten ist. Dieser wird in einer der folgenden Arbeiten im Zusammenhang mit der ungenügenden Abfuhr der ausgetauschten Ionen und der mangelhaften Lateralperkoletion noch zu erwähnen sein. Jedenfalls berechnen sich die maximalen Regengaben auf dem meliorierten Solontschak-Solonetz zu rund 30 mm.

Alle Werte wurden allerdings ohne Berücksichtigung der Verdunstung während der Ausbringungszeit angeführt, dieser klimatische Faktor der Dosierung muß weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben. Ferner ist die angeführte Dosierung beim meliorierten Solontschak-Solonetz etwas höher anzusetzen. Die Erklärung dafür gibt der Sachverhalt, daß, wie oben angedeutet, eine mangelhafte Lateralperkoletion über dem Unterboden vorliegt (vorzeitiger Verfall der Maulwurfsdräne), wodurch es an der Unterkante des rigolten Oberbodens zu einem Stau der ausgetauschten Salze kommt, die ihrerseits eine sekundäre Erhöhung der osmotischen Drucke bewirken. An sich liegen ja die Durchlässigkeitswerte bei $6,10^{-3}$ ml/sec, doch gilt dieser Wert nur für den meliorierten Oberboden, während für den Unterboden die Werte des unmeliorierten Solontschak-Solonetz ($<10^{-3}$) zutreffen.

VII. Zusammenfassungen

Gegenstand der Arbeit sind vergleichende Untersuchungen an Steppenböden, insbesondere an halomorphen, die Auswirkung von Meliorationsmaßnahmen auf die Salzböden und deren Wasserhaushalt.

Die Untersuchungen wurden im Seewinkel, im Burgenland, durchgeführt. Durch meine Arbeit konnten die am Institut erarbeiteten Erkenntnisse voll bestätigt und analytisch weiter untermauert werden. Es zeigte sich, daß die Salzböden des Seewinkel in ihren Eigenschaften und Merkmalen völlig mit jenen in der Literatur beschriebenen der Salzboden-Hauptverbreitungsgebiete übereinstimmen. Sie sind jedoch keine klimatischen Bildungen im Sinne der von K. K. GEDROIZ aufgezeigten Entwicklung. Ihre Entstehung ist substratogen: es sind Schichtprofile, deren Verbreitung ursächlich an das Vorkommen eines salzführenden Horizontes geknüpft ist.

Die Solontschak-Solonetze haben ASa/Ag/SaG-Profile und zeigen extreme Eigenschaften sowohl der Solontschaks als auch der Solonetze. Der Anteil der wasserlöslichen Salze liegt über 500 mg/100 g Boden. Dementsprechend hoch ist die Leitfähigkeit, sie liegt zwischen 1000—1100 μ S, das entspricht bei einer angenäherten Umrechnung des Wasserausuges von 1:5 auf 1:1 rund 5000—5500 μ S und liegt damit über dem unteren Grenzwert, der für saline soils angenommen wird. Zudem entfallen von den über 500 mg wasserlöslicher Salze 130—140 mg auf Na^+ und rund 270 mg auf $\text{CO}_3^{--} + \text{HCO}_3^-$, der hohe Sodaanteil hat eine stark alkalische Reaktion und pH-Werte bis zu 10 zur Folge. Zudem liegt der Na^+ -Sättigungsgrad zwischen 40-50% und damit um 25—30% über der Untergrenze für saline-alkali soils (im Sinne des U. S. Salinity Laboratory Staff).

Verwitterungsart und Intensität (Abb. 8, Anhang Tab. 8, 9) sind durch Kieselsäure- und Tonerdefreisetzung charakterisiert. Dies hat eine hohe Plastizität (Abb. 9, Anhang Tab. 8) und im Zusammenhang mit den hohen Salzgehalten ein äußerst hohes Wasserspeichungsvermögen von über 60 Vol.% zur Folge. Der Anteil des pflanzennutzbaren

Wassers ist jedoch gering und liegt bei entsprechender Berücksichtigung der osmotischen Drucke zwischen 9–12 Vol. % (Abb. 13). Der Wassergehalt überschreitet nur nach der Schneeschmelze den Welkepunkt, das übrige Jahr liegt der Solontschak-Solonetz „trocken“ (Abb. 22).

Die Solonetze haben A₁/Afos/Bh/Sa-Profile. Ganz abgesehen von der jungen salzfreien Auflage ist ihr Salzgehalt geringer, dies äußert sich besonders an der nur rund die Hälfte betragenden Leitfähigkeit (Abb. 2, Anhang Tab. 3). Die Werte unter dem Kolumnenhorizont steigen wieder stark an und indizieren das gleiche Substrat, das im Solontschak die Profiloberkante bildet. Charakteristisch ist der hohe Na⁺-Sättigungsgrad der fossilen A-Horizonte von 57%; zusammen mit der Leitfähigkeit von, umgerechnet, 3200 μ S würde dies nach der US-Gliederung eine Einordnung des Solonetz als alkali soil bedingen.

Die auf die Verwitterung Rückschlüsse gestattenden Werte (Abb. 8, 10 und Anhang Tab. 8, 9) weisen auf eine leichte Inaktivierung der sorptionsaktiven Gele im Vergleich zum Solontschak-Solonetz. Dies dürfte die Folge geringerer Salzgehalte sein. Diese haben auch ihre spezifische Rückwirkung auf den Wasserhaushalt. Die Durchfeuchtung liegt länger über dem WP (im Untersuchungszeitraum bis Ende Mai).

Die Tschernoseme besitzen Ap/AC/C-Profile. Der Anteil wasserlöslicher Salze ist gegenüber dem Anteil der sorbierten Ionen unbedeutend. Dominierend sind Kalziumkarbonate und -bikarbonate, dementsprechend ist auch die Reaktion schwach alkalisch (Abb. 3, 4, Anhang Tab. 3). Im Untergrund ist eine schwache Versalzung feststellbar.

Die Solontschak-Solonetze und die Solonetze des Seewinkel sind Standorte, die weder aus pflanzenphysiologischen noch aus bearbeitungstechnischen Gründen anbauwürdig sind. Erst eine entsprechende Melioration gestattet ihre Kultivierung. Derartige Meliorationsmaßnahmen müssen zwei Ziele erreichen: Zunächst die Beseitigung der Salze, insbesondere des Na⁺; damit wird nicht allein die Reaktion gesenkt, sondern es werden auch die ungünstigen bodenphysikalischen Eigenschaften (Quellung, hohe Saugspannung, geringe Permeabilität, schlechte Durchlüftung) verbessert. Zweitens muß das Ernährungsphysiologische Moment derart berücksichtigt werden, daß die Umtauschergarnitur harmonisch gestaltet wird.

Im Verlauf meiner Untersuchungen wurde eine großflächige Melioration am Seewinkel-Hof durchgeführt. Diese umfaßte Entwässerungsmaßnahmen (Maulwurfsdrainage in offenen Gräben), das Umbrechen des Bodens auf eine Rigoltiefe von 60/70 cm, die Verabreichung von Gips (10–30 t/ha je nach dem Ergebnis von Punktanalysen), und organischen Düngern, Beregnung der Flächen (im Meliorationsjahr 400–500 mm) und das Düngen mit sulfathaltigen NPK-Düngern im darauffolgenden Jahr vor dem Auspflanzen von Reben.

Wie die Ergebnisse auf Abb. 26 bis 31 zeigen, war der Boden 16 Monate nach der Melioration weitgehend in Ordnung gebracht. Besondere Erwähnung verdient das Sinken des pH auf 7,0–7,6, der Leitfähigkeit auf 390 μ S, die Verbesserung der Struktur und die Erhöhung des Porenvolumens auf 66%, besonders aber der Umstand, daß der meliorierte Solontschak-Solonetz das ganze Jahr über pflanzenverfügbares Wasser hat. Die eingeleiteten Düngungsmaßnahmen konnten allerdings das bestehende disharmonische Nährstoffangebot nicht beseitigen. Dies gilt vor allem im Hinblick auf die großen Magnesiummengen, die innerhalb der 16 Monate noch nicht voll ausgetauscht waren, aber auch für das Ca⁺⁺, das am Ende der Untersuchungsperiode zu 60% am Sorptionskomplex vertreten war. Daher beansprucht die Kalidüngung auf meliorierten Salzböden erhöhtes Augenmerk. Im vorliegenden Fall müssen die Kaligaben auf den starken Antagonismus des Magnesiums und des Kalziums abgestimmt werden.

Investigations on Saline Soils and Steppe Soils in the Eastern Part of Austria; their Characteristics, Results of Melioration and Agricultural Aspects

Numerous investigations have been done on steppe and halomorphic soils of the Seewinkel, Burgenland, Austria. Reclamations of saline soils are described and the methods of improvement examined with special reference to their water economy and changes in salt dynamics.

The Seewinkel catena of halomorphic soils is completely the same described in the main ranges of their distribution. But soil forming conditions are quite different to those. The climate of Seewinkel is semihumid, the soils developed from saline deposits of the Riss/Würm interglacial, the so-called „salzführender Horizont“. Solonchaks do not develop by salt accumulation under recent conditions and solonetztes not by leaching of solonchaks as described by K. K. GEDROIZ. The residual saliferous horizon is mostly overlain by younger deposits, as gravels and eolian and limnetic silt and sand. Just on smaller spots it occurs exhumed. Depending on the grade of erosion which translocated those superincumbent deposits there recently were formed the different halomorphic soils. Solonchaks developed on places without any small superincumbent layers. Those are SaG/G-profiles.

Solonchak-Solonetztes have ASaAgSaG-profiles, wherein the A-horizons symbolize a shallow superincumbent layer of some few cm (mostly 20 cm) showing salt efflorescence. The analytical dates show extreme characteristics of both, of solonchak and solonetz. They are highly enriched by water soluble salts (500 mg/100 g soil), the conductivity ranges up to 5000–5500 micromohs/cm. On account of high amounts of sodium hydrogen carbonate the pH rises up to 10 and the sodium saturation degrees to 40–50%. Soils like these are determined by US Salinity Laboratory Staff as Saline Alkali Soils. Their water content lies under the wetting point throughout the year, except for some two or four weeks after snow melting in March. But, depending on high salt saturations, solonchak-solonetztes have a high water retaining capacity of about 60%. They also are high in silicon and aluminium free oxydes.

Solonetztes have A₁AfosBhSa-profiles. A₁ consists of a saltless holocene material, whereas Afos means the saltry, half boggy upper layer of saliferous horizon. Their content of soluble salts and therefore their conductivity (3200 micromohs/cm) are rather low but sodium saturation degrees increase up to 57%. Those soils belong to the alkali soils. The water availability is just a bit higher than in solonchaks, they are water logged from December to April, water content lies about wetting point until May.

Chernozems bordering the halomorphic catena developed from loess like deposits on top of gravel terraces. On account of high amounts of calcium hydrogen carbonate they are rather high in pH (about 7,8), their subsoils are higher in content of salt.

Reclamations of solonchak-solonetz were done by application of gypsum (10–30 t/ha, depending on analysis data) and organic matter (saltless, half boggy and green materials). The area of about 30 ha was formerly drained. Also before the application the upper layers down to 60/70 cm were turned over by ploughing and the soils were sprinkled with 400–500 mm water throughout the first year. The following year, before planting wine, improved soils got an application of N-P-K fertilizers, all given as sulphates. Some spots higher in salt content had to be improved a second time in the following year.

As a result of this process the pH decreased from 10 to 7,0–7,8, conductivity from about 5500 micromohs/cm to about 2000 micromohs/cm, and sodium saturation down to 6,8%. The soil got a better structure, the distribution of pore size was changed from 40:60 to 60:40. There is water availability throughout the year. Though soils were in good conditions of crop growing there still was a superabundance especially in magnesium. Therefore great care must be taken of nutrient relationship, especially concerning the high amount of potassium.

زمینهای "چار نوزم" پروفیل این زمینها دارای هوریزونت های $A_p/A_2/AC/C$ میباشد . مقدار نمکهای محلول در آب برخلاف یونهای جذب شده بسیار ناچیز است و قسمت عمده آن از کسیم بیکنات و تا حدودی کسیم کرنات تشکیل شده است بهمین جهت دارای pH قلیائی ضعیف میباشد . (شکل ۳ و ۴ جدول ۳) در قسمت عمقی این زمینها آثاری از نمک تشخیص داده میشود .

زمینهای نمکی اثری از نظر فیزیولوژی گیاهی و تغذیه و عملیات فنی برای کشت و زرع بهیچ وجه قابل استفاده نیستند . برای انجام عملیات اصلاحی باید دودهای اصلی برآورده شود . اول برطرف کردن نمک بخصوص نکههای سدیم جهت پائین آوردن pH و برطرف کردن فشار اسمزی مساعد کردن خواص فیزیکی خاک . دوم متعادل و مساعد کردن وضع شیمیائی زمین با رعایت نسبت یونها در کمپلکس کلوئیدی جهت تغذیه گیاه .

تحقیقات من روی قطعه بزرگی از زمینهای شور زار در موسسه "سه وینکل هوف" انجام یافته . برای تبدیل این زمینها بزمینهای زراعتی دود عملی انجام یافته اول عملیات فنی از قبیل حفر کانالهای باز و زه کشی و شکافتن زمین بحقیق ۶۰ تا ۷۰ سانتیمتر بوسیله ماشینهای مخصوص - دوم آزمایشات دقیق برای بکار بردن کودهای شیمیائی کسیم که در اینجا بطور عمده سولفات کسیم مصرف شده است (۱۰ تا ۳۰ تن برای هر هکتار) و همچنین استعمال کود های آلی و در تعقیب آن آبیاری بصورت باران مصنوعی (در سال اول ۴۵۰ تا ۵۰۰ میلیمتر) سوم استعمال کود های شیمیائی سولفات (ازت - پتاس - فسفات) برحسب احتیاج گیاه طبق نتیجه آزمایش زمین قبل از غرس جوانه های مو . شکلهای ۲۶ تا ۳۱ اثرات اصلاحی زمینهای نمکی را نشان میدهد (سولونچاک سولونتس) . در این زمینها مقدار pH به ۷ تا ۷/۶ رسیده و قابلیت هدایت جریان تا ۳۹۰ میکروهنس پائین آمده و همچنین خواص فیزیکی خاک مانند جذب و حرکت آب نفوذ و ذخیره هوا (۶۶ درصد حجم) و منعقد شدن کلوئید های خاک بوسیله یون کسیم و مهمتر از همه آنکه مقدار آب قابل استفاده گیاه در تمام مدت سال و سایر خواص شیمیائی و فیزیکی تغییرات کلی نموده است . بنحوی که رشد گیاهان کاملاً طبیعی شده است .

مسئله ای که اشاره بان لازم است چگونگی نسبت کاتیونها ی موجود در کمپلکس کلوئیدی خاک است . با وجودیکه قبل از کشت و زرع مقدار لاقی کود های شیمیائی بزمین داده شده مغذالک یک تا هم آهنی بین کاتیونها وجود دارد . علت آن از یکطرف وجود مقدار زیاد ماگنیزیم است که شانزده ماه بعد از اصرح زمین هنوز بیش از ۲۵ درصد میباشد و از طرف دیگر جذب فراوان کسیم در این مدت است که تا ۶۰ درصد میرسد . برای برطرف کردن این عدم تعادل بهترین طریقه با رعایت جنبه اقتصادی بکار بردن پتاس محاسبه شده در زمین است . بدین طریق رشد بهتری برای گیاهان و محصول بیشتری تامین خواهد شد .

یونهای CO_3^{2-} و HCO_3^- وجود دارد. مقدار زیاد سودا سبب واکنش شدید قلیائی گردیده چنانکه pH را به ۱۰ رساند.

در این زمینها درجه اشباع سدیم ۴۰ تا ۵۰ درصد است که ۲۵ تا ۳۰ درصد آن از حد تعیین شده برای گروه زمینهای نوع سالدین الکی Saline-Alkali-Soils بیشتر میباشد. برای بررسی نوع و چگونگی و شدت اثر آب و هوا $\text{Verwitterungsart u. - Intensität}$ روی این زمینها مقدار اسید سیلیسیک و اکسید آلومینیوم آزاد شده مورد آزمایش قرار گرفته (شکل ۸ جدول ظو ۹). این زمینها دارای خاصیت چسبندگی و کمش فوق العاده ای هستند. (شکل ۹ جدول ۸). بادر نظر گرفتن مقدار زیاد نمک در این زمینها ظرفیت ذخیره آب در آنها بسیار زیاد و بیش از ۶۰ درصد حجم را تشکیل میدهد. در حالی که آنها آب فراوان ذخیره میکنند، معذالك مقدار آب قابل استفاده برای گیاهان بسیار کم است. و با محاسبه فشار اسمزی موجود فقط ۹ تا ۱۲ درصد حجم است. (سفت بررسی آب شگ ۱۱ تا ۱۳) بطوریکه منحنی نشان میدهد فقط در اواخر فصل زمستان آب موجود در زمین از نقطه پژمردگی Welkepunkt تجاوز میکند ولی در سایر اوقات سال پائین تر از نقطه مزبور میباشد. با اصطلاح سولونچاک - سولونتس مدت سه چهارم سال در حال خشکی است. (شکل ۲۲) ضمنا دینامیک نمک در این زمینها را میتوان از روی شکل های ۵ و ۶ و ۷ مورد بررسی قرار داد.

زمینهای "سولونتس" دارای هوریزونت های $A_1/A_{fos} Bh/Sa$ میباشد. جز هوریزونت A_1 که از مواد ژئولوژی جوان و بدن نمک تشکیل شده عموما مقدار نمک محلول در آب این زمینها کم میباشد. بالنتیجه دارای قابلیت هدایت جریان کوچگتری است که در حدود نصف اندازه زمین های سولونچاک - سولونتس میباشد. (جدول ۳ شکل ۲) همانطوریکه شکل ۲ نشان میدهد نتیجه آزمایشهای شیمیائی از کلوژن هوریزونت $Kolommen$ بطرف پائین تغییر کرده یعنی مقدار نمکهای محلول در آب زیادتر شده بطوریکه به هوریزونت Asa سولونچاک سولونتس شبیه میشود. و نیز مواد ژئولوژی آنها از یت نوع است. یعنی هوریزونت حامل نمک در زمینهای سولونچاک در سطح زمین و در سولونتس در قسمت عمقی قرار دارند.

از مشخصات اصلی زمینهای سولونتس زیاد بودن درجه اشباع سدیم مخصوصا در هوریزونت فوسیل $A_{fos} Bh$ است که ۷۵ درصد از مجموع کاتیونهای جذب شده را تشکیل میدهد. دیگر قابلیت هدایت جریان کم آنست که در محلولی با نسبت ۱/۱ برابر ۳۲۰۰ میکروزیمنس میباشد. در مقایسه با کروئندی آمریکائی "الکالی سایل" نام دارد. در اثر اصلاح این زمینها آزمایشهای بعدی در مورد اثر آب و هوا (شکل ۸ و ۱۰ جدول ۹) نتیجه گرفته میشود که ژل Gel های فعال و جذب کننده آب و یونها تا حدودی فعالیت خود را از دست میدهند (Sol) و باعث آن میشوند که ظرفیت ذخیره آب کمتر ولی مقدار آب قابل استفاده گیاه افزایش یابد. (شکل ۳۰)

زمینهای نمک زار و استپ در شرق کشور اتریش

خواص و مشخصات - نتایج اصلاحی - رعایت جنبه اقتصادی

خلاصه

موضوع تحقیقات و آزمایشات بطور کلی بررسی زمینهای شور زار اصلاح و طرق آن اثرات اصلاحی و دینامیک نمک های مختلف برای زمین و گیاه با رعایت مخصوص وضع آب در این زمینها و سایر خواص شیمیائی و فیزیکی میباشد .
 بموازات این تحقیقات زمینهای استپ Stepp نیز بمنظور مقایسه مورد بررسی قرار گرفته است .
 تحقیقات و آزمایشات در منطقه "سه وینکل" در استان بورگن لند واقع در شرق کشور اتریش که دارای زمینهای نمک زار است و ادامه جلگه های وسیع مجارستان میباشد انجام شده است .
 در نتیجه بررسی های اینجانب فرضیه ها و تحقیقات قبلی که در این مورد در انستیتوی اکتشافات زمین در دانشگاه کشاورزی وین بعمل آمده بود ، کاملاً مورد تأیید قرار گرفت .
 تحقیقات نشان میدهد که زمینهای نمکی اتریش از نقطه نظر ساختمان و مشخصات با زمینهای نمکزار سایر نقاط جهان که در کتب علمی خاک شناسی ذکر شده کاملاً منطبق است . ولی برخلاف فرضیه ک. ک. گدرویشز که آب و هوا نقش مهمی در پیدایش زمینهای نمک زار دارد ، باید گفت که علت اصلی بوجود آمدن این زمینها وجود مواد ژئولوژی خاصی بنام هوریزونت حامل نمک salzführender Horizont میباشد .
 (رجوع شود به قسمت ژئومورفولوژی)

انواع اصلی این زمینها

زمینهای نوع "سولونچاک" - سولونتس "پروفیل Horizont این زمینها دارای هوریزونت های ASa/Ag/SaG میباشد . خواص شیمیائی و مورفولوژی این زمینها شباهت خاصی به زمینهای نوع سولونچاک و سولونتس دارد ، بهمین علت سولونچاک - سولونتس نامیده میشوند .
 در صد گرم خاک به نسبت ۱/۵ (خاک به آب) مقدار نمکهای محلول در آب بیشتر از ۵۰۰ میلی گرم میباشد .
 و دارای قابلیت هدایت جریانی برابر با ۱۱۰۰ - ۱۰۰۰ میکرو زمینس است . چنانچه نسبت خاک به آب را ۱/۱ بگیریم قابلیت هدایت جریانی برابر ۵۰۰ - ۵۰۰۰ میکرو زمینس خواهد شد . با در نظر گرفتن قانون طبقه بندی و طرق تعیین نوع زمینهای نمک زار طبق متد آمریکائی زمینهای سولونچاک - سولونتس اتریش با تطبیق حد قابلیت جریانی در گروه زمینهای سالیین Salin Soils قرار دارند (قسمت گروه بندی)
 در بیش از ۵۰۰ میلی گرم نمک محلول در آب ۱۴۰ - ۱۳۰ میلی گرم یون سدیم و در حدود ۲۷۰ میلیگرم

VIII. Literaturverzeichnis

- Burgenländisches Landesarchiv. Allgemeine Landestopographie d. Bgld., Bgld. Landesreg. 1954.
- ANDERSON, M. S.: Journ. of Agric. Research. (England) 38, 1929, S. 565. Zit. b. Di Gleria.
- ANTIPOV-KARATAEW, I. N.: Melloration der Solonetzböden in der UdSSR. Moskau 1953, 1954, Zit. b. P. Janitzky, 1957.
- ARANY, S.: Die Entstehung der Alkaliböden. Kongreß für Bodenkunde der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest, 6. - 8. Juni 1955.
- A szikes talaj és javítása. Mezőgazdasági kiadn. Budapest 1956.
- Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung (Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin), Bd. I, H. 2, Akademie-Verlag Berlin 1961.
- ATTERBERG, A.: Die mechanische Bodenanalyse und die Klassifikation der Mineralböden Schwedens. Int. Mitt. Bodenk. II, 1912.
- Die Konsistenz und die Bindigkeit der Böden. Int. Mitt. Bodenk. II, 1912.
- BAUMANN, H.: Zur Ermittlung des Wasserbedarfs der Landwirtschaft. Wasser und Boden, 2, 1950.
- BAUMEISTER, W.: Das Natrium als Pflanzennährstoff. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1960.
- BERGMANN, L. und SCHAEFER, CL.: Lehrbuch der Experimentalphysik, Band I, Mechanik, Akustik, Wärmelehre. Verlag Walter De Gruyter und Co., Berlin W 35, 1954.
- BERNSTEIN, L.: The salt tolerance of field crops. Agr. Informations Bul. 217, 1959.
- BÖRNSTEIN, L.: Physikalisch-chemische Tabellen, Berlin 1932.
- BOJKO, H.: Über die Pflanzengesellschaften im Burgenländischen Gebiete östlich vom Neusiedler See. Burgenländische Heimatblätter, 1, 1932.
- BOWER, C. A., REITMEIR, R. F. and FIREMAN, M.: Exchangeable Cation Analysis of Salin and Alkali Soils. Soil sci. 73: 251 - 261, 1952.
- BRONNER, H.: Bodenbefeuchtungsbeobachtung unter Zuckerrübe und anderen Feldfrüchten auf Lößlehm im Raume von Linz, OÖ. (Naturkundl. Jb. Linz, 1963).
- Burgenländische Landeskunde, Herausg. Bgld. Landesreg. Österreich. Bundesverlag 1951.
- CZERATZKY, W.: Bodenphysikalische Probleme des Bodenwasserhaushaltes und der Feldberechnung. Landbauforschung Völknerode, H. 4, Jg. 1958.
- Salzanreicherung durch Bodenverdunstung im Trockenjahr 1959. Landbauforschung, Völknerode, Braunschweig, H. 2 (April/Juni), 1960.
- CZERATZKY, W. und KORTE, W.: Rationelle Steuerung der Feldberechnung. Landbauforschung Völknerode, 5, Jg., H. 4, S. 75 - 79, 1955.
- DUCHAUFOR, PH.: Précis de Pédologie. Masson & Cie. Paris 1965.
- EHRENBERG, P.: Die Bodenkolloide. Verlag Theodor Steinkopff, Dresden u. Leipzig, 1922.
- FINK, J.: Die Böden Österreichs. Mitt. Geogr. Ges. Wien, Bd. 100, H. III, 1958.
- FRANZ, H.: Zur Kenntnis der Steppenböden im pannonischen Klimagebiet Österreichs. Die Bodenkultur, Bd. 8, H. 2, April 1955.
- Feldbodenkunde. Verl. G. Fromme & Co., Wien - München, 1960.
- Die Böden Österreichs. Mitt. Österr. Bodenk. Ges. Wien, H. 6, 1961.
- FRANZ, H. und HUSZ, G.: Neusiedl/See - Podersdorf - Illmitz. Exkursion C: Mitt. Österr. Bodenk. Ges. Wien, H. 6, 1961.
- Die Salzböden und das Alter der Salzsteppe im Seewinkel. Mitt. Österr. Bodenk. Ges. Wien, H. 6, 1961.
- FRASL, G.: Zur Petrographie der Sedimente des Seewinkels. Mitt. Österr. Bodenk. Ges. H. 6, 1961.
- GARRUSCHA, J. F.: Bodenkunde I. Deutscher Bauernverlag, Berlin 1953.
- GEDROIZ, K. K.: Die Solodierung der Böden. Veröff. d. Nosowsk. Landw. Vers. Station 44, 1926.
- GLERIA, J. DI: Die Bodenphysik und Bodenkolloidik. Verl. Ung. Akad. Wiss., Budapest 1962.
- GRACANIN, M.: Über den Einfluß des Natriumsulfats u. Ammoniumsulfats auf die Kali- und Phosphorsäureaufnahme aus dem Boden, Z. Pflanzenernährung und Düngung. Bodenkund. 9 B. 300 - 309 (1930).
- GRAF, H.: Hydrographie und Klima des Burgenlandes. Burgenl. Forschung. Vierteljahressheft 2/3. Eisenstadt 1929.
- GÜNTSCHL, E.: Wasserwirtschaft und Landeskultur im Seewinkel. Natur und Land 37, 4, Wien 1951.
- HAUDE, W.: Zur Bestimmung der Verdunstung auf möglichst einfache Weise. Mitt. d. Dtsch. Wetterdienstes Nr. 11, 1955.
- HERKE, A.: Die Mellioration und Nutzbarmachung der Alkaliböden im Schwemmlandgebiet der Donau. Kongreß für Bodenkunde der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest, 6. - 8. Juni 1955.
- HASSINGER, H.: Beiträge zur Physiogeographie des Inneralpinen Wiener Beckens und seiner Umrahmung. Festsb. A. Penck, Bibl. Handb. Stuttgart, 160 - 197, 1918.
- HARRASSOWITZ, H.: Laterit, Berlin 1926.
- HERRMANN, R., THUN, R. und KNICKMANN, E.: Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethode (Methodenbuch. Die Untersuchung von Böden). Verlag Neumann, Radebeul und Berlin 1955.
- HILLER, W.: Die Nährlösungskontrolle im Gartenbau. VEB. Deutscher Landwirtschaftsverlag 1961.
- HUSZ, G.: Untersuchungen über die Entstehung von Salzböden im Seewinkel (Burgenland) als erste Grundlage ihrer Mellioration. Dissertationsarbeit an der Hochschule für Bodenkultur in Wien, Juli 1962.
- Zur Bodenkartierung im Salzbodenbereich des Seewinkels. Wis. Arb. a. d. Burgenland, H. 29, 1963.
- Hydrographischer Dienst in Österreich. Die Niederschläge in Österreich im Zeitraum 1901 - 1950. Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien 1951.
- JANETZKI, P.: Salz- und Alkaliböden und Wege zu ihrer Verbesserung. Ein Vergleich russischer und amerikanischer Forschungsergebnisse. Band 2, Kommissionsverlag Wilhelm Schmitz, Gießen 1957.
- KELLEY, W. P.: Alkali Soils, their Formation, Properties and Reclamation. Reinhold Publishing Corporation, New York 1951.
- KLAPP, E.: Lehrbuch des Acker- und Pflanzenbaues. 1958.
- KNIE, K.: Über die Grundwässer im Seewinkel, Wasser und Abwasser, Wien 1961.
- KNIE, K., GAMB, H. und LÖFFLER, H.: Zum Chemosismus der Brunnenwasser im Seewinkel. Wasser und Abwasser. „Beiträge zur Gewässerforschung“ Bd. II, 1960.
- KOPF, F.: Wasserwirtschaftliche Probleme des Neusiedler Sees und des Seewinkels. Österr. Wasserwirtschaft, Jg. 15, H. 9/10, 1963.

- KORTE, W.: Die klimatische Wasserbilanz als Charakteristik der Witterung. Landbauforschung Völkenrode. Jg. 11, H. 1, 1961.
- Klimatische Wasserbilanz - ein Hilfsmittel zur Steuerung der Feldberechnung. Landbauforschung Völkenrode. 8. Jg. H. 4., 1958.
- KORTE, W. und CZERATZKY, W.: Einsatz der Feldberechnung in Niedersachsen nach der Völkenroder Methode. Wasser und Nahrung, H. 2, Drostenverlag, Düsseldorf 1959.
- KOVDA, V. A.: Entstehung und Haushalt der versalzten Böden. Moskau, Band I, 1946. Band II, 1947 (Zit. b. P. JANITZKY, 1957).
- Die gegenwärtigen Salzsammlungsprozesse (Halogenese) in Böden und Gewässern. Nr. 11, Moskau 1947 (Zit. b. JANITZKY, 1947).
- LÜTTMER, J. und JUNG, L.: Über die Eignung des Natriumpyrophosphats zur Dispergierung bei der mechanischen Bodenanalyse. Mitt. a. d. Inst. für Bodenkunde u. Bodenerh. Gießen 1955.
- KUBIENA, W. L.: Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1953.
- KÜPPER, H.: Erläuterungen zur Aussicht vom Hackelsberg. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges., 6, 53 - 55, 1961.
- LAATSCH, W.: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. Verlag Theodor Steinkopff, Dresden u. Leipzig.
- LEHER, J. J.: Sodium as a secondary constituent of Nitrogen fertilizers. Communication to the 2nd World Congress of chemical fertilizers. Rom, 1951.
- LOEBELL, R.: Luftpyknometer. Schriftenr. d. Kurator. f. Kulturbauwesen, Hamburg 1955.
- MATTSON, S.: Soil Science (Baltimore), 33 (1932), 301 (Zit. b. Di Gleria 1962).
- MAY, W.: Zusammenfassende Ergebnisse einer Anzahl von ausländischen Arbeiten über die Rolle des Kaliums und Natriums im Boden und in der Pflanze. Z. Pflanzenernährung und Düngung und Bodenkunde, 1951.
- MENDEL, K.: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena 1961.
- METZNER, H.: Mineralsalze und Kolloidzustand, Ionenantagonismus. Hdb. d. Pflanzenphysiologie, Bd. IV, Springer Verlag, Berlin (Göttingen), Heidelberg 1958.
- MITSCHERLICH, E. A.: Bodenkundliches Praktikum, Berlin 1927.
- Bodenkunde für Landwirte, Forstwirte und Gärtner, Berlin 1954.
- METTER, B.: Biologische Physikochemie. Akad. Verlagsges. Athenion. Potsdam 1951.
- NITZSCH, W. VON: Stechzylindermethode. Bessere Bodenbearbeitung 70, RKTL-Schriften, Berlin 1939.
- POZDENA, L.: Zur Kenntnis der Salzböden, erörtert an einigen Profilen aus der Umgebung des Neusiedlerseebeckens. Natur und Land, 33/34, 10/2, Wien 1932.
- PRETTENHOFER, L.: Methoden und Ergebnisse der Melioration von kalkfreien Alkaliböden (Ung. Solonetzböden). Kongreß für Bodenkunde der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest, 6. - 8. Juni 1955.
- REPP, G.: Ökologische Untersuchungen im Halophytengebiet am Neusiedlersee. Jahrbuch für wissenschaftl. Botanik, Bd. LXXXVIII, H. 4, 1939.
- Der Reisbau in der ungarischen Alkalisteppe. Forschungsdienst 13, Heft 6, 1942.
- Untersuchungen über die Kultivierung von Salzböden. „Die Bodenkultur“, 4. Jg. H. 3, 1950.,
- Kulturpflanzen in der Salzsteppe. „Die Bodenkultur“, 5. Jg., H. 2, 1951.
- RICHARDS, L. A. and CAMPBELL, R. B.: Use of thermistors for measuring the freezing point of solutions and soils. Soil sci. 65: 429 - 436. Illus. 1948.
- The freezing point of moisture in soil cores. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 13: 70 - 74, 1949.
- RIEDL, H.: Beiträge zur Morphogenese der Randgebiete des Neusiedler Sees und des Gebietes der Wiener Pforte. Mitt. d. Naturw. Ver. f. Stmk. Bd. 93, Graz 1963.
- Erläuterung zur morphologischen Karte der eiszeitlichen Flächensysteme im Flußgebiet der Wulka und an der Süabdachung des Leithagebirges. Wiss. Arb. a. d. Bgld. Heft 31, 1964.
- RIEHM, H., ULRICH, B. und ULRICH, M.: Schnelle Bestimmung der Kationensorptionskapazität. Landw. Forschung, 6. 2. 1954.
- RINNO, G.: Untersuchungen über die Wasserbewegung im Boden in Abhängigkeit von der Größe der Bodenoberfläche, der Hygroskopizität und dem Kationenbelag. Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 54, 1951.
- Ein Beitrag zur Hygroskopizität. Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 66, 1954.
- RICHARD, L. A.: Posus plate apparatus for measuring moisture retention and transmission by soil. Soil Science 1948, 66, 105; zitiert nach: Studie von de Porciendenc in de boden Med. v. d. Landbouwhogeschool Gent 1955, 98 - 130.
- Methode of measuring soil moisture tension. Soil Sci. 1949, 68, 95.
- RODE, A. A.: Das Wasser im Boden. Akademieverlag Berlin 1959.
- ROEMER, O., SCHEFFER, E., und TORNAU O.: Lehrbuch des Ackerbaues 1959.
- ROSANOW, A. N.: Neue Angaben über die Genetik und Melioration der Solonetzböden in der Sowjetunion. Kongreß für die Bodenkunde der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest, 6. - 8. Juni 1955.
- SCHACHTSCHABEL, P. und KÖSTER, W.: Lösliche Kieselsäure und Oxyde von Aluminium, Eisen und Mangan. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 85 (103). Band, Heft 3, 1950.
- Chemische Untersuchungen an Marschen. Ztschr. für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 83. (128) Band, Heft 3, Berlin 1958.
- SCHACHTSCHABEL, P.: Das pflanzenverfügbare Magnesium des Bodens und seine Bestimmung. Ztschr. f. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, 67 (112). Band, Heft 1, 1954.
- Der Nährstoffgehalt des idealen Bodens. Landw. Forsch. Sonderh. 6, S. 50 - 63. 1955.
- SCHARER, K. und JUNG, L.: Der Einfluß der Ernährung auf das Verhältnis von Kationen zu Anionen in der Pflanze. Z. Pflanzenernähr. Düngung, Bodenkunde, 71. 76, 1955.
- SCHAEFFER, F. und WELTE, E.: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, II. Teil, Pflanzenernährung. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1955.
- SCHAEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, I. Teil Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1960.
- SCHAEFFER, F. und ULRICH, P.: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde, Humus und Humusdüngung, III. Teil, Band I, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1960.
- SCHILLER, H.: Die Bor- und Manganversorgung der Böden im oberösterreichischen Alpenvorland. „Die Bodenkultur“, Bd. 12, Heft 3, 1961.

- SEKERA, F.: Nutzbarkeit des Bodenwassers für die Pflanzen. Fragestellung und Methodik. Zeitschr. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, Bd. 26, 57–125, 1932.
- Statik und Dynamik des Bodenwassers. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde, H. 6, 1938.
- STOCKER, O.: Pflanzenphysiologische Übungen. Verlag Gustav Fischer, Jena 1942.
- SAUERZOPF, F.: Das Werden des Neusiedlersees. Burgenl. Heimatblatt, Jg. 18, H. 1, 1956.
- Zur Entwicklungsgeschichte des Neusiedlerseegebietes. Wissenschaftliche Arbeiten aus dem Burgenl. H. 23, 1959.
- SWAROWSKY, A.: Die hydrographischen Verhältnisse des Burgenlandes. Burgenland-Festschrift (Wien), 49–61, 1920.
- SZABOLCS, I.: Hortobágy talajjal. Mezőgazdasági kiado, 1954.
- Die Genetik der Ungarischen Alkaliböden und ihre Bedeutung vom Gesichtspunkt ihrer Nutzbar-machung: Kongreß für Bodenkunde der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest, 6.–8. Juni 1955.
- Die Degradierung der bewässerten Reisböden in Ungarn. Chemie der Erde, Bd. 20, H. 1, 1959.
- TAUBER, A. F.: Zur Oberflächengeologie des Seewinkels. Wissenschaftl. Arbeiten aus dem Burgenland 23, Eisenstadt, 1959.
- TAUBER, A. F., KNEI, K., GAMS, H. und PESCHEK, E.: Die artesischen Brunnen des Seewinkels im Burgen-land. Wasser und Abwasser, Beitrag zur Gewässerforschung III, Wien 1959.
- TAUBER, A. F. und WIEDEN, P.: Zur Sedimentschichtfolge im Neusiedlersee, Wiss. Arb. d. Burgenl. Eisenstadt 1959.
- TSCHERKASSOW, A. A.: Melioration und landwirtschaftliche Wasserversorgung, Moskau Sep. 1950, Dtsch. Bauernverlag. Greifswald-Eldena 1955.
- United States Salinity Laboratory Staff. Saline and Alkali Soils. Agric. Handbook 60, 1954.
- WENDELBERGER, G.: Zur Soziologie der Kontinentalen Halophytenvegetation Mitteleuropas. Wien 1950.
- WILENSKI, D. G.: Zur Genesis der Alkali- und Salzböden im Zusammenhang mit der Quartärgeschichte. – Ukr. Akad. d. Wissenschaften „Die Quartärperiode“ 4. 1932. Bodenkunde, Deutscher Bauern-verlag, Berlin 1937.
- WOLKOWITZ, H.: Untersuchungen über die Auswirkung der Kationenbelegung auf die physikalischen Eigenschaften eines Mineralbodens. „Zeitschrift für Kulturtechnik“, I. Jahrg., Heft 3, Seite 162–179, 1960.
- WOODROOF, C. M.: Soil moisture and plant growth in relation pF. Soil Sci. Soc. Am. Proc. (1940) 1941.
- WYBENGA, J. M.: Sodium: An essential nutrient for the plant Communication 3 Fertilizer World Congress Heidelberg (1957). Zit. bei W. Baumeister 1960.
- YAALON, D.: On the Origin and Accumulation of Salts in Groundwater and in Soils of Israel. Bulletin of the research council of Israel. S. C. Geo. Sci. V 11 G, N. 3, 1963.
- ZELLNER, J.: Zur Chemie der Halophyten. Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, Abt. II B (Math. Nat. Kl.), 135, 585–592, 1926.

IX. Anhang

Bodenchemische Methoden

- Wasserauszug (1:5):** 20 g Boden und 100 ml destilliertes Wasser 30 Minuten geschüttelt und mit oder ohne Zusatz von Aktivkohle filtriert.
- Ammonazetatauszug:** Nach BOWER e. a. (1952): 20 g Boden und 100 ml n-Ammonazetat (pH7) eine Stunde geschüttelt.
- Salzsäureauszug:** Methode d. ehem. Preußisch-Geolog. Landesanstalt: 25 g Boden in 100 ml konz. HCl eine Stunde auf dem Sandbad kochen, bis zur Chlorfreiheit waschen, auf 1000 ml auffüllen.
- Kali- und Natronlaugeauszug (5%-ig):** Nach SZABOLCS (1954): 10 g Boden mit 100 ml 5%-iger Lauge kochen.
- Doppellaktatauszug:** Nach EGNÉR-RIEHM (1952): 5 g Feinboden mit 250 ml Doppellaktat 2 Stunden schütteln.
- Sodaauflösung:** 1 g Boden im Platintiegel mit 5 g Na₂CO₃ schmelzen. Der Kuchen wird in einer Platinschale zerrieben, in Wasser aufgenommen und die Kieselsäure sofort durch Eindampfen und Ansäuern abgeschieden.
- pH:** Elektrometrisch (Metrohmgerät E 196 S). Suspension 1:2,5 in Wasser (bei Salz-böden) und n-KCl (beim Tschernosem) nach 24-stündigem Stehen.
- Humus:** Naßverbrennung nach dem von WALKLEY, ARMSTRONG, BLACK (1935) geprüften DEGTJAREFF'schen Verfahren.
- Karbonat:** Im SCHEIBLER-Apparat mit 10%-iger HCl.
- UK:** Nach RIEHM-ULLRICH (1954): 10 g Boden, 0,5 g CaCO₃, 0,5 g Aktivkohle, 250 ml n/10-Ammonoxalat 2 Stunden schütteln. Nicht sorbierte NH₄⁺-Ionen aus dem Filtrat abdestillieren und titrimetrisch Schwefelsäureverbrauch in der Vorlage be-stimmen.

S-Wert: Differenzbildung: ammonazetatlösliche Kationen – wasserlösliche Kationen.
Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺: Flammenphotometrisch im Sodaaufschluß, Wasser-, Ammonazetat- und Salzsäureauszug.

Cl⁻: Titrimetrisch im Wasserauszug mit n/20-Ag NO₃ gegen KCr₂O₄ (5–10 Tropfen).

SO₄⁻⁻: Gravimetrisch als BaSO₄ im Wasserauszug nach vorherigem Kochen und Zusatz von Zitronensäure.

Alkalinität: Titrimetrisch im Wasserauszug (50 cm³) mit n/10 HCl gegen a) Methylorange und b) Phenolphthalein. Der Anteil der Bikarbonate wurde als Differenz a)–b), d. i. (Na₂CO₃ + NaHCO₃) – Na₂CO₃ bestimmt.

Leitfähigkeit (μ S = 10⁻⁶ Ω): Im Wasserauszug mittels Leitfähigkeitsmeßgerät Radiometer-Kopenhagen CIM 2.

Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO: Gravimetrisch im Salzsäureauszug, Al₂O₃ zusätzlich im KOH- und NaOH-Auszug.

Fe₂O₃, MnO Kolorimetrisch mit α, α'-Dipyridil (λ 429) und Permanganat (λ 520) im Zeiss-Photometer PMQ II.

SiO₂, MnO: Gravimetrisch im Salzsäure- und den Laugenauszügen nach mehrmaligem Ansäuern und Eindampfen.

P₂O₅: Kolorimetrisch mit Sulfomolybdänblau im Sodaaufschluß, Salzsäure- und Doppelaktatauszug mit dem Zeiss-Photometer PMQ II.

b) Bodenphysikalische Methoden

Fraktionierung: Aufschlammung und Dispergierung mit Natriumpyrophosphat nach LÜTTMER-JUNG (1955). Vergleichsweise Aufbereitungen mit Triäthanolamin und nach der Int.-Meth.-B zeigten sich für Salzbodenproben ungeeignet.

2–0,1 mm	}	ermittelt durch Sieben
0,1–0,02 mm		ermittelt durch Sieben
0,02 mm, (R+Z)		ermittelt durch Pipettieren mit KUBIENA-Pipette
0,002 mm, (R)		aus KÖHN-Zylinder nach Absinkzeiten von 4'38" und 7 Stunden 43'.
0,02–0,002		ermittelt als Differenz: (R+Z)–R.

(Wahres) spezifisches Gewicht: In 50 ml Pyknometern durch Bestimmung des Volumens einer durch eine gegebene Bodenmenge (5 g) verdrängten Flüssigkeit (Wasser, Benzol) nach der allgemeinen Formel:

$$s = \frac{G_B}{V_B} = \frac{G_B}{V_P - V_F} = \frac{G_B}{V_P - G_F \cdot s_F} = \frac{G_B}{V_P - G \cdot (G_P + G_B) \cdot s_F}$$

s, s_F = spezifisches Gewicht des Bodens bzw. der verdrängten Flüssigkeit.

G = Gewicht Pyknometer + Boden + Flüssigkeit.

G_B, G_F, G_P = Gewicht des Bodens, bzw. der Flüssigkeit, bzw. Leergewicht des Pyknometers.

V_B, V_F, V_P = Volumen des Bodens, bzw. der Flüssigkeit, bzw. Gesamtvolumen (Volumen des Pyknometers = 50 ml).

Es hat sich als günstig erwiesen, bei derartigen Bestimmungen in Salzböden apolare Flüssigkeiten (Benzol) zu verwenden, um starke Quellungen zu unterbinden (vgl. Tabelle 2). Wie üblich wurde vor dem Einfüllen in die Pyknometer die Suspension bis zu Luftblasenfreiheit gekocht (Wasser), bzw. gerollt (Benzol).

Raumgewicht (scheinbares spez. Gew.): Bestimmung des Raumgewichtes (R) natürlich gelagerter Proben, entnommen in Messingzylindern ($h = 20$ mm, $\varnothing 76,8$ mm, $V = 92,84$ cm³) und berechnet zu:

$$R = \frac{\text{Gewicht Trockenboden (105° C)}}{\text{Zylindervolumen}}$$

Porenvolumen: Hohlraumbestimmung natürlich gelagerter Böden, durchgeführt nach:

a) Bestimmung des Wassergewichtes gesättigter Zylindervolumina nach 48-stündiger Wassersättigung und Trocknen bei 105° C.

b) Bestimmung des festen Bodensubstanzvolumens, entnommen in Stechzylindern ($h = 40$ mm, $\varnothing = 51$ mm, $V = 100$ cm³) im Vakuumpyknometer-System ALTMANN (Fa. C. Gerhardt, Bonn; vgl. a. R. LOEBELL, 1955), nach der Formel von NITSCH (1939):

$$X = \frac{G - V}{S - 1}, \text{ und } Y = V - X.$$

X = Volumen der festen Bodensubstanz.

G = Gewicht (Boden + Wasser) der feldfeuchten Probe, bestimmt durch Wägung.

V = Volumen (Boden + Wasser) der feldfeuchten Probe, abgelesene Höhe der gesenkten Quecksilbersäule.

S = Raumgewicht des trockenen (105° C) Bodens, allgemein mit 2,65 g/cm³ angenommen.

Y = Wassergehalt der feldfeuchten Probe.

$$\text{c) berechnet zu: } P (\%) = \left(\frac{1 - \text{scheinbares spezifisches Gewicht}}{\text{wahres spezifisches Gewicht}} \right) \cdot 100$$

Zufolge starker Quellung, besonders der Salzbodenproben, werden die nach a) und b) ermittelten Werte ungenau, reproduzierbar erweisen sich daher nur die nach c) berechneten.

Porengrößen: Ermittelt in der pF-Apparatur nach WOODROOF (1941) und RICHARD (1948, 1949), berechnet nach der BESCHOLD'schen Beziehung zwischen dem Durchmesser entwässerter Poren und zugehörigem Absaugdruck:

$$p = \frac{1}{d} \cdot \frac{2a^2}{10^4}, \quad d = \frac{1}{p} \cdot 0,002964.$$

p = Absaugdruck in at.

d = Äquivalentdurchmesser der Poren in mm.

$a^2 = 14,82$, Kapillaritätskonstante des Wassers bei 20° C.

Feldkapazität: Bestimmung des Wassergehaltes natürlich gelagerter Proben nach der Membrandruckmethode durch Anlegen von Saugspannungen 0,1, 0,3, 1 atm in Niederdrucktöpfen der pF-Apparatur des Institutes für Bodenforschung, gebaut in Anlehnung an WOODROOF (1941), RICHARD (1948, 1949), eingehende Beschreibung der Apparatur bei H. BRONNER (1963).

Probenentnahme in Messingringen ($h = 20$ mm, $\varnothing = 76,8$ mm, $V = 92,84$ cm³). Sättigungszeiten normal 24–48 Stunden, bei Salzbodenproben bis zu 14 Tagen. 10 bis 12 Proben wurden gleichzeitig den beschriebenen Drucken während 48 Stunden ausgesetzt.

Permanenter Welkepunkt: Bestimmung des Wassergehaltes analog oben bei 15 und 20 atm an jeweils 5 Proben in Hochdrucktöpfen.

Kapillarität: Bestimmung der Wassersteighöhe in cm an gesiebten Proben, die 70 cm hoch in Glasröhren (\varnothing 2 cm), welche unten mit einer wasserdurchlässigen Membran abgeschlossen waren, gefüllt wurden.

Wasserdurchlässigkeit: Bestimmung der Durchflußgeschwindigkeit und Durchflußmenge je Zeiteinheit an Proben natürlicher Lagerung ($h = 10$ cm), bei konstantem hydraulischen Gradienten.

Die Berechnung erfolgte zu:

$$K = \frac{G}{t.F.i.} \quad Q = \frac{G}{t.F.i.}$$

K = Filtrationsgeschwindigkeit je Zeiteinheit = mm/sec. Umrechnungsfaktor auf cm/Jahr = $3:11 \times 10^6$.

Q = je Zeiteinheit, konstantem Bodenquerschnitt (10 cm, $F = 78,54$ cm²) und konstantem Gradienten durchsickernde Wassermenge.

G = die zur Konstanthaltung des Gradienten zugeführte Wassermenge in mm/t (Geländebestimmung) bzw. die durchgesickerte und gemessene Wassermenge in cm³/t (Laborbestimmung).

t = Zeiteinheit in Sekunden.

F = Bodenfläche (78,54 cm²), bzw. Bodenquerschnitt (10 cm) $F_{\text{konstant}} = 1$.

i = hydraulischer Gradient $\frac{hw}{hp}$, konstant gehaltenes Verhältnis zwischen Wasserhöhe:Probenhöhe.

Hygroskopizität: Nach G. RINNO (1954): Bestimmung der Bodenwassermenge, die im 50 atm Dampfspannungsgleichgewicht mit konzentriertem Na₂SO₄ × 10 H₂O steht. Bodeneinwaage 5 g, Bestimmungsdauer 5 Tage, Temperatur 16,5° C.

Quellung: Bestimmung der Volumszunahme von Proben die sowohl in Wasser als auch in Benzol aufgeschlämmt wurden. Durchführung in kalibrierten Eprouvetten.

Wegen hoher Grenzunschärfe der gequollenen Proben mußten diese bei 2500/U min. zentrifugiert werden, dabei ergaben sich folgende Änderungen gegenüber dem gequollenen Ausgangsvolumen:

nach 5 ^m	nach 15 ^m	nach 35 ^m
Solontschak -1 cm ³	alle ± 0 cm ³	Solontschak -1,4 cm ³
übrigen ± 0 cm ³		Solonetz -0,8 cm ³
		Bentonit -2,8 cm ³

Die angeführten Werte entsprechen den bei 2500 U/m durch 35^mauf Volumskonstanz zentrifugierten.

Schrumpfung: nach CURINI-GALETTI 1934 (zit. b. DI GLERIA, 1962). Bestimmung des Volumens von Schwundrissen durch Auffüllen mit Feinsand bekannten Volumens.

Durchführung: 40 g Boden mit 40 ml heißen Wassers zu homogenem Brei verrühren, Suspension auf Platten gießen (\varnothing 9 cm, h 2 cm), bei Zimmertemperatur trocknen, Risse mit Sand ausgießen. Trotz sorgfältigsten Arbeitens sind die solcherart an Salzböden gewonnenen Werte nicht voll reproduzierbar.

Aktueller Wassergehalt: Bestimmung des augenblicklichen Bodenwassergehaltes. Entnahmetiefe 0–80/120 cm, Entnahmegesetz Schlagbohrer und Schappe. Trocknung bei 105° C.

Analyisendaten

Tabelle 3: pH, Leitfähigkeit, wasserlösliche Kationen und Anionen
Solonetz (Profil A)

Horizont Tiefe in cm	pH (H ₂ O)	Leitfähig- keit (1:5)	Wasserauszug 1:5 mg/100 g Boden							
			Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
Solonetz (Profil A)										
A ₁ (0-14)	7,2	200	20	0,25	1,25	0,5	24,96	12,07	00	20,13
Afos ₁ Bh (14-38)	9,1	640	75	3,50	2,85	1,5	117,12	33,015	75,6	43,92
Afos ₂ Bh (38-50)	9,7	560	63	2,80	1,80	4,0	94,08	19,525	58,8	39,65
Sa (50-80)	9,95	1120	114,5	0,25	1,25	3,0	136,32	19,170	46,8	93,94
Solontschak (Profil B)										
A ₁ Sa (0-15)	9,8	1200	137,75	1,00	1,40	3,25	91,2	30,175	120	150,67
A ₂ Sa (15-32)	9,7	1100	130,00	0,80	1,50	3,00	59,52	26,625	109,2	167,75
Ag (32-44)	9,6	900	105,00	0,50	1,00	2,25	71,04	22,01	87,6	118,34
SaGo ₁ (44-60)	9,45	400	27,50	0,25	2,25	5,00	28,80	8,52	42,0	25,62
SaGo ₂ (60-80)	9,20	300	8,75	0,25	4,30	8,25	14,40	7,1	12,0	34,77
DG (80-100)	8,50	275	7,75	0,50	4,00	8,75	-	13,135	6,0	38,43
Tschernosem (Profil E)										
A ₁ D (0-18)	7,1	255	1,5	4,25	1,25	13,25			23,6	18,3
A ₂ D (18-28)	7,2	175	2,5	1,00	1,40	9,5			12,5	18,3
AC (28-55)	7,6	190	3,0	0,50	1,35	12,5			9,8	30,5
C (55 und tiefer)	7,8	215	2,0	1,00	1,45	27,5			22,9	61,0

Tabelle 4: pH, Leitfähigkeit, Ionenkombination (ammonazetatlösliche und wasserlösliche Ionen) des
Solontschak-Solonetz vor bzw. 5 und 16 Monate nach der Melioration

Horizont	pH (H ₂ O)	L (1:5) µS	Na ⁺	K ⁺			Ca ⁺⁺
				mval/100 g Boden			
A ₁ Sa	9,7	1200	7,50	0,60			4,30
A ₂ Sa	9,6	1100	9,70	0,40			3,40
Ag	9,5	900	4,10	0,20			3,30
SaGo ₁	9,5	400	0,80	0,10			2,60
SaGo ₂	9,2	370	0,60	0,10			2,70
DG	8,5	275	0,60	0,10			3,60
5 Monate nach der Melioration							
0-20	6,8	1300	5,20	0,30			2,50
20-40	6,6	1150	4,50	0,40			2,70
40-60	6,5	510	1,30	0,20			3,50
16 Monate nach der Melioration							
0-20	8,4	390	0,50	0,30			6,80
20-40	8,1	310	0,90	0,20			3,80
40-60	7,8	320	1,50	0,10			2,50

Tabelle 5: Wasserlösliche Salze des meliorierten Solontschak-Solonetz. 16 Monate nach der Melioration

Tiefe in cm	Na ⁺	K ⁺	mval/100 g Boden		SO ₄ ⁻	Cl ⁻ +CO ₃ ⁻ HCO ₃ ⁻
			Mg ⁺⁺	Ca ⁺⁺		
0-20	0,5	0,1	0,4	0,7	0,8	0,9
20-40	0,5	0,1	0,4	0,6	0,8	0,8
40-60	0,6	0,1	0,3	0,4	0,9	0,45
60-80	0,4	0,1	0,2	1,00	0,5	1,15

Tabelle 11: Salzdynamik einer seicht aufgetragenen Schichte (sekundäre Versalzung)

Tiefe in cm	Leitfähigkeit (1:5) μS			
	5. 8. 1962	10. 9. 1962	30. 9. 1962	28. 10. 1962
0-10	255	265	250	300
10-15	255	350	280	380
15-20	255	600	500	860
20-40	1300	1110	1170	1100
40-60	1240	1230	1200	1210

Tiefe in cm	H_2O -Auszug/1:5 mg Na^+ /100 g Boden		Ammonacetatauszug	
	5. 8. 1962	28. 10. 1962	5. 8. 1962	28. 10. 1962
0-10	1,5	12,5	2	13,9
10-15	1,5	30,4	2	36,3
15-20	1,5	140,2	2	164,61
20-40	—	—	—	—
40-60	—	—	—	—

Tabelle 12: Korngrößen in μ und %

Horizont	<20 μ	<2	2-20	20-50	50-100	100-200	>200 μ
Solonetz (Profil A)							
A ₁	33,00	19,80	13,30	22,10	22,40	10,50	12,00
Af _{os} , Bh	43,50	26,10	19,40	17,50	18,00	8,10	9,90
Af _{os} , Bh	40,50	28,60	13,90	23,90	17,70	6,70	10,70
Sa	46,50	30,10	16,40	26,40	11,30	6,00	9,80
Solontschak-Solonetz (Profil B)							
A ₁ Sa	46,20	31,40	14,80	11,10	17,10	6,90	18,70
A ₂ Sa	48,10	36,00	12,10	10,30	9,90	5,90	26,90
Ag	42,90	30,90	12,00	11,80	12,00	9,00	24,40
SaGo ₁	41,20	28,40	12,80	17,80	12,10	9,50	26,40
SaGo ₂	42,20	20,60	21,60	26,10	8,00	14,00	9,80
DG	38,40	16,00	22,40	19,80	9,70	14,60	12,50
Meliorierter Solontschak-Solonetz (Profil C)							
0-20 cm	48,20	30,40	17,80	20,10	11,80	9,40	10,60
20-40 cm	50,60	32,30	18,30	17,40	12,10	8,60	11,50
40-60 cm	47,50	35,10	12,40	20,30	10,20	11,20	10,80
60-80 cm	40,10	26,70	14,40	12,80	10,50	22,00	14,60
80-100 cm	40,70	22,90	17,80	14,20	13,00	18,90	13,30
Tschernosem (Profil E)							
A ₁ P	29,60	14,60	15,00	10,10	9,20	28,50	22,70
A ₂ P	32,30	15,20	17,10	10,30	8,60	26,70	22,20
AC	33,50	18,80	14,70	10,20	8,50	27,80	20,10
C	30,50	13,40	17,00	11,50	10,40	27,30	20,40

Tabelle 13: Spezifisches Gewicht (s), Raumbgewicht (R), Porenvolumen (P%), Feste Bobensubstanz (B, 100% - P%), Kapillarwassergehalt bei FK (W, Vol. %), Luft (L, P% - W%)

Horizont	s	R	P	B	W	L
Solonetz						
A ₁	2,50	1,30	48	52	38,10	9,90
Af _{os} , Bh	2,60	1,00	62	38	60,20	1,80
Af _{os} , Bh	2,60	1,10	59	41	58,70	0,40
Solontschak-Solonetz						
A ₁	2,60	0,90	66	34	61,90	4,10
A ₂ Sa	2,70	1,00	63	37	58,10	5,00
Ag	2,70	1,70	36	64	29,00	7,00
SaGo	2,60	1,80	32	68	23,90	8,10
Meliorierter Solontschak-Solonetz						
10 cm	2,60	1,50	45	55	36,40	8,60
35 cm	2,60	1,50	44	54	38,70	5,30
70 cm	2,70	1,80	33	67	25,70	7,30
Tschernosem						
A ₁ P	2,60	1,50	45	55	22,80	22,20
A ₂ P	2,60	1,50	44	56	23,20	20,80
AC	2,60	1,50	44	56	24,80	19,20
C	2,60	1,50	45	55	18,20	26,80

Tabelle 14: Wassergehalt in Vol. % bei verschiedenen Saugspannungen

Horizont	0,1at	0,3	1	15	20	50at
Solonetz (Profil A)						
A ₁	45,30	38,10	32,30	15,80	—	6,50
Afos ₁ Bh	61,90	60,20	59,00	34,80	27,30	12,80
Afos ₁ Bh	59,90	58,70	57,00	29,50	24,20	12,30
Tschernosem (Profil B)						
A ₁ p	26,70	22,80	20,80	11,60	—	5,30
A ₂ p	27,20	23,20	21,20	12,00	—	5,70
AC	29,90	24,80	22,30	12,30	—	4,70
C	22,70	18,20	16,40	9,20	—	3,60
Solontschak (Profil B)						
A ₁ Sa	63,20	61,90	58,10	36,40	29,60	11,00
A ₂ Sa	59,70	58,10	56,70	31,10	27,20	11,90
Ag	31,10	29,00	25,90	15,50	—	7,70
SaGo	29,50	23,90	20,60	13,40	—	5,50
Solontschak (Profil B) nach der Melioration						
10 cm	41,00	36,40	30,40	16,80	—	8,30
35 cm	40,80	38,70	33,60	19,10	—	9,60
70 cm	27,20	25,70	20,30	12,50	—	5,70

Tabelle 15: Korrekturrechnung zur Ermittlung der tatsächlichen Saugspannungskräfte bei FK und WP.

a) Mol NaCl/100 g Boden bzw. ½ l H₂O bedingen folgende osmotische Drucke *):

*) NaCl-Werte berechnet aus den Werten des wasserlöslichen Natriums.

		Profil A		0,3 at	15 at
Afos ₁ Bh	0,0032	.....	.....	1,20 at	1,90 at
Afos ₁ Bh	0,0028	.....	.....	0,90 at	1,60 at
		Profil B		0,3 at	15 at
A ₁ Sa	0,0059	.....	.....	2,10 at	3,50 at
A ₂ Sa	0,0056	.....	.....	2,00 at	3,80 at

b) Korrektur der FK- und WP- Saugspannungsdrucke, gemessen in Nieder- und Hochdrucktopf durch Addition der jeweiligen osmotischen Drucke:

	Saugspannung in at bei Feldkapazität	Saugspannung in at beim Welkepunkt	Wassergehalt in % Vol. bei korrigierter FK	% Vol. beim korrigiertem WP	wahres nutzbares Wasser- Vol. %
Solonetz					
Afos ₁ Bh					
0,3 (Saugspannung N.T *)		15,0 (Saugspannung H.T *)			
+ 1,2 (berechneter osm. Druck)		- 1,9 (berechneter osm. Druck)	58	38	58
<hr/>		<hr/>			-38
1,5 korrigierte F.K.		13,1 korrigierter WP.			20
Afos ₁ Bh					
0,3 (Saugspannung N.T *)		15,0 (Saugspannung H.T *)			
+ 0,9 (berechneter osm. Druck)		- 1,6 (berechneter osm. Druck)	56,5	35,5	56,5
<hr/>		<hr/>			35,5
1,2		13,4			21,0
Solontschak					
A ₁ Sa					
0,3 (Saugspannung N.T *)		15,0 (Saugspannung H.T *)			
+ 2,1 (berechneter osm. Druck)		- 3,5 (berechneter osm. Druck)	55	45	55
<hr/>		<hr/>			45,5
2,4		11,5			9,5
A ₂ Sa					
0,3 (Saugspannung N.T *)		15,0 (Saugspannung H.T *)	54	41	54
+ 2,0 (berechneter osm. Druck)		- 3,8 (berechneter osm. Druck)	54	41,5	54
<hr/>		<hr/>			41,5
2,3		11,2			12,5

*) Saugspannung angelegt im Nieder- (NT) und Hochdrucktopf (HT).

Tabelle 16: Das pflanzenverfügbare Wasser im A₁p-Horizont des Tschernosems zu verschiedenen Jahreszeiten (in mm).

28. 8. 1962	30. 9. 1962	28. 10. 1962	25. 11. 1962	8. 12. 1962	20. 3. 1962		
52,6	32,1	43,1	117,6	110,6	121,1		
59,7	36,5	48,9	133,5	126,6	137,6		
in % der nützlichen Kapazität in mm							
18. 4. 1962	17. 3. 1963	28. 6. 1963	30. 7. 1963	28. 8. 1963	25. 9. 1963	10. 10. 1963	26. 11. 1963
112,6	113,6	74,1	52,1	95,6	63,6	87,1	116,1
127,9	129	84,2	59,2	108,6	72,2	98,9	131,9

Tabelle 17: Durchlässigkeit, Bestimmung bei 80 % FK.

$Q = \frac{Q}{7} \text{ ml/s, } F, i \text{ konst.}$		
Solontschak-Solonetz 10 ⁻³	mellierter Solontschak-Solonetz 6 × 10 ⁻³	Tschernosem 1.2 × 10 ⁻³

Tabelle 18: Kapillarität

Tschernosem A _p	20 cm	70 cm		2 Stunden	24 Stunden	
Solonetz-Solontschak A ₁	2 cm	2,5 cm	8,5 cm	2 Stunden	24 Stunden	20 Tage
Solonetz-Solontschak, melliert	10,5 cm	27,5 cm		2 Stunden	24 Stunden	
Basissand	8,5 cm	25,3 cm		2 Stunden	24 Stunden	