

**MITTEILUNGEN
DER
ÖSTERREICHISCHEN
BODENKUNDLICHEN
GESELLSCHAFT**

HEFT 11

WIEN 1967

*Gedruckt mit Unterstützung des Notringes der wissenschaftlichen Verbände
Österreichs und des Kulturamtes der Stadt Wien.*

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.

HEFT 11

INHALTSVERZEICHNIS

HEINZ MESSINER: Pflanzenbauliche Beurteilung chemischer Bodenanalysen	3
HUBERT MÜLLER: Der Wasserhaushalt eines Pseudogleys mit und ohne künstliche Berechnung	17
OTHMAR NESTROY: Bodenphysikalische Untersuchungen an einem Tschernosem in Wilfersdorf (NÖ.)	31
HERWIG SCHILLER und ERWIN LENGAUER: Über den Kationenbelag und den Spurenelementgehalt in den Böden der IDV-Serie	47
FRANZ SOLAR: Phosphatformen und Phosphatumwandlungsdynamik in Anmoorschwarzerden	57
Aus der Gesellschaft:	
Tätigkeitsbericht (J. FINK)	65
Exkursion 1964 (J. FINK und H. SCHILLER)	73
Exkursion 1964 (F. BLÜMEL)	86

SCHRIFTFÜHRUNG

Prof. Dr. J. FINK

Prof. Dr. Ing. H. FRANZ

Pflanzenbauliche Beurteilung chemischer Bodenanalysen

(mit besonderer Berücksichtigung der Phosphorsäure in Karbonatböden)

VON HEINZ MESSINER, Wien *

Einleitung

Nachfolgende Ausführungen stellen den ungefähren Inhalt eines Vortrages dar, der im Rahmen der Veranstaltungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft am 21. 3. 1962 gehalten wurde. Infolge technischer Schwierigkeiten kann erst jetzt, vier Jahre nach Abfassung des Manuskriptes, die Drucklegung erfolgen. Von Seiten der Redaktion dieser Zeitschrift wurde daher vorgeschlagen, gewisse Änderungen, bzw. Ergänzungen, die durch den verstrichenen Zeitraum bedingt wären, anzubringen. Ich bin aber der Meinung, daß die damals ausgesprochenen Gedanken heute die gleiche Gültigkeit haben und die bisher erschienene Literatur auch zu keiner grundsätzlichen Änderung zwingt. Ich erlaube mir daher, das Manuskript unverändert dem verehrten Leserkreis dieser Zeitschrift zur Diskussion zu stellen.

Von der Bodenuntersuchung erwartet die landwirtschaftliche Praxis klare Hinweise für ihre Kulturmaßnahmen. Daher soll die Bodenuntersuchung über rein akademisches Interesse hinaus die für die Praxis wichtigen Unterlagen liefern. Den Landwirt interessieren vor allem die im Boden herrschenden Wachstumsbedingungen, um seine Kulturmaßnahmen dann dergestalt zu treffen, daß ein optimaler Wirtschaftserfolg resultiert. Letzterer muß jedoch nicht immer mit einem optimalen Wachstum korrespondieren, da oftmals noch ertragssteigernde Maßnahmen unwirtschaftlich sind.

Durch die Bodenuntersuchung sind wir heute bereits in der Lage, uns ein ziemlich klares Bild von der materiellen Zusammensetzung des Bodens und den daraus resultierenden Wachstumsbedingungen zu machen. Diese bilden dann zusammen mit dem Klima, der Exposition, Neigung und Wasserführung etc. die Wachstumsbedingungen des Standortes, wovon die des Bodenmaterials allerdings den integrierenden Teil ausmachen. Dies ist schon dadurch bedingt, daß der Boden selbst immer nur in Wechselwirkung mit dem Standort seine ihm eigentümliche Dynamik ausbildet, deren Funktion die Wachstumsbedingungen darstellen:

Wachstumsbedingungen des Bodens = f (Dynamik des Bodens)

Die Dynamik selbst entspringt dem Zusammenwirken von physikalischen, chemischen und biologischen Faktoren. Obwohl auch diese Faktoren ihre Qualität und Quantität in wechselseitigem Einfluß bedingen, so ist doch der Chemismus der Bodensubstanz entscheidend für alles Geschehen im Boden. Es ist also der chemische Aufbau des geologischen Substrates primär, die auf dieses einwirkenden Faktoren erst sekundär entscheidend für die Entwicklung und damit für die Dynamik des Bodens.

Daher hat die chemische Bodenuntersuchung für den Pflanzenbau besonderes Interesse, können doch hiemit wesentliche Wachstumsfaktoren erfaßt werden. Wie bereits erwähnt, besteht ein inniger Zusammenhang zwischen physikalischen, biologischen und chemischen Eigenschaften des Bodens, wobei sowohl der physikalische Zustand

* Anschrift des Verfassers: Dipl. Ing. Dr. HEINZ MESSINER, Ingenieurkonsulent für Landwirtschaft und für technische Chemie, 1190 Wien, Gregor Mendelstr. 56.

wie auch die Biologie des Bodens in dessen Chemismus ihren Niederschlag finden. Es ist also möglich, durch eine geeignete chemische Bodenuntersuchung auf die Bodenphysik und -biologie rückschließen zu können. Erst die Gesamterfassung jedoch von Chemismus, Physik und Biologie des Bodens ermöglicht einen Einblick in die herrschende Bodendynamik. Letzteres ist aber unumgänglich notwendig, da der Landwirt Empfehlungen für die Praxis erwartet, die ohne die genaue Kenntnis der Bodendynamik nicht oder doch nur unvollkommen oder unrichtig gegeben werden können.

Methodik zur Bodenuntersuchung

Zur Bodenuntersuchung steht heute eine Vielzahl von Analysemethoden zur Verfügung. Es ist nun einleuchtend, daß jede Methode ihre Eigenheiten, Probleme und Schwierigkeiten aufweist sowie auch der Genauigkeitsgrad je nach Methode unterschiedlich ist. Zur Beurteilung von Analyseergebnissen genügt nicht nur die Kenntnis vom Optimalwert für den Pflanzenbau, sondern auch die Aussagekraft einer Analysenzahl (bedingt durch die Eigenheiten der Analysemethoden) und ihr Zusammenhang mit anderen Analyseergebnissen muß mit ins Kalkül gezogen werden.

Bei den Analyseverfahren kann man nun unterscheiden

1. *die objektiven Methoden*, deren wechselweise Anwendung bei der Bestimmung ein und desselben Stoffes praktisch dasselbe Ergebnis liefern (z. B.: Wassergehalt, pH, Karbonatgehalt, Gesamt-P₂O₅, -CaO, -N etc., org. Substanz, C:N-Verhältnis, Kalkungsbedarf u. ä.)

2. *konventionelle od. relative Methoden*. Bei diesen fallen die Ergebnisse je nach Methode bei ein und derselben Probe verschieden aus. Die Ergebnisse können jedoch über empirisch ermittelte Beurteilungstabellen ausgewertet werden (hierher gehören die Bestimmungsverfahren der sogen. pflanzenaufnehmbaren Nährstoffe sowie die chemischen Methoden zur Ermittlung biologischer Vorgänge im Boden).

Während zu den objektiven Verfahren kaum etwas zur näheren Erläuterung notwendig ist, soll zu den relativen Methoden, d. h. auf die Nährstoffbestimmungen und deren Beurteilung, näher eingegangen werden.

Fast alle Methoden, die auf die Erfassung der pflanzenaufnehmbaren, leichtlöslichen, pflanzenlöslichen oder pflanzenaustauschbaren Nährstoffe abzielen, gehen von der Auffassung aus, daß die Pflanzenwurzel CO₂ oder organische Säuren abgibt, bzw. in den Grenzschichten der peripheren Wurzelzellen anreichert und so eine Erhöhung der H⁺ Konzentration herbeiführt. Hiedurch entsteht ein Konzentrationsgefälle zwischen Wurzelumgebung und Wurzel und es kommt zum Ionenaustausch, bzw. zur Lösung von Stoffen, die bei geringerer H⁺ Konzentration in ungelöstem Zustand im Boden vorliegen (z. B. Phosphate). Es werden deshalb bei den meisten Nährstoffuntersuchungsmethoden mehr oder weniger stark gepufferte Extraktionslösungen mit pH-Werten zwischen 3,5 und 4,5 angewendet. Je nach den Extraktionsbedingungen, wie deren Dauer, Art (Schütteln, Diffusion), Boden: Lösungsmittel-Verhältnis, Stärke der Pufferung, Art der Kationen neben dem H⁺ etc., sind die Ergebnisse unterschiedlich.

Unterschiede zwischen Nährstoffanalyse und Wurzeltätigkeit (-resorption)

Die unterschiedlichen Ergebnisse der verschiedenen Methoden zeigen nun, daß man wahrscheinlich in keinem Falle die tatsächlich für die Pflanzen verfügbaren Nährstoffe erfaßt. Worin liegen nun die Unterschiede zur Pflanzenwurzel?

Während diese durch ihre Aktivität für die Dauer der Nährstoffaufnahme ein ständiges Ungleichgewicht aufrecht erhält, wartet man bei den chemischen Analysen-

methoden die Einstellung des Gleichgewichtes ab. Der pH-Wert wird durch immer neue Säurebildung durch die Wurzel reguliert, bei den Extraktionsmethoden steigt dieser mehr oder weniger an, je nach dem Neutralisationsvermögen des Bodens und der Pufferung der Extraktionslösung. Die Wurzel hat meist mehrere Tage für die Nährstoffaufnahme zur Verfügung, wobei sich natürlich die Mikrobiologie des Bodens entsprechend auswirkt, was sowohl in positiver als auch in negativer Richtung erfolgen kann. Die chemische Analyse benötigt zur Gleichgewichtseinstellung meist nur 1–4 Stunden, eine mikrobiologische Beeinflussung fällt weg.

Besonders entscheidend erscheint jedoch der Unterschied, daß die Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens die Wurzelhaarbildung stark beeinflussen (L. KUTSCHERA 1960). So werden in einem feuchten Boden nahezu keine Wurzelhaare oder nur kleine Aufwölbungen von den peripheren Epidermiszellen gebildet. Es genügt der Pflanze also schon durch die Schaffung eines Diffusionsgefälles mittels gebildeter H^+ -Ionen die Nährstoffe einzutauschen. Das größere Volumen der Bodenlösung erlaubt auch eine absolut größere Menge an gelösten Phosphationen, welche trotz ihrer geringen Löslichkeit nun leicht von der Wurzel eingetauscht werden können.

Im trockeneren Boden kommt es zur Ausbildung der Wurzelhaare, welche verschieden lang werden können. Ihre Lebensdauer wird im allgemeinen mit 2–3 Tagen angegeben (F. SCHEFFER u. E. WELTE 1955), kann aber bis zu mehreren Wochen dauern (L. KUTSCHERA 1960), was auch von mir beobachtet wurde. Die Wurzelhaare stellen eine Art Ionensautauscher dar und treten in trockenen Böden oft direkt mit der festen Bodenphase in Kontaktaustausch (F. SCHEFFER u. E. WELTE 1955). Es sei hier noch darauf hingewiesen, daß der Wurzel durch die Ausbildung der Wurzelhaare noch ein weiteres Hilfsmittel zur Nährstoffaufnahme zur Verfügung steht, das bis jetzt noch nicht beachtet wurde:

Nach W. KUHN (1942) erfordert die Vergrößerung einer Grenzfläche stets eine bestimmte Arbeitsleistung, welche gleich ist der Grenzflächenspannung. Da nun praktisch fast alle wasserlöslichen Stoffe die Grenzflächenspannung dadurch herabsetzen, daß sie sich in der Grenzfläche konzentrieren, reichern sich diese bei der Vergrößerung der Grenzfläche in dieser an. So reichern sich bei der Ausbildung eines Wurzelhaares sowohl an dessen Innenseite wie auch an dessen Außenseite die gelösten Substanzen, also die Ionen, an und es wird auf diese Weise auch zu einem Kontaktaustausch kommen. Ob das Ende dieses Kontaktaustausches mit dem Absterben des Wurzelhaares zusammenhängt ist unbekannt. Da aber zur Ausbildung eines Wurzelhaares Energie erforderlich ist, dürfte hierin auch ein Teil der aktiven energetischen Nährstoffaufnahme begründet sein.

Eigene Untersuchungen (H. MESSINER 1951, 1958 a, 1958 b) haben gezeigt, daß die Wurzelbildung sehr stark von der im Boden vorliegenden Mikroorganismenpopulation beeinflußt wird, aber auch die Wurzel selbst durch ihre Ausscheidungen die Aktivität bestimmter Mikroorganismengruppen verändert. In diesem Zusammenhang sei besonders auf die große Empfindlichkeit der nitrifizierenden Bakterien hingewiesen, da eine veränderte Nitratbildung im Boden sowohl eine geänderte Säurebilanz hervorruft, welche sich auf die Phosphatlöslichkeit auswirkt, als auch die Nitrataufnahme naturgemäß selbst beeinflußt wird.

Aus all dem Gesagten ist zu ersehen, daß die Wurzel ganz andere Wege geht, bzw. gehen kann, als es der chemischen Nährstoffanalyse mittels Extraktionsmethoden möglich ist, aber auch Einflüssen unterliegt, die mit der chemischen Analyse nicht erfäßbar sind. •

Zuletzt soll noch gezeigt werden, daß selbst die Säurebildung der Wurzel von Umweltfaktoren abhängig ist. So konnte A. ULRICH (1941) zeigen, daß mit steigender

Temperatur das Verhältnis von gebildetem CO_2 :org. Säuren im aktiven Wurzelteil sich ändert:

°C	CO_2 : org. Säuren (in mval)	Quotient
5	3: 7	0,43:1
15	8:12	0,66:1
25	16: 8	2,00:1

Da die gebildeten Säuren wesentlich stärker sind als die Kohlensäure, wird auch die Nährstoffmobilisierung mit kühlerem Wetter größer. Dies gilt insbesondere für karbonathaltige Böden.

Chemismus der analytischen Erfassung „pflanzenlöslicher“ Phosphate

Gerade die chemische Nährstoffanalyse von Karbonatböden, welche in unserem Raume einen wesentlichen Anteil der Böden ausmachen, weist durch die Verschiebung des pH-Wertes der Extraktionslösung gegen die alkalische Seite hin besondere Schwierigkeiten auf.

Es ist experimentell leicht nachweisbar, daß gelöste Phosphate bei einem pH um 5,7 bereits ausgefällt werden, falls Ca-Ionen vorhanden sind, was in einer Extraktionslösung von Ca-Karbonatböden stets reichlich der Fall ist. Steigt nun der pH-Wert von der Extraktionslösung über 5,7 während des Extraktionsvorganges an, so werden auch bereits gelöste Phosphate wiederum ausgefällt und die Analysenergebnisse zeigen weit schlechtere Werte an, als der Wurzelverfügbarkeit entspricht. W. RATHJE (1942) konnte folgende Löslichkeiten von Hydroxylfluorapatit zeigen:

pH	mg $\text{P}_2\text{O}_5/1$
4,0	über 500,0
5,7	1,4
6,5	1,0
7,3	0,5

Der Einwand, daß es sich hier um den sehr schwer löslichen Hydroxylfluorapatit handelt und gewöhnliches Trikalziumphosphat bedeutend leichter löslich sei, muß dahingehend abgeschwächt werden, als B. KURMIES (1953) in einer eingehenden Arbeit nachwies, daß Trikalziumphosphat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) bisher noch nicht dargestellt werden konnte und alle aus wässriger Lösung gefällten Phosphate in Hydroxylapatit übergehen, welcher allerdings etwas leichter löslich ist als Hydroxylfluorapatit.

In diesem Zusammenhang ist die Löslichkeit von Dikalziumphosphat $\text{CaHPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ in Wasser, wie sie ebenfalls von B. KURMIES (1953) untersucht wurde, besonders interessant: Je nach Fällungsbedingungen schwankt die Löslichkeit zwischen 55–160 mg $\text{P}_2\text{O}_5/1$, sie ist demnach beachtlich höher als die des Apatites. Da Kalzium eine ziemlich starke Base ist, liegen die pH-Werte dieser Lösungen nur um weniges niedriger als die von Alkaliphosphaten, auf jeden Fall über dem Neutralpunkt.

Um nun einen Vergleich über die Erfassbarkeit der Phosphate durch verschiedene Extraktionsmethoden zu erhalten, sollen die folgenden Werte angegeben werden, wofür die oben angeführten Phosphatlöslichkeiten entsprechend umgerechnet wurden:

Extraktions-Methode	Grenzzahlen verschiedener Methoden ausgedrückt in Konzentrationen der Extraktionslösung als $\gamma \text{P}_2\text{O}_5/\text{ml}$			
	III	II	I	
Dirks-Schäffer	0–0,6	0,6–0,9	über 0,9	
Doppellaktat Egner-Rlehm, leichter Boden	0–2,0	2,0–4,0	über 4	
Ammoniumlaktat-Essigsäure	0–5,0	5,0–10,0	über 10	
	Phosphatlöslichkeit als $\gamma \text{P}_2\text{O}_5/\text{ml}$ ausgedrückt			
	pH 4	pH 5,7	pH 6,5	pH 7,3
Hydroxylfluorapatit	über 500	1,4	1,0	0,5
$\text{CaHPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	—	—	—	55–160

Wie aus der vorliegenden Tabelle ersichtlich ist, hängt die Erfassbarkeit der Phosphate im Boden durch Extraktion einerseits von deren Löslichkeit bzw. ihrem Alter und andererseits vom End-pH-Wert der Extraktionslösung ab. Da in Kalkböden die gefällten Düngerphosphate in Hydroxylapatit übergehen, interessieren primär die End-pH-Werte der Extraktionslösungen. Bei der mit CO_2 -haltigem Wasser arbeitenden Methode nach DIRKS-SCHÄFFER werden diese stets nahe bei pH 7 oder darüber liegen. Man wird mit dieser Methode also stets nur dann Werte über 0,9 γ/ml erhalten, wenn eine relativ frische Düngung vorliegt oder durch die biologischen Umsetzungen im Boden reichliche Mengen an Dikalziumphosphat vorhanden sind.

Bei der Doppellaktatmethode steigen die End-pH-Werte der Extraktionslösung schon meist bei CaCO_3 -Gehalten um 5% stark an und erreichen häufig schon bei 10% CaCO_3 -Gehalt pH 7 und darüber. Auch für diese Fälle gilt dasselbe wie für die DIRKS-SCHÄFFER Methode.

Das Ammoniumlaktat-Essigsäure-Verfahren arbeitet mit einer derart stark gepufferten Extraktionslösung, daß erst bei Karbonatgehalten von über 30% der pH-Wert 5 überschritten wird. Die Phosphatwerte sinken dann allerdings rasch ab, was bei über 1.000 eigenen Untersuchungen ermittelt wurde. Die mit dieser Methode erfaßten Phosphatmengen geben jedoch bei Karbonatböden vielfach ein etwas zu günstiges Bild, insbesondere bei Anwendung der von den Autoren angegebenen Grenzzahlen.

Es ist nur interessant, inwieweit mit einem solchen Extraktionsverfahren alles pflanzenverfügbare Phosphat erfaßt wird, oder ob nach einer Ausschüttelung im Boden noch weiterhin pflanzenverfügbares Phosphat vorliegt. Eigene Untersuchungen in dieser Richtung ergaben einen Einblick in diese Verhältnisse.

Verschiedene Böden wurden mehrmals nach dem Doppellaktatverfahren EGNER-RIEHM extrahiert und das gelöste P_2O_5 , K_2O sowie der End-pH-Wert wurden jedesmal bestimmt.

Die Ergebnisse waren wie folgt: *

Ausschüttelung	I schwerer Bd. pH 6,3 Karbonatfrei			II schwerer Bd. pH 7,1 4,8% CaCO_3			III schwerer Bd. pH 7,4 27,5% CaCO_3			IV schwerer anmooriger Anbd. pH 7,6 53,2% CaCO_3		
	P_2O_5 mg/100 g	K_2O mg/100 g	End-pH	P_2O_5 mg/100 g	K_2O mg/100 g	End-pH	P_2O_5 mg/100 g	K_2O mg/100 g	End-pH	P_2O_5 mg/100 g	K_2O mg/100 g	End-pH
I	3,1	14,1	3,70	37,5	44,0	4,20	16,1	16,0	7,60	4,7	28,2	8,05
II	2,4	10,5	3,60	16,5	16,4	3,75	33,5	15,0	7,40	4,5	12,7	7,05
III	1,9	13,7	3,60	6,3	9,3	3,70	36,5	11,8	4,85	5,3	3,7	6,90
IV	1,5	2,2	3,65	3,3	3,8	3,65	18,0	2,4	4,10	5,1	2,2	6,50

Es ist daraus wohl klar zu ersehen, daß mit nur einer Extraktion noch lange nicht die für die Pflanzenwurzel erfassbaren Nährstoffmengen ermittelt werden, sondern daß wir lediglich einen mehr oder weniger guten Anhaltspunkt über die Löslichkeitsverhältnisse der Nährstoffe erlangen. Es sei hier nur noch besonders darauf hingewiesen, daß die Abnahme des Kali am Schluß der Ausschüttelungen besonders kraß ist, so daß der Aussagewert der Kaliergebnisse der ersten Extraktion ein anderer ist als der der Phosphatzahlen. Man erkennt aber auch an dieser Untersuchung den großen Wert der Bestimmung des End-pH-Wertes der Extraktionslösung zur Beurteilung der Analyseergebnisse.

Zusammenhang zwischen Kalk und Phosphorsäure

Aus dem bisher Besprochenen ergibt sich zwangsläufig der enge Zusammenhang zwischen Kalkgehalt und Phosphorsäure. In sauren oder doch karbonatfreien Böden

* Die Bodenproben stammen aus: I Ybbs/Donau, II u. III Antonshof Schwechat, IV Gutenhof bei Himberg.

bestehen ebenfalls solche mit der Azidität eng verknüpfte Zusammenhänge, auf die hier jedoch ihres Umfanges wegen nicht eingegangen werden kann.

Da die Neutralisationskraft von Karbonatböden ein Maß für die Aktivität des enthaltenen Kalkes darstellt, kann der End-pH-Wert von gepufferten Extraktionslösungen im Zusammenhang mit dem absoluten Kalkgehalt in % zur Beurteilung der Kalkaktivität herangezogen werden. Dies ist umso wichtiger als sowohl die Pflanzenwurzel gegen den Kalk bei der Nährstoffaufnahme ankämpfen muß, als auch je nach Kalkaktivität die Düngerphosphorsäure rascher oder langsamer in schwerer lösliche Phosphate (z. B. Hydroxylapatit) übergeführt wird. Dies ist für die Wahl der Düngerphosphorsäure oft sehr entscheidend. Einige Beispiele unterschiedlicher Kalkaktivität sollen dies unterstreichen:

Boden-Nr.	Art	CaCO ₃ %	End-pH Ammonlaktat	pH KCl
8898	m	4,6	4,25	7,6
9704	m -1	18,0	4,25	7,4
9021	m	30,6	5,05	7,8
0028	m	55,6	5,03	7,7
9163	m	37,3	5,65	7,5
9153	m	34,3	4,70	8,0
0014	m	47,0	4,67	7,5
0019	m	23,3	4,90	7,3

Weder aus dem pH(KCl), noch aus dem End-pH der Extraktionslösung noch aus dem CaCO₃-Gehalt läßt sich allein auf die Kalkaktivität schließen. Erst die gemeinsame Beurteilung von CaCO₃-Gehalt und End-pH der AL-Extraktions-Lösung * ermöglicht dies.

Wenn man nun die Phosphatmengen gegenüberstellt, welche von zwei verschiedenen stark gepufferten Extraktionslösungen mit gleichem Anfangs-pH bis zur praktischen Gleichgewichtseinstellung extrahiert werden, dann ergibt sich folgendes Bild:

Je 5 g Boden wurden mit 250 ml (DL) bzw. mit 100 ml (AL) ausgeschüttelt.

Neutralisation der DL-Extraktionslösung * 4,0 mval/250 ml

Neutralisation der AL-Extraktionslösung * 33,5 mval/100 ml.

Nr.	Herkunft der Probe	Bodentypus Bod	CaCO ₃ %	P ₂ O ₅ mg/100 g Boden		End-pH	
				DL	AL	DL	AL
8985	Inzersdorf bei Wien	Tschernosem Acker	4,6	22,3	54,6	4,60	4,10
9016	Oggau	Anmoor- Schwarzerde	1,7	14,7	23,1	3,95	4,00
9027	Oggau	Anmoor	1,5	0,5	4,4	3,95	3,95
9084	Ilz	Weingarten Braunerde	0,0	10,1	20,4	3,85	3,90
9088	Steiermark	Acker pH 6,1	4,4	2,4	15,7	3,59	4,05
		Braunerde	4,4	2,4	15,7	3,95	4,05
9122	Kirchberg/Wa NÖ.	Tschernosem Wiese	12,2	3,4	16,5	7,75	4,40
9006	Inzersdorf bei Wien	Tschernosem Acker	23,7	5,1	25,6	7,55	4,75
9001	Inzersdorf bei Wien	Tschernosem Acker	19,8	5,4	44,7	7,80	4,60

Es werden also, von der stärker gepufferten Extraktionslösung in jedem Falle größere Phosphatmengen gelöst, auch wenn der Boden karbonatfrei ist. Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß bei den gezeigten Ergebnissen die Extraktionszeiten bis zur Gleichgewichtseinstellung unterschiedlich waren, bei der DL-Methode 1,5, bei

* AL = Ammoniumlaktat-Essigsäure (H. RIEHM, 1958); DL = Doppelaktat (EGNER-RIEHM).

der AL-Methode 4 Stunden. Dies läßt aber den Faktor Zeit klar in Erscheinung treten, der bei der Nährstoffaufnahme unserer Pflanzen, wie bereits erwähnt, sehr ins Gewicht fällt. Je mehr Phosphorsäure jedoch in der Zeiteinheit in Lösung gebracht werden kann, umso besser steht es um die Nährstoffversorgung der Pflanze.

Bei den Böden mit größerem Kalkgehalt versagt die Doppellaktat-Extraktionslösung trotz gleichem Ausgangs-pH durch das enorme Ansteigen des pH-Wertes bis zum Endpunkt der Extraktion völlig. Während bei den niederen Kalkgehalten, allerdings in verschiedener Größenordnung die P_2O_5 -Extraktionsmengen beider Methoden parallel gehen, treten bei den höheren Kalkgehalten durch das hohe End-pH der DL-Lösung nicht mehr vergleichbare Werte auf. Das heißt aber, daß die schwächere DL-Lösung ihre Extraktionskraft in kurzer Zeit verloren hat, also einem sehr kurzlebigen Wurzelhaar gleicht.

Beurteilung des Phosphat-Zustandes

Wie bereits festgestellt, spielt die Löslichkeit bzw. die Lösungsgeschwindigkeit der Phosphorsäure im Boden eine entscheidende Rolle für die Pflanze, da diese in einer bestimmten Zeit, entsprechend der Funktionsdauer ihrer Wurzelhaare, die von ihr benötigte Nährstoffmenge aufnehmen muß. Wenn sie dabei nicht die optimale Nährstoffmenge resorbieren kann, dann reagiert sie mit einem entsprechenden Minderertrag. Da aber die bei einem Extraktionsverfahren gelöste Phosphatmenge auch von der insgesamt vorhandenen Phosphorsäure bestimmt wird, so kann man erst den Phosphorsäurezustand eines Bodens beurteilen, wenn man auch die Gesamtposphatmenge kennt.

Hiezu umseitig einige Beispiele

An Beispiel I ist klar ersichtlich, wie mit zunehmender Tiefe und damit fallendem Humusgehalt sowie geringer werdender biologischer Aktivität im Boden die Phosphatlöslichkeit abnimmt, ohne daß eine wesentliche Änderung des Gesamt- P_2O_5 sowie des Kalkgehaltes zu bemerken ist. Allerdings ist die bessere Durchfeuchtung des Unterbodens an dem Ansteigen des Manganwertes erkennbar (vgl. V. GUTSCHICK 1940), welcher einen guten Anzeiger für die herrschenden Redox-Verhältnisse darstellt. Somit liegt in dieser tieferen Schicht des Lößbodens durch geringe biologische Tätigkeit und größere Feuchtigkeit mit gleichzeitig damit bedingtem aktivem Kalk der überwiegende Teil der Phosphate als schwerlöslicher Hydroxylapatit vor.

Im Beispiel II wird ein durch lange Ackernutzung veränderter (anmooriger) Auboden gezeigt, bei dem zwei nahe beisammen liegende Felder etwa dieselbe Phosphatlöslichkeit zeigen, obschon die Phosphatreserven stark differieren. Der Boden mit dem höheren Humusgehalt wird von Auwald umgeben und ist daher weniger stark der Austrocknung ausgesetzt; seine Bodengare ist auch bedeutend besser als die des anderen. Größere Feuchtigkeit und intensiveres Bodenleben zeichnen sich auch im höheren Manganwert ab. Auch hier erweist sich ein intensiveres Bodenleben als erhöhend auf die Phosphatlöslichkeit. Trotzdem ist dieser günstiger zu beurteilende Boden besser mit P_2O_5 zu düngen als der andere, da die geringe P_2O_5 -Reserve sonst bald erschöpft sein würde.

Im Beispiel III sind zwei Proben aus einer fast entkalkten Ackerbraunerde bei Mistelbach gezeigt. Trotz gleicher Bodenart, gleichem Humus- und kaum unterschiedlichem Kalkgehalt (dies zeigt am besten das gleiche End-pH der Extraktionslösung), ja sogar fast gleichem Gesamtposphatgehalt, besteht ein enormer Unterschied in der Phosphatlöslichkeit. Dieser ist nur aus der unterschiedlichen Biologie und Gare der Böden erklärbar. Das schlechtere Feld trug im Herbst z. Zt. der Probenahme Zuckerrüben mit großen Fehlstellen, der Boden war verdichtet und zäh wie Kitt, am anderen Feld waren Spätkartoffeln mit einer hervorragenden Bodengare.

Beispiel Nr.	Proben- Nr.	Boden	Ort	nähere Bezeichnung	AL-Laktat P ₂ O ₅ , mg/ 100 g Boden	Gesamt- P ₂ O ₅ , mg/ 100 g Bd.	Lösl. P ₂ O ₅ in % vom Gesamt-P ₂ O ₅	Kalk (CaCO ₃)	Organ. Substanz	End-pH der AL-Lösung	Mangan* mg/100 g Boden
I	9548	Lößboden	Krems/D.	Oberboden	66,0	120,0	50	21,7	2,21	4,40	12,2
	9547			Unterboden	6,1	108,0	6	22,2	0,63	4,60	22,1
II	0001	Anmoor- Auboden verbraunt	Gutenhof bei Himberg	Flächen in ca. 500 m Entfernung	27,7	89,5	30	7,5	2,66	4,20	4,8
	0039				24,9	47,5	50	10,1	3,65	4,13	7,4
III	0126	Ackerbraun- Erde	Mistelbach	unmittelbar	46,0	46,3	100	1,3	2,76	3,92	—
	0134			benachbarte Flächen	19,2	42,7	50	0,0	2,83	3,94	—
IV	0184	Anmoor- Moor	Moosbrunn	Entfernung	5,6	22,5	25	34,0	15,00	5,02	—
	0188	graues Aubd.		der Flächen ca. 1,5 km	7,5	60,2	12	39,3	2,50	5,06	—
V	0289	lehmige Sandböden	Raasdorf	Entfernung	63,0	116,3	50	17,4	2,90	4,37	8,0
	0295			der Flächen ca. 800 m	23,8	82,1	27	15,8	3,24	4,36	6,5

* Bestimmung nach H. BARON (1955).

Beispiel IV zeigt ähnliche Verhältnisse wie Beispiel II, nur in weit gefährlicheren Ausmaße. Bei beiden Böden gehen nur geringe Phosphatmengen in Lösung. Würde man nur die Kalkgehalte und die End-ph-Werte der Extraktionslösungen kennen, müßte man in beiden Fällen alle Schuld an der geringen Phosphatmenge der Aktivität des Kalkes zuschreiben. Erst die Ermittlung der Gesamtphosphate ergibt ein klares Bild, aus dem die Notwendigkeit einer völlig unterschiedlichen Behandlung beider Böden hervorgeht.

Das Beispiel V zeigt die Analysenergebnisse von zwei nahe beisammen liegenden Feldern mit völlig gleicher Bodenart. Trotz des geringeren Humusgehaltes weist der zuerst angeführte Boden einen höheren Manganwert und eine um vieles bessere Phosphatlöslichkeit auf. Dies erscheint zunächst widersinnig und läßt sich nur auf Grund der Kenntnis der lokalen Verhältnisse klären. Während nämlich die erstangeführte Probe von einem kleineren Feld unter 3-jähr. Luzerne stammt, kommt die zweite Probe von einer seit Jahren extensiv mit Getreide bewirtschafteten großen Tafel. Von der Phosphatlöslichkeit und dem Manganwert läßt sich also auch umgekehrt auf die Qualität des Humus bzw. der organischen Substanz rückschließen, die bei der ungünstigeren Probe in der Hauptsache aus nur wenig verrottetem fein verteiltem Stroh bestand, was mikroskopisch beobachtet wurde.

Wie aus den angeführten Manganwerten ersichtlich ist, stellen sie eine wertvolle Unterlage zur Beurteilung von Böden dar. Da aber auch die Mengen des löslichen zweiwertigen Mangans von den Gesamt-Mangangehalten beeinflußt werden, ist die Kenntnis der Größenordnung, in der die Gesamt-Mangangehalte von Böden liegen, notwendig. Diese bewegen sich zwischen 80—400 mg je 100 g Boden (B. RADEMACHER, 1952). Im allgemeinen sind Kalkböden reicher an Mangan als saure Böden. Die Angaben verschiedener Autoren (E. KOSEGARTEN 1955; V. GUTSCHICK 1940) stimmen gut überein und es kann folgender allgemeiner Überblick gegeben werden:

Gesamt-mangan in mg/100 g Bd.

Podsole	8 — 15
Braunerden	40 — 50
saure Niedermoore	70 — 80 (pH um 5, org. S. 23 — 44 %)
entkalkter Löß	ca. 200
lehmige Kalkböden	300 — 400

Man sieht also daraus, daß das lösliche Mn^{II} , im Gegensatz zur Phosphorsäure, stets nur wenige Prozent des Gesamt-mangans in Kalkböden ausmacht, weshalb hier auf dessen Bestimmung verzichtet werden kann und bereits die absoluten Werte gute Anhaltspunkte bei der Beurteilung von Böden liefern.

Die Aufdüngung mit Phosphaten

Die Frage der Aufdüngung eines Bodens spielt in der praktischen Landwirtschaft eine bedeutende Rolle. Es wird daher immer wieder versucht, analog zum Kalkungsbedarf, mit Hilfe der Nährstoffuntersuchung den Düngungsbedarf zu ermitteln. Während es jedoch möglich ist, die zum Erreichen eines bestimmten pH-Wertes erforderliche Kalkmenge recht genau zu bestimmen, kann man keineswegs aus einer Nährstoffanalyse Rückschlüsse auf die erforderliche Nährstoffmenge ziehen, welche zur Aufdüngung auf einen bestimmten Analysenwert notwendig ist. Im Folgenden soll das am Beispiel der Aufdüngung eines Weingartens bei der Neuanlage gezeigt werden. Es handelt sich um Löß mit 30% $CaCO_3$.

		mg P ₂ O ₅ /100 g Bd.		kg P ₂ O ₅ /ha	Differenz kg
D. L.		A. L.	Gesamt		
April 1959	1. Untersuchung	1,6	n. b.	75,4	4524
April 1959	1. Düngung	600 kg P ₂ O ₅ /ha als Thomasphosphat		86,2	
April 1959	2. Untersuchung	1,7	n. b.		133,0
Sommer 1959	2. Düngung	2900 kg P ₂ O ₅ /ha als Hyperphosphat		136,0	
Oktober 1959	3. Untersuchung	4,2	15,5		7980
August 1960	4. Untersuchung	5,7	47,4	136,0	

Man erkennt klar die Zunahme des Gesamt-P₂O₅ nach Maßgabe der zugeführten Düngerphosphorsäure. Keineswegs parallel geht die Zunahme der Doppellaktatwerte, da die Extraktionsleistung für den kalkreichen Boden bei der geringen Pufferung zu gering ist. Deshalb wurde in der zweiten Versuchshälfte auch die AL-Methode angewandt. Besonders auffallend ist dann die starke Zunahme der löslichen P₂O₅-Menge von Oktober 1959 bis August 1960, ohne daß eine weitere Düngung gegeben wurde.

Es ist nun einerseits bemerkenswert, wie rasch das Hyperphosphat mit dem Boden reagiert und in eine leichter lösliche Form übergeführt wird (bei 30% CaCO₃-Gehalt und nur 0,73% org. Substanz im Boden!), andererseits aber geht daraus hervor, daß eine Aufdüngung erst nach über einem Jahr von der Bodenuntersuchung in ihrer vollen Auswirkung erfaßt werden kann. Daher hat der Probenahmezeitpunkt wesentlichen Einfluß auf die Untersuchungsergebnisse und muß daher bei der Beurteilung dieser mit ins Kalkül gezogen werden. Ebenso ist zur Beurteilung die Kenntnis der örtlichen Verhältnisse und die der Bewirtschaftungsform und -methoden erforderlich. Eine Beurteilung von Analyseergebnissen kann jedoch trotz bester Information über die lokalen Gegebenheiten ebenfalls leicht zu Fehlschlüssen führen, wenn die genaue Kenntnis der Untersuchungsmethoden fehlt!

Diese sehr kurzfristige Untersuchung einer Aufdüngung mit Phosphorsäure zeigt schon, daß weit mehr P₂O₅ erforderlich ist, um die lösliche Phosphorsäure im Boden zu erhöhen, als allgemein angenommen wird. Keinesfalls stimmen jedoch die mehrfach in der Fachpresse für Aufdüngungsrechnungen angewandten 30 kg P₂O₅/ha für 1 mg leichtlös. P₂O₅/100 (vgl. H. SCHLAGER 1958). In dem gezeigten Beispiel konnte durch Interpolation mit Vergleichsmaterial für die Erhöhung des ammoniumlaktatlöslichen P₂O₅ um 1 mg eine Menge von 90 kg P₂O₅/ha bei 60 cm Rigoltiefe, entsprechend 45 kg P₂O₅ bei 30 cm Bodentiefe, ermittelt werden.

Ein ähnliches Aufdüngungsbeispiel, jedoch in einem großen Zeitraum, wird von E. HOFMANN u. W. HUNNIUS (1955) angegeben. In 18 Jahren konnte auf einem milden Quartärdeckenlehm (Lößlehm) die laktatlösliche P₂O₅ von 6,7 auf 15 mg/100 g Boden gesteigert werden durch die Zufuhr von 1398 kg P₂O₅. Zieht man nun davon die in 18 Jahren durch die Ernte entzogenen P₂O₅-Mengen ab (je Ernte 45 kg = 810 kg in 18 Jahren), dann verbleiben dem Boden 588 kg P₂O₅ zur Erhöhung des P₂O₅-Spiegels. Es wurden also zur Aufstockung der laktatlöslichen Phosphorsäure um 8,3 mg/100 g 588 kg P₂O₅/ha oder ca. 71 kg Dünger-P₂O₅ je 1 mg Ca-laktatlösliches P₂O₅ benötigt.

Wie sehr problematisch solche Aufdüngungen auf bestimmte Milligramm-Werte sind, dürfte allein mit dem Hinweis auf die Verschiedenheit der Methoden und deren Erfassungsvermögen für die Nährstoffe gezeigt sein.

Da jedoch der praktische Landwirt von einer Bodenuntersuchung handfeste Hinweise für seine Düngungsmaßnahmen erwartet, soll der Versuch unternommen werden, eine Brücke zur Pflanze und deren Dynamik zu schlagen.

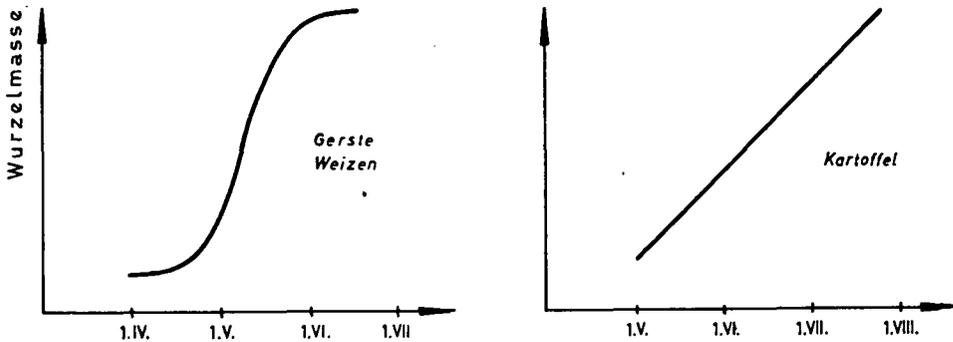
* Berechnet auf 60 cm Tiefe, da rigolt wurde.

Die Erfassung von Bodenraum und Nährstoffen durch die Pflanze

Alle Untersuchungsmethoden, bei denen die Nährstoffe extrahiert werden, erfassen den gesamten Boden, da die Extraktionslösung beim Schütteln restlos die Bodenteilchen umspült. Daher beziehen sich die Ergebnisse auch auf die gesamten, mit der jeweiligen Methode extrahierbaren Nährstoffe.

Die Pflanze durchzieht den Boden mit ihren Wurzeln und erfaßt dabei nur die nächste Umgebung um die Wurzel. Es ist nun von großem Interesse, wieviel des gesamten Bodens mit den Pflanzenwurzeln in Ionenaustausch tritt. Daher erscheint es naheliegend,

Wurzelentwicklung



Nährstoffaufnahme



Abb. 1

die Umtauschkapazität (UK) der Wurzeloberfläche mit der des Bodens zu vergleichen. Von WILLIAMS und MATTSON (zit. bei F. SCHEFFER u. E. WELTE 1955), wurde die UK der Wurzeloberfläche mit 40–60 mval/100 g Wurzelrockenmasse bestimmt. Daraus ergibt sich bei der hohen Wurzelmenge von 1000 kg/ha je 30 cm Bodentiefe eine UKWurzel von 0,4–0,6 kval/ha. Demgegenüber steht eine UKBoden von 15–20 mval/100 g im Durchschnitt, gleichzusetzen mit 450–600 kval je ha bei 30 cm Bodentiefe.

Allein aus dieser Gegenüberstellung ist ersichtlich, daß man auf diesem Wege zu keinem brauchbaren Ergebnis kommt, zumal die Wurzel in der Lage ist, nach erfolgtem Eintausch von Ionen ihre Umtauschfähigkeit wieder zu regenerieren. Es wurde daher von mir der Versuch unternommen auf dem Wege über das Wurzelgewicht an dieses Problem heranzukommen.

L. KUTSCHERA (1960) zitierte R. POLLE (1910), der im Mittel ein Gewicht der Hauptwurzeln von 25 mg/Meter, der Nebenwurzeln von 8 mg/Meter und ein Gewichtsverhältnis von Haupt-: Nebenwurzeln = 3:2 angibt. Daraus läßt sich bei einer mittleren Wurzelmasse (Getreide) von 800 kg/ha eine gesamte Wurzellänge von rund 60.000 km/ha errechnen. Da um die Wurzel herum maximal ein Bodenzylinder von 4 mm \varnothing von dieser erfaßt wird (Wurzelhaare ca. 1 mm lang) ergibt dies 813,6 m³ je ha. Da bei 30 cm Bodentiefe ein Hektar 3000 m³ hat, ergibt sich ein von der Wurzel erfaßter Bodenraum von maximal 27,12%.

Man muß nun bedenken, daß diese Wurzelmasse nur allmählich gebildet wird und nur die peripheren Enden der Wurzel durch ihre Wurzelhaare sorptionsfähig sind. Diese Sorptionsfähigkeit dauert also nur kurze Zeit und nach dem Verkorken der Wurzelrinde findet an dieser Stelle der Wurzel keine Nährstoffaufnahme mehr statt. Bildlich gesehen durchschließt die Wurzel langsam den Boden und tauscht mit ihren aktiven vordersten Teilen die nötigen Nährstoffe ein.

Die Wurzelentwicklung geht mit der oberirdischen Entwicklung der Pflanzen praktisch parallel (J. BECKER 1927), daher sieht diese bei den verschiedenen Pflanzen auch unterschiedlich aus, so daß Pflanzen mit einer allmählichen und langsameren Entwicklung, wie dies etwa bei Kartoffeln oder Hafer der Fall ist, auch eine langsamere, gleichmäßigere Wurzelentwicklung zeigen als z. B. Gerste oder Weizen mit ihrer kurzen, enormen Schoßperiode.

Die Nährstoffaufnahme geht parallel mit der Trockensubstanzbildung. Daher können wir direkt durch Differenzieren der Wurzelentwicklungskurven den Gang der Intensität der Nährstoffaufnahme ermitteln (siehe Abb. 1).

Aus dieser Kurve ist zu entnehmen, daß sich die Nährstoffaufnahme unserer wichtigsten Getreidearten Weizen und Gerste auf einen ganz kurzen Zeitraum mit großer Intensität zusammendrängt. Man erkennt aber daran auch, warum gerade Weizen und Gerste so hohe Ansprüche an den Boden und dessen Leistungsfähigkeit stellen.

Der aktive, nährstoffresorbierende Teil der Wurzel ist jedoch nur wenige Tage funktionstüchtig. Diese Zeitspanne wird im Durchschnitt kaum 4 Tage überschreiten, d. h. aber, der von der Wurzel durchwachsene und erfaßte Boden muß in dieser kurzen Zeit die von der Wurzel benötigten Nährstoffe abgeben können. Es erhebt sich nun die Frage, um welche Nährstoffmenge es sich dabei handelt. Dies läßt sich an Hand der Phosphorsäure etwa wie folgt berechnen:

Ca. 25% des Bodens werden von der Wurzel erfaßt, d. s. bei 3 Mill. kg/ha 750.000 kg. Legt man einen Nährstoffzug von z. B. 50 kg P₂O₅/ha durch die Pflanzen zu Grunde, dann ergibt sich aus

$$\frac{50.000,000 \text{ mg P}_2\text{O}_5}{750.000 \text{ kg Boden}} = 66,7 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{kg Boden}$$

oder 6,7 mg P₂O₅/100 g Boden, welche von den Pflanzenwurzeln in dem von ihnen erfaßten Boden aufgenommen werden.

Diese nicht unbeachtliche Menge P₂O₅ muß von den Pflanzen in kürzester Zeit aufgenommen werden können, also leicht aufnehmbar sein. Da aber von der angegebenen Phosphorsäure nur etwa 10–15% durch die Wurzel resorbiert werden, muß die 6–10-fache Phosphatmenge zur Verfügung stehen, das wären 44,6–67,0 mg P₂O₅/100 g Boden. Diese Phosphatmengen sind aber im normal versorgten Boden (mit Mineralsäure heraus lösbares Gesamt-P₂O₅) mindestens vorhanden und mit sträker gepufferten Extraktionslösungen ist der niedrigere Wert auch bei Karbonatböden erfaßbar, wie aus der weiter oben gezeigten Bodenanalyse hervorgeht. Es zeigt sich also, daß die stärker gepufferten Extraktionslösungen mit längerer Extraktionszeit den natürlichen Größenordnungen am

nächsten kommen. Auch erscheint die Bestimmung der mit verdünnten Mineralsäuren herauslösbaren Phosphorsäure in durchaus realem Licht, zumal gerade bei Karbonatböden Fe- oder Al-Phosphate kaum vorliegen dürften.

Es ist nun nicht uninteressant festzustellen, wie hoch die Phosphatkonzentration in der Bodenlösung bei den vorliegenden Verhältnissen sein muß. Dies läßt sich leicht aus dem mittleren Wassergehalt eines Ackerbodens von ca. 20–22% ermitteln. Je 100 g Boden würde dies eine Konzentration bei 67 mg angebotenem P_2O_5 von 67 mg/20 ml oder 3,3 mg/ml bedeuten. Bei einem pH von 5,7 fällt jedoch in Anwesenheit von Ca-Ionen bereits Ca-Phosphat aus. Daher muß einerseits das pH der Rhizosphäre wesentlich niedriger sein, andererseits müssen Lösungsvorgang und Resorption sehr rasch aufeinander folgen. Sobald der Lösungsvorgang hinter der Resorption nachhinkt – dies bedeutet bereits ein geringeres Nährstoffangebot – erhält die Pflanze nicht mehr ihre benötigten Nährstoffe und der Ertrag wird geringer sein.

Schlußbetrachtung

Wir sehen also, daß der Lösungsdruck der ungelösten Nährstoffe des Bodenkörpers, bzw. der Austauschdruck der absorbierten Nährstoffe eine bedeutende Rolle für die Nährstoffversorgung der Pflanzen spielt. Der Lösungsdruck ist naturgemäß neben der chemischen Struktur der Nährstoffe enthaltenden Verbindung (bzw. der Sorptionskraft der festen Bodenphase) auch von der Gesamtmenge der ungelösten Nährstoffe abhängig.

Die Erfassung dieser Löslichkeitsverhältnisse durch die Bodenuntersuchung ermöglicht erst eine sichere Beurteilung der Nährstoffversorgung eines Bodens. Daß wir durch die Kombination verschiedener Analysenmethoden weitestgehend in die naturgegebenen Verhältnisse in der Rhizosphäre Einblick bekommen können, zeigt der Vergleich der analytisch erfaßten, mit den in der Resorptionszone der Wurzel umgesetzten Nährstoffmengen. Für die praktische Auswertung von Analysenbefunden müssen dann die biologischen Zusammenhänge im Boden und in der Pflanze berücksichtigt werden.

Zusammenfassend möchte ich sagen: Eine Bodenuntersuchung hat nur dann einen größeren Aussagewert, wenn

- a) möglichst viele, gut miteinander auswertbare Analysendaten vorliegen,
- b) der Beurteiler die Feinheiten der Methoden kennt, diese Kenntnis bei der Auswertung anwendet und die Zusammenhänge erläutert.

In Verbindung mit der Kenntnis des jeweiligen landwirtschaftlichen Betriebes und seiner Möglichkeiten, lassen sich dann aus so ausgewerteten Analyseergebnissen die entsprechenden Maßnahmen für die Praxis gut ableiten.

- BARON, H.: Gemeinsame Extraktion und chemische Bestimmung des leichtlöslichen Anteils der Mikro-nährstoffe Bor, Eisen, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän und Zink im Boden; Z. „Landw. Forschung“, 6, Heft 2, S. 82ff. 1955.
- BECKER, J., DILLINGEN: Handbuch des Getreidebaues, Berlin, S. 17. 1927.
- GUTSCHICK, V.: Untersuchungen über den Umlauf des Mangans und Eisens im Walde; Dissertation Hochschule f. Bodenk. Wien; Verlag P. Parey Berlin. 1940.
- HOFMANN, E., W. HUNNIUS: Über die Wirkung langjähriger Phosphorsäuredüngung auf die Fruchtbarkeit des Bodens; Z. Die Phosphorsäure, Bd. 15, S. 230. 1955.
- KÜHN, W.: Physikalische Chemie; Leipzig, S. 339. 1942.
- KOSEGARTEN, E.: Das aktive Mangan verschiedener Bodentypen in Abhängigkeit vom pH-Wert und Humusgehalt; Z. Die Phosphorsäure; Bd. 15, S. 140. 1955.
- KURMIES, B.: Über die Bildung von Calciumphosphaten in wäßriger Lösung und den Reaktionsablauf bei der Bildung von Hydroxyl- und Fluorapatit; Z. Die Phosphorsäure, Bd. 13, S. 57. 1953.
- KUTSCHERA, L.: Wurzelatlas, Frankfurt/M. 1960.
- MESSINER, H.: Über die gegenseitige Beeinflussung von Kulturpflanzen und Bodenmikroorganismen; Diss. H. f. Bodenkultur Wien. 1951.
- Untersuchungen über die wechselseitige Beeinflussung von Bodenbakterien und Tschermaks zweizelliger Wintergerste; Mitt. d. Versuchsstation f. d. Gärungsgewerbe in Wien, Jg. 12, S. 92. 1958 a.
 - Beobachtungen über den Einfluß von *Achromobacter* auf die Gerstenkeimung; ebenda S. 47. 1958 b.

- POLLE, R.: Über den Einfluß verschieden hohen Wassergehaltes verschiedener Düngung und Festigkeit des Bodens auf die Wurzelentwicklung des Weizens und der Gerste im ersten Vegetationsstadium; Journal f. Landw. S. 58. 1910.
- RADEMACHER, B.: Mangan und Manganmangel in Böden und Pflanzen; Z. Die Phosphorsäure, Bd. 12, S. 193. 1952.
- RATHJE, W.: Zur Kenntnis der Phosphate VI. Mitteilung: „Das Phosphatgleichgewicht im Boden“. Z. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 28. Bd., NF, S. 139. 1942.
- RIEHM, H.: Die Ammoniumlaktat-Essigsäure-Methode Agrochimica, Dicembre S. 49 ff. 1958.
- SCHAEFFER, F. u. E. WELTE: Lehrbuch der Agrikulturchemie und Bodenkunde II. Teil, Pflanzenernährung. Stuttgart, 1955.
- SCHLAGER, H.: Bodenuntersuchung und Nährstoffversorgung. Z. Der Förderungsdienst Wien, 6. Jg., Heft 10, S. 305f. 1958.
- ULRICH, A.: „Metabolism of non-volatile organic acids in excised barley roots as related to cation-anion balance during salt accumulation“; Jg. 28, S. 526. 1941.

Der Wasserhaushalt eines Pseudogleyes mit und ohne künstliche Beregnung

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

von HUBERT MÜLLER, Wien *

Einleitung und Problemstellung

In Österreich sind Pseudogleye weit verbreitet. Innerhalb der Pseudogleye wird nach H. FRANZ (1960) in primäre und sekundäre unterschieden, wobei erstere auf Tonen, Mergeln, tonigen Sandsteinen, Tonschiefern und ähnlichem Ausgangsmaterial auftreten. In die zweite Gruppe fallen insbesondere die von J. FINK (1961) beschriebenen Pseudogleye, die aus Staublehm hervorgegangen sind und in denen der Prozeß der Tagwasservergleyung sekundär, d. h. nach Tondurchschlammung (Lessivage) entstanden ist. Ein primärer Pseudogley (im Sinne von H. FRANZ 1960), gebildet aus Gesteinen der Flyschzone des Wiener Waldes, bildet den Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Da der heutige Stand von Forschung und Technik eine optimale Nährstoffversorgung der Pflanzen ermöglicht, besitzt die Versorgung mit Wasser und die Bearbeitbarkeit des Bodens eine zentrale Bedeutung für die Ertragsleistung des Bodens. Der bodenwirtschaftliche Wert aller tagwasserstauenden Böden ist durch ihre schlechte Durchlüftung, dichte Lagerung und zeitweilige Vernässung stark herabgesetzt. Für die Hebung ihrer Fruchtbarkeit ist es in erster Linie notwendig, ihren Wasserhaushalt zu verbessern. Um eine gleichmäßige Versorgung der Pflanzen (vgl. L. M. KOPETZ 1955) mit Wasser zu ermöglichen, war es notwendig, den Gang der Bodenfeuchte im Jahresablauf und seine Beeinflussung durch künstliche Beregnung zu studieren.

Untersuchungsmethoden

1. Bodenchemische Methoden

- a) Die Organische Substanz wurde nach dem von WALKLEY-ARMSTRONG, BLACK (1935) überprüften Degtjareff'schen Verfahren bestimmt.
- b) Die Wasserstoffionenkonzentration wurde mit dem Metrohm-ph-Meter in KCl Lösung gemessen.
- c) Die Karbonatbestimmung erfolgte nach SCHEIBLER.
- d) Die Umtauschkapazität (UK) wurde nach der Methode RIEHM-ULLRICH (1954) festgestellt.
- e) Der S-Wert wurde nach KAPPEN (1929) bestimmt.

2. Bodenphysikalische Methoden

- a) Als Raumgewicht des Bodens in natürlicher Lagerung wird das Gewicht einer Volumseinheit Boden in natürlicher Lagerung nach Trocknung bei 105 Grad bezeichnet.
- b) Das spezifische Gewicht der Bodensubstanz wurde nach der Pyknometermethode ermittelt.

* Anschrift des Verfassers: Dr. HUBERT MÜLLER, 1220 Wien, Erzherzog Karl Straße 83/62.

c) Die Bestimmung des Porenvolumens erfolgte nach DE LEENHEER nach der Formel:

$$\text{Porenvolumen in \%} = \left(1 - \frac{\text{Spezifisches Gewicht}}{\text{Raumgewicht}}\right) \cdot 100$$

d) Der Wassergehalt des Bodens bei Feldkapazität (FK) und Welkepunkt (WP) wurde mittels der Saugspannungsapparatur nach WOODROOF (1941) und RICHARD (1948, 1949) eingestellt und dann gravimetrisch ermittelt.

e) Für die periodische Feststellung des aktuellen Bodenwassergehaltes wurden Proben mit dem Schlagbohrer entnommen und bei 105° C getrocknet. Die Umrechnung in Volumsprozente erfolgte durch Multiplikation der Gewichtsprozente Wasser mit dem Raumgewicht des Bodens.

Beschreibung der Versuchsfläche und des Bodenprofiles

Die Beobachtungen wurden auf dem Versuchsfeld des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung in Neuwaldegg, am Westrand der Stadt Wien, vorgenommen. Die Versuchsfläche befindet sich am Unterhang des Exelberges. Sie liegt auf etwa 290 m Seehöhe und ist etwa 5° nach Südosten geneigt. Der Boden hat sich aus Solifluktionsschutt von Kalksandsteinen und Schiefen des Neokoms gebildet. Das Profil steht, wie meist auf Schlepplängen, unter lateralem Wassereinfluß (vgl. F. SOLAR 1963).

Das Versuchsfeld war 1962 mit Kohlrüben und 1963 mit Alexandrinerklee bestellt.

Profilbeschreibung

- A_p 0 – 20 cm humos, Mull, lehmiger Ton, Farbe 2,5 Y 4/2, granuläre Struktur bis 5 cm und dann subpolyedrisch werdend, A und S_z scharf voneinander getrennt.
 S_z 20 – 40 cm humusfreier, lehmiger Ton, Farbe in den Aggregaten 2,5 Y 4/4, an den Aggregatgrenzen 10 YR 5/8, schwach durchwurzelt, subpolyedrisch, formbar und klebrig, in den Schwundrissen und an den Aggregatgrenzen Rostflecken.
 S_zS_k 40 – 60 cm weniger rostfleckig, dichtere Lagerung. Übergang von Stauzone zu Staukörper.
 S_k ab 60 cm lehmiger Ton, blaugrau mit violetten Flecken, aufgemürbte Gesteinsbrocken, sehr dicht gelagert.

Tabelle 1

Die klimatische Wasserbilanz am Versuchsort

Datum	Evapotranspiration (ET) mm	Niederschlag (N) Bodenoberfläche mm Höhe Warte	Wasserbilanz mm	Niederschlag Neuwaldegg mm	Gang der (BF) Bodenfeuchte mm Neuwaldegg
31. 7. – 10. 8. 62	20,62	3,20	– 17,32	3,0	– 28,2
10. 8. – 4. 9. 62	56,57	23,50	– 33,07	23,0	– 2,8
4. 9. – 18. 9. 62	18,24	11,05	– 7,19	10,5	+ 8,8
18. 9. – 2. 10. 62	13,10	14,35	+ 1,25	20,5	+ 5,6
2. 10. – 26. 10. 62	15,62	5,30	– 10,35	5,0	– 14,4
26. 10. – 21. 11. 62	8,65	124,55	+ 115,90	149,5	+ 119,6
21. 11. – 18. 12. 62	1,70	19,06	+ 17,36	41,0	+ 24,8
14. 3. – 29. 3. 63	7,45	29,10	+ 21,65	9,0	– 20,0
29. 3. – 22. 4. 63	28,96	33,08	+ 4,12	36,0	+ 13,8
22. 4. – 8. 5. 63	14,76	43,43	+ 26,67	55,0	+ 10,8
8. 5. – 21. 5. 63	17,65	11,30	– 6,35	11,0	– 40,6
21. 5. – 5. 6. 63	27,14	29,06	+ 1,92	21,5	– 4,8
5. 6. – 18. 6. 63	10,23	31,15	+ 20,92	24,0	+ 4,2
18. 6. – 12. 7. 63	32,16	39,25	+ 7,65	49,5	– 63,2
12. 7. – 18. 7. 63	3,10	–	– 3,10	–	– 8,6
18. 7. – 19. 7. 63	0,90	–	– 0,90	–	– 4,2
19. 7. – 23. 7. 63	1,35	–	– 1,35	–	– 28,8
23. 7. – 25. 7. 63	0,65	0,20	– 0,45	–	– 2,9
25. 7. – 26. 7. 63	–	–	–	–	– 9,0
26. 7. – 30. 7. 63	6,50	5,05	– 1,45	8,0	+ 1,2
30. 7. – 30. 8. 63	17,70	71,49	+ 53,79	66,0	+ 55,8
30. 8. – 13. 9. 63	8,95	15,95	+ 8,00	52,0	– 44,2
13. 9. – 27. 9. 63	7,47	25,93	+ 18,46	20,0	– 2,0
27. 9. – 14. 10. 63	12,63	30,50	+ 17,87	29,0	+ 2,2
14. 10. – 28. 11. 63	18,14	35,35	+ 17,21	27,0	+ 13,6

Die klimatische Wasserbilanz im Beobachtungszeitraum

Neuwaldegg liegt im Übergangsbereich zwischen dem atlantischen Klima mit milden Wintern und nassen, relativ kühlen Sommern und dem kontinentaleren, im Sommer heißeren, im Winter kälteren pannonischen Klimaraum.

Auf den Gang der Bodenfeuchte wirken als klimatische Faktoren Luftdruck, Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Wind, Bewölkung und Niederschlag ein. Besonders stark wird die Bodenfeuchte durch die Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung beeinflusst. W. KORTE (1958) bezeichnet diese Differenz als klimatische Wasserbilanz.

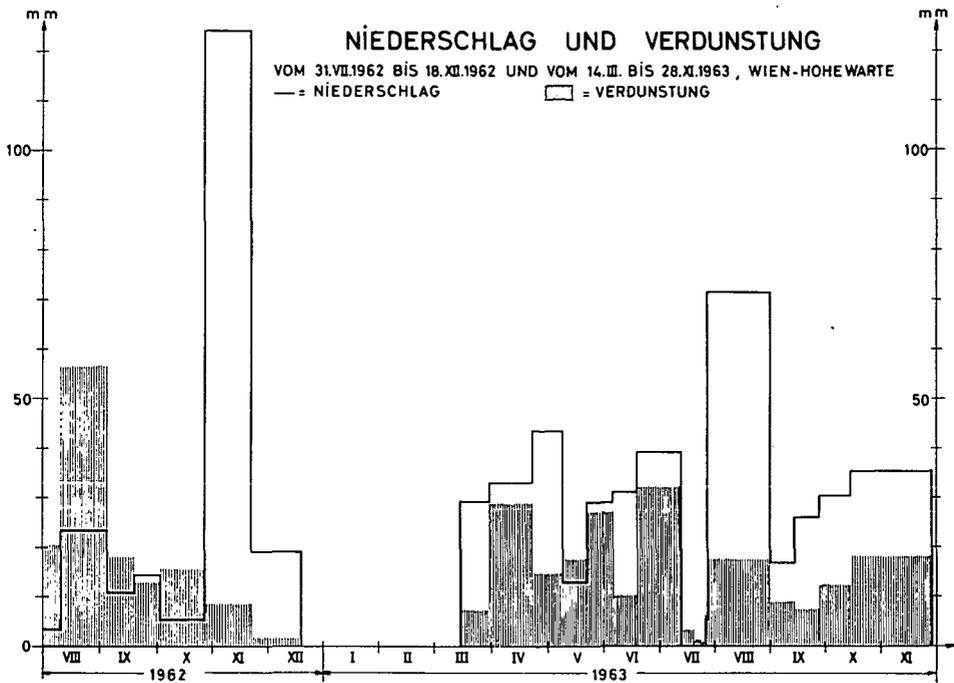


Abb. 1

Die Zahlen der Tabelle 1 lassen erkennen, daß die aus Evapotranspiration (ET) und Niederschlag (N) errechnete Wasserbilanz und der beobachtete Gang der Bodenfeuchte (BF) meist dieselbe Tendenz aufweisen (vergl. auch Abb. 1).

In Bezug auf die langjährigen klimatischen Mittelwerte sind die Versuchsjahre 1962 und 1963 als ausgesprochen trocken zu bezeichnen. Die Dürreperiode von 1962 war die ausgeprägteste seit 30 Jahren, denn sie dauerte von Juli bis Ende Oktober, während die Trockenheit im Jahre 1963 im Juli und bis Mitte August zwar noch stärker war, aber bereits im August durch die einsetzenden Regenfälle beendet wurde. Obwohl Niederschlag und Verdunstung im Beobachtungszeitraum dem klimatischen Durchschnitt nicht entsprechen, kann der Gang der Bodenfeuchte als typisch für einen Pseudogley bezeichnet werden und der zweitweise außergewöhnliche Witterungsverlauf hat die Extreme im Feuchtegang nur schärfer in Erscheinung treten lassen. Die klimatische Wasserbilanz hat sich also auch bei extremem Witterungsverlauf als brauchbares Hilfsmittel zur

Steuerung der Feldberegnung erwiesen (zum Verlauf der Witterung und der Bodenfeuchte im Untersuchungszeitraum siehe auch H. SUPERSBERG 1963, 1964).

Chemische Beschreibung des Versuchsbodens

Die Bodenreaktion wechselt in den verschiedenen Schichten ziemlich stark (vgl. Tab. 2). Der Karbonatgehalt ist bis 40 cm Bodentiefe sehr gering, steigt aber dann an. Da der Boden stark aufgekalkt wurde, ist der pH-Wert im A_p angestiegen, während im S_zS_k noch die ursprüngliche Reaktion erhalten geblieben ist. Karbonatgehalt und pH-Wert weisen im Staukörper ziemlich hohe Werte auf, die aber eine Dichtlagerung nicht verhindern konnten. Der Gehalt an organischer Substanz ist mittelmäßig (vgl. Tab. 2) und vermag die Wasserführung nicht entscheidend zu verbessern.

Tabelle 2
pH in KCl, Karbonatgehalt (Scheibler), Gehalt an organischer Substanz

	0 – 20 cm	20 – 40 cm	40 – 60 cm	60 – 80 cm
pH in n/1 KCl	6,50	4,60	6,25	7,15
% $CaCO_3$ (n. Scheibler)	1,0	0,0	6,7	21,2
% organischer Substanz	3,11	1,56	–	–

Die Sorptionswerte sind für diesen schweren Boden typisch. W. LOUB (aus H. FRANZ 1960) hat für die Umtauschkapazität eines Pseudogleyes auf Flyschmergel ähnliche Werte gefunden. Die höchste Umtauschkapazität ist in der Schicht von 20–40 cm (vgl. Tab. 3) vorhanden, was durch den höheren Tongehalt (vgl. Abb. 2) in dieser Schicht bedingt ist. Der Humusgehalt im A_p vermag diesen Unterschied nicht auszugleichen.

KORNGRÖSSENVERTEILUNG DER UNTERSUCHTEN BODENSCHICHTEN VON 0 - 80 cm

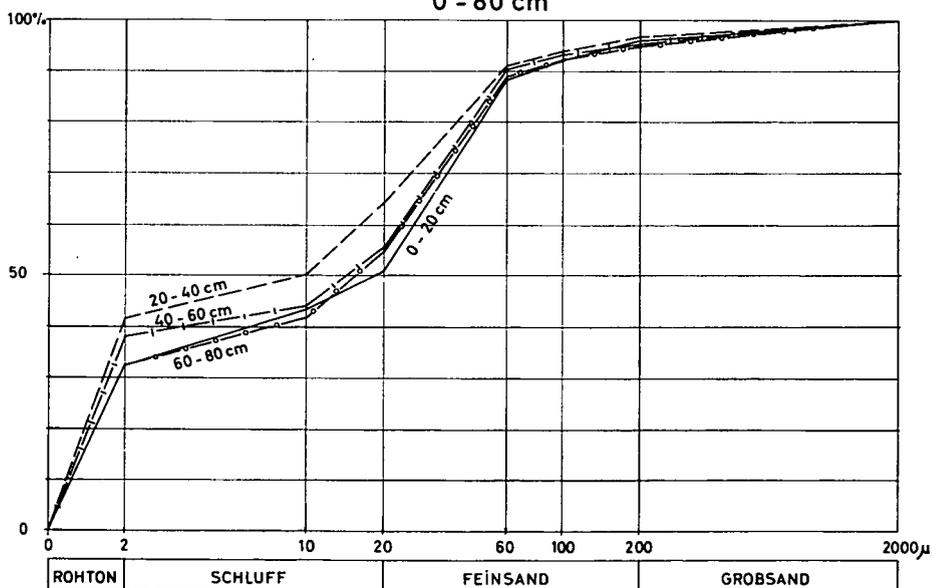


Abb. 2

Tabelle 3
Die Sorptionsverhältnisse des Versuchsbodens

Tiefe	UK mval/100 g Boden	S-Wert mval/100 g Boden	V-Wert %
0 - 20 cm	40,15	26,78	66,69
20 - 40 cm	42,90	23,46	54,68
40 - 60 cm	39,75	nb	nb
60 - 80 cm	41,00	nb	nb

Die den Wasserhaushalt bestimmenden physikalischen Bodeneigenschaften

Unter Bodenstruktur versteht man nach M. DE BOODT (1957) den Aufbau des Bodens aus einzelnen Strukturelementen und die Art und Weise, wie die Strukturelemente selbst aufgebaut sind. Eine gegebene Bodenstruktur ist eine Funktion der Faktoren Textur und Mineralart, Humusform und Humusart, Feuchtezustand, Basensättigung und Art der Basen, biologische Aktivität, mechanische Einwirkungen und schließlich Profilaufbau und Bodenklima. Die Kenntnis der Struktur eines Bodens gibt Einblick in seinen Wasser-, Luft- und Wärmehaushalt.

Da die Textur neben dem Gehalt an organischer Substanz und der Basensättigung des Bodens bestimmend für die Struktur eines Bodens ist, sollen nun die Ergebnisse der Schlämmanalyse besprochen werden.

Der Versuchsboden setzt sich vornehmlich aus Rohton, Schluff und dem feineren Teil der Feinsandfraktion zusammen (vgl. Abb. 2). Der Gehalt an größeren Bodenbestandteilen ist im ganzen Profil so gering, daß dadurch eine zügige Wasserführung nicht ermöglicht werden kann. Die Summe der Teilchen 0-60 μ und 60-2000 μ hat im gesamten untersuchten Profil sehr ähnliche Werte, woraus geschlossen werden kann, daß der Wasserstrom nicht durch eine Tonverlagerung, sondern bereits durch die ursprünglichen Bodeneigenschaften bedingt ist (vgl. Abb. 3).

DER PROZENTANTEIL DER PORENGRÖSSENKLASSEN

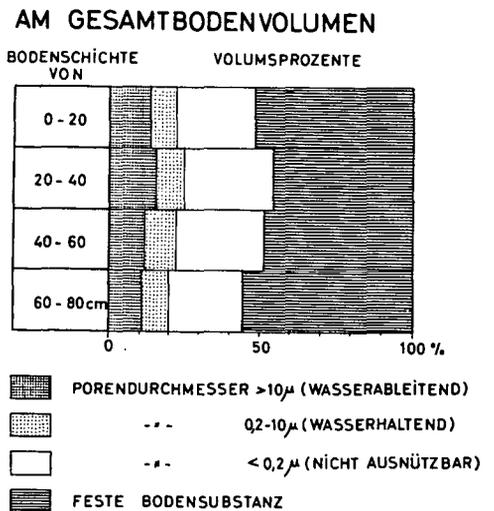


Abb. 3

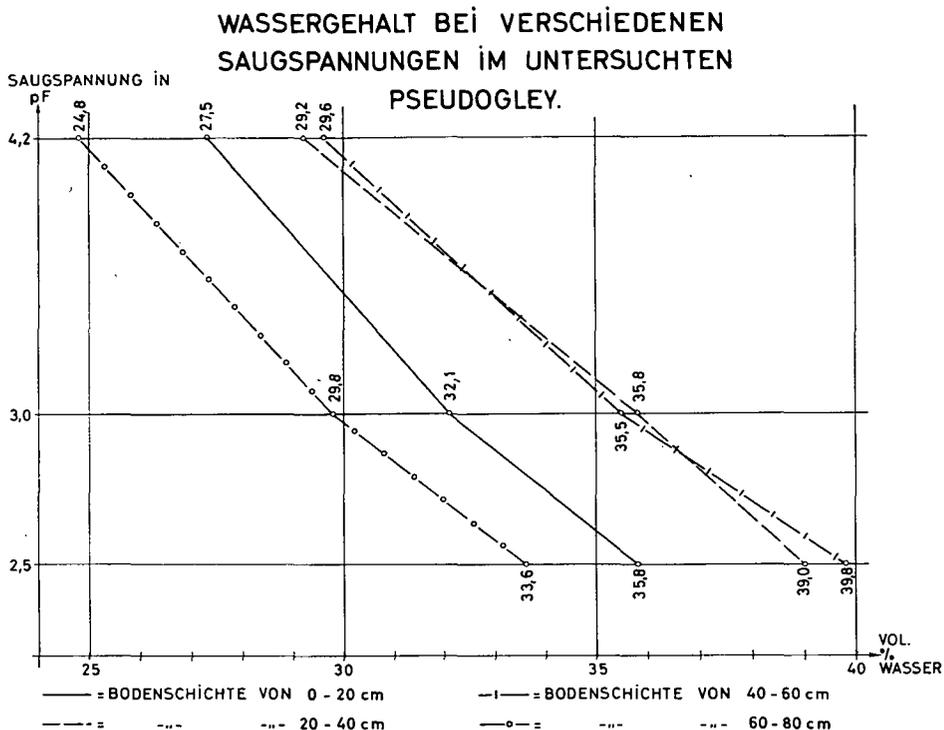


Abb. 4

Raumgewicht und Porenvolumen (vgl. Tab. 4) bestätigen die Ergebnisse der Schlämmanalyse, denn die Werte für das Raumgewicht um und über 1,5 sind für schwere, dichte Böden bezeichnend.

Tabelle 4
Raumgewicht und Porenvolumen des Versuchsbodens

	0 - 20 cm	20 - 40 cm	40 - 60 cm	60 - 80 cm
Raumgewicht	1,5	1,4	1,55	1,6
Porenvolumen (Volumsprozent)	49,2	54,2	51,1	44,1

Die Analyse des Porenvolumens zeigt die Ursachen der schlechten Wasserführung des Versuchsbodens auf (vgl. Abb. 3). Das Porenvolumen erreicht zwar die geforderten 50% des Bodenvolumens, aber einerseits ist der Anteil wasserableitender Poren viel zu gering und andererseits nimmt der Anteil der großen Poren im SzSk-Horizont und im Sk-Horizont so stark ab, daß dadurch ein Wasserstau entstehen muß.

Die Ergebnisse der Saugspannungsanalyse gaben wertvolle Aufschlüsse über den Wasserhaushalt des Versuchsbodens (vgl. Abb. 4). Die gewonnenen Werte werden im Folgenden zur Einteilung des Wassers im Boden herangezogen (vgl. Tab. 5), wobei die Ermittlung des pflanzenverfügbaren (= pflanzennutzbaren) Wassers (pfl. W.) besonders wichtig ist.

Tabellé 5
Die Verteilung des Bodenwassers im Versuchsboden in mm Regen

	0—20 cm	20—40 cm	40—60 cm	60—80 cm	0—80 cm
Gesamtwasser	98,4	108,4	102,2	88,2	397,2
nicht pfl. W.	54,6	58,4	59,2	49,6	221,8
pfl. W.	17,0	19,6	20,4	17,6	74,6
Sickerwasser	26,8	30,4	22,6	21,0	100,8

Auffällig ist der hohe Anteil an nicht pflanzennutzbarem Wasser, der durch die Schwere des Bodens und durch die ungünstige Aufteilung der Poren auf die einzelnen Größenklassen begründet ist. Die kleine Spanne zwischen FK und WP und der Mangel an großen Poren bewirken, daß Niederschläge und Trockenheit rasch zu extremen Zuständen im Boden führen, wo dann entweder Luftmangel oder Trockenheit die Entwicklung der Pflanzen beeinträchtigen.

Der Gang der Bodenfeuchte auf dem nicht berechneten Teil der Parzelle (vgl. Abb. 5)

Am Beginn der Beobachtungen am 31. 7. 1962 befand sich die BF im A_p bereits unter dem WP. In der Schicht von 20—80 cm waren noch 19,2 mm pflanzenverfügbaren Wassers vorrätig. Vom 31. 7. bis 10. 8. 62 fielen 3 mm Niederschlag. Trotzdem nahm die BF um 28,2 mm ab, da im gleichen Zeitraum die Evapotranspiration (ET) 20,62 mm betrug. Infolgedessen war die BF bis 60 cm hinunter unter den WP gefallen und auf der Versuchsfläche hatten sich tiefe Schwundrisse gebildet. Zwischen dem 10. 8. und dem 4. 9. betrug die ET 56,57 mm und der N 23 mm. Die BF nahm in diesem Zeitraum 2,8 mm ab. Am 4. 9. 1962 hatte die BF bis 60 cm hinunter weiter abgenommen, von 60 bis 80 cm jedoch um 3,8 mm zugenommen, daher konnte hier 8,2 mm pfl. W. festgestellt werden. In der Zeit vom 4. 9.—18. 9. 1962 fielen 10,5 mm N, die BF nahm daher von 0—40 cm zu, von 40—60 cm blieb sie gleich und von 80—60 cm nahm sie etwas ab. Vom 18. 9. bis zum 2. 10. 1962 gab es 20,5 mm N und die ET betrug 31,1 mm, was eine Zunahme der BF um 5,6 mm ermöglicht. Vom 2. 10. bis 26. 10. 1962 trocknete der Boden bis 40 cm Tiefe stark aus, deswegen wurde die Bodenoberfläche sehr hart und es öffneten sich breite Schwundrisse. Vom 26. 10. bis zum 18. 12. 1962 fielen 190,5 mm N, wodurch im A_{1p} ein Wasserstau mit völliger Füllung der Poren verursacht wurde, während in den tieferen Schichten die BF zwar auch über die FK anstieg, aber die Luft nicht vollkommen verdrängte.

Nachdem am 13. 3. 1963 die Parzelle durch einen warmen Regen schneefrei geworden war, begann ich am 14. 3. 1963 wieder mit der Beobachtung der BF. Im Vergleich zur letzten Probenahme im Dezember des Vorjahres nahm die BF in allen Horizonten etwas ab. Da wegen der Schneedecke eine Verdunstung von Bodenwasser nicht anzunehmen ist, dürfte das fehlende Wasser in den Untergrund versickert sein. Vom 14. 3. bis zum 29. 3. wurden 9 mm N gemessen, deswegen war auch die rechnerische Wasserbilanz positiv, während im Felde die BF um 20 mm abnahm, was sich im Verfärben der Furchenkämme zeigte. Die N vom 29. 3. bis 22. 4. 1963 (36 mm) ließen die BF im S_zS_k und im S_k ansteigen, während sich im A_p die BF leicht verminderte, sodaß man die Parzelle ackern und eggen konnte. Die in der Zeit vom 22. 4. bis 8. 5. 1963 gefallenen 55 mm N steigerten die BF in allen untersuchten Horizonten über die FK. Vom 8. 5. bis zum 21. 5. fielen zwar 11 mm N, infolge der bereits höheren ET sank aber die BF so weit, daß der Boden zur Vorbereitung der Aussaat von Alexandrinerklee gefräst werden konnte. Die 21,5 mm N in der Periode 21. 5. bis 5. 6. 1963 hoben die BF nur im S_k etwas, während sie im A_p

und im S_2S_k sank. Am 18. 6. 1963 waren die gefallenen Niederschläge (24 mm) aus dem A_p bereits entweder verdunstet oder in den PS versickert, aber sie erreichten den S_k nicht. Vom 18. 6. bis zum 25. 7. 1963 nahm die BF im gesamten Profil ab. Der WP wurde an diesem Tag in allen Horizonten unterschritten. Am 26. 7. 1963 erreichte die BF den tiefsten Stand während des gesamten Beobachtungszeitraumes, es wären zur Auffüllung auf den WP in der Schicht von 0 bis 80 cm 55 mm Regen nötig gewesen. Vom 26. 7. bis zum 13. 8. 1963 gab es 8 mm N und vom 13. 8. bis 30. 8. 1963 fielen 66 mm. Da am Tag vor der Probenahme 33 mm N gefallen waren, war der A_p beträchtlich über die FK aufgefüllt, während die tieferen Schichten noch unter dem WP verblieben. In der Zeit vom 30. 8. bis 13. 9. 63 fielen 52 mm N, daher wurde von 0 bis 40 cm die FK überschritten, zwischen 40 und 60 cm hielt die BF den erwünschten Stand oberhalb des WP und unterhalb der FK, zwischen 60 und 80 cm jedoch hatte die BF den WP noch nicht überschritten. Wegen der guten Durchfeuchtung, der Beschattung und der dichten Durchwurzelung durch den Klee war der A_p sehr gut gekrümelt, weder vorher noch nachher war die Bodengare im Beobachtungszeitraum in einem so guten Zustand. In den Wochen bis zum 28. 11. 1963 stieg zwar infolge der positiven Wasserbilanz die BF in den untersuchten Horizonten an, aber der Wasserstau und die Verschlämzung im A_p waren wegen der Bodengare und des geringeren Feuchtegehaltes nicht so stark als im Vorjahr bei Frosteinbruch zum Winterbeginn.

Als Vergleich zu meinen Beobachtungen in Wien-Neuwaldegg seien die Arbeiten von H. Supersperg (1963, 1964) angeführt, in denen festgestellt wird, daß die Dürreperiode von 1962 die ausgeprägteste seit 30 Jahren war und daher im Marchfeld ebenfalls eine Trockenheit von Juli bis Ende Oktober herrschte, während die Trockenheit im Jahre 1963 in den Monaten Juli und August zwar stärker war, aber nicht von so langer Dauer, da Mitte August 1963 ausgiebige Regenfälle einsetzten.

Die graphische Darstellung der BF erfolgte nach der Art der Feuchteganglinien von B. RAMSAUER (1949). Der beobachtete Feuchtegang dürfte für einen Pseudogley typisch sein, wenn auch durch die Nutzung und den Witterungsverlauf in den einzelnen Jahren Abweichungen vom beobachteten Feuchtegang unausbleiblich sind.

Tabelle 6
Mittelwerte und Schwankungen der BF. auf dem unberegneten Parzellenteil

Horizont	Mittelwert der BF.		Maximum d. BF.		Minimum der BF.	
	Zeitraum	%	Tag	%	Tag	%
0-20 cm	31. 7. 62-28. 11. 63	32,9	18. 12. 62	49,2	25. 7. 63	18,0
20-40 cm	31. 7. 62-28. 11. 63	34,3	18. 12. 62	45,2	26. 7. 63	21,1
40-60 cm	31. 7. 62-28. 11. 63	32,0	18. 12. 62	44,9	25. 7. 63	22,7
60-80 cm	31. 7. 62-28. 11. 63	28,0	18. 12. 62	37,2	30. 7. 63	20,7

Die Beobachtung des Feuchteganges entspricht dem Wasserhaushalt eines Primären Pseudogleys (im Sinne von H. FRANZ, 1960). Der Wechsel von Staunässe und extremer Austrocknung vollzieht sich in der Stauzone ($A_p + S_z$), das Eindringen des Niederschlagswassers in den Staukörper (S_2S_k und S_k) wurde sehr erschwert, z. T. verhindert. Vergl. hierzu Abb. 5 und die früheren Ausführungen über die physikalischen Bodeneigenschaften.

Die Stauzone im A_p zeigt die größten Schwankungen im Wassergehalt (vgl. Tab. 6). Die Bodenfeuchte liegt hier nur selten innerhalb von 50 bis 80% der pflanzenausnutzbaren Kapazität, was für die Erziehung eines hohen Pflanzenertrages nötig wäre. Das Vorhandensein eines Staukörpers läßt sich bei der Stauung der Winterfeuchtigkeit im A_p im November und Dezember 1962 und bei der Stauung der Regenfälle im Mai und im August 1964 gut beobachten (vgl. Abb. 5).

GANGLINIE DER BODENFEUCHTE IN DEN VIER UNTERSUCHTEN BODENSCHICHTEN. (PSEUDOGLEY)

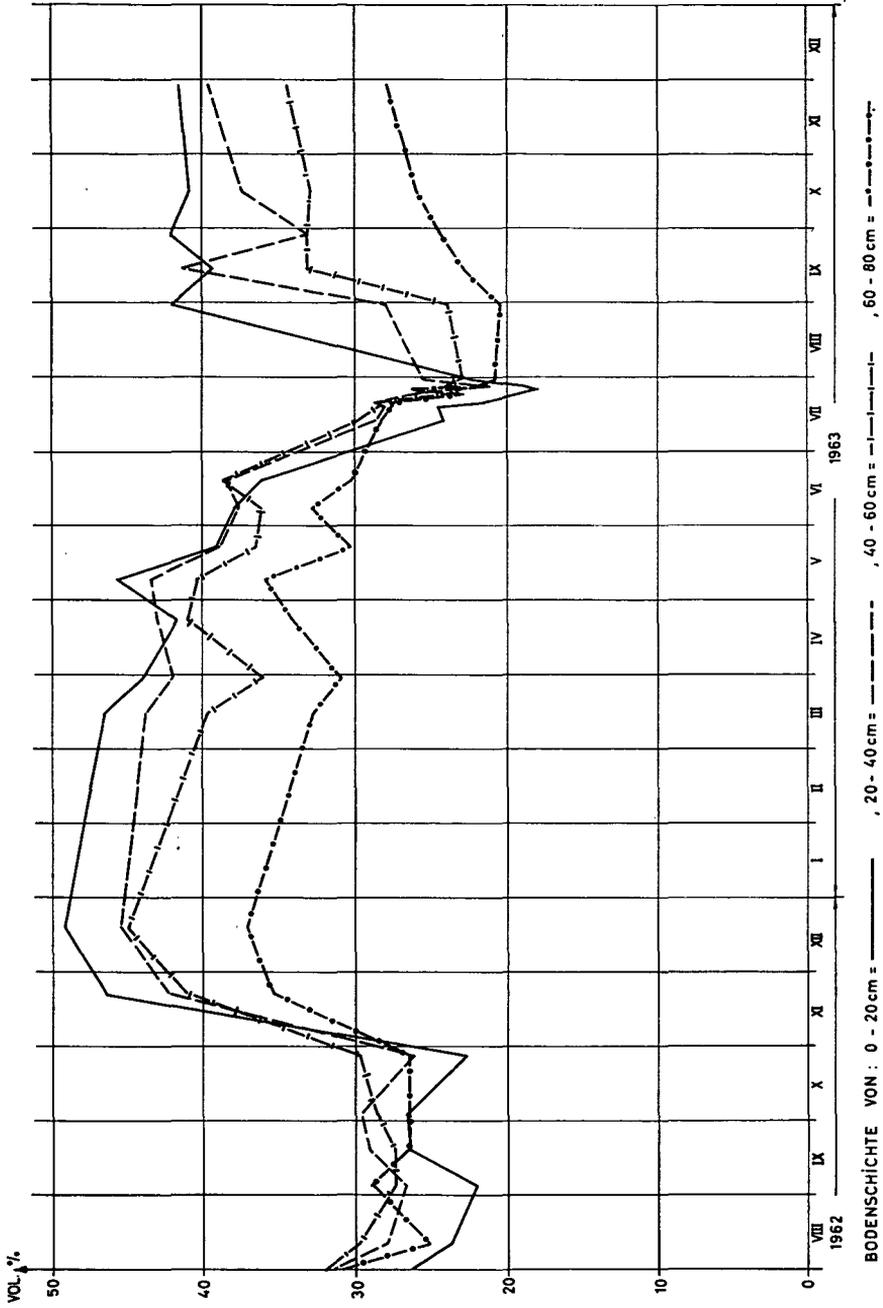


Abb. 5

Zur pflanzenbaulichen Beurteilung des Ganges der BF sei auf den Abschnitt über den Sättigungsgrad des Bodens an pflanzenverfügbarem Wasser, beurteilt nach dem Feuchtigkeitsindex von ROHDE, verwiesen (vgl. Tab. 7).

Der Gang der Bodenfeuchte auf dem berechneten Teil der Versuchsfläche im Vergleich zum unberechneten Teil (vgl. Abb. 6, 7)

Die Versuchsparzelle umfaßt insgesamt 1000 m², davon wurden 500 m² zur Anlage des Berechnungsversuches verwendet. Es wurden zwei gleich berechnete Teilstücke mit drei nicht berechneten Parzellen verglichen (40 m² groß, schachbrettartige Anordnung).

Als erste Regengabe wurden am 10. 6. 1963 10 mm Regen/m² aufgebracht. Zwar stieg dadurch die BF gegenüber den unberechneten Teilstücken nur wenig an, aber der Klee hatte sich durch die Berechnung deutlich besser entwickelt. Da am 12. 7. nur mehr unter 40 cm Tiefe pfl. W. vorhanden war, wurden am 17. 7. abends und am 18. 7. 1963 morgens jeweils je 15 mm verregnet. Die Probenahme am 18. 7. ergab eine Zunahme der BF zwischen 0 und 40 cm Tiefe und darunter eine Abnahme der BF. Am 19. 7. 1963 war die Differenz zwischen beregnet und nicht beregnet weiter angewachsen. Am 23. 7. 1963 war auf der unberechneten Fläche kein pfl. W. zwischen 0 und 80 cm festzustellen, während auf der berechneten Parzellen wenigstens von 60 bis 80 cm noch etwas Wasser verfügbar war. Am 24. 7. 1963 brachte ich abends innerhalb von 2 Stunden 68 mm Regen auf die Versuchsparzellen. Nach dem Aufbringen des Wassers waren weder Wasserlachen noch Verschlammungserscheinungen zu erblicken, was wohl dem gut entwickelten Kleebestand zu verdanken war, da bei einem weniger dicht geschlossenen Pflanzenbestand sicher Verschlammungserscheinungen aufgetreten wären. Auch W. BROUWER (1959) berichtet, daß ein dicht geschlossenes Blätterdach eine Verschlammung bei starken Regengaben verhindert. Am nächsten Tag ergab sich dadurch eine feststellbare Wasserauffüllung von 58,4 mm und die Differenz zwischen beregnet und unberegnet war auf 85,4 mm angewachsen, denn an diesem Tag war auf der unberechneten Parzelle das Stadium der größten Auströcknung erreicht, während auf den Berechnungsparzellen 44,4 mm Wasser pflanzenverfügbar waren. Der N am 29. 7. 1963 zeigte, daß man bei der Beregnung unter der FK bleiben muß, da der Regenfall von 8 mm im A_p eine gewisse Vernässung verursachte. In der Folgezeit wurden dann keine weiteren Regengaben mehr gegeben. Infolgedessen und wegen der Mitte August einsetzenden Regenfälle konnte bei der Untersuchung des aktuellen Wassergehaltes am 30. 8. 63 kein Unterschied zwischen beregnet und unberegnet festgestellt werden.

In meinem Versuch bestimmte ich die Regenmenge als Differenz zwischen der aktuellen Feuchtigkeit und der erwünschten Wassermenge, also 50 bis 80% der nutzbaren Wasserkapazität (vgl. J. V. Botelho da Costa 1954). Ich konnte feststellen, daß die Vermehrung der BF in mm annähernd der Regengabe in mm entsprach.

Der Sättigungsgrad des Bodens mit pflanzenverfügbarem Wasser, beurteilt nach dem elementaren Feuchtigkeitsindex

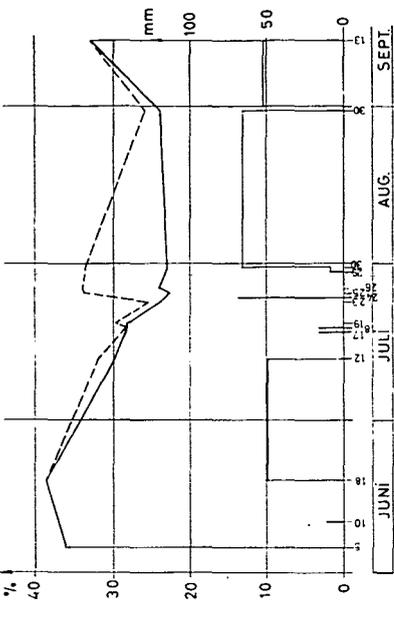
Der Sättigungsgrad des Bodens mit pfl. W., konventionell der elementare Feuchtigkeitsindex (I_e), entspricht der Gleichung:

$$I_e = \frac{F - WF}{NK} \cdot 100$$

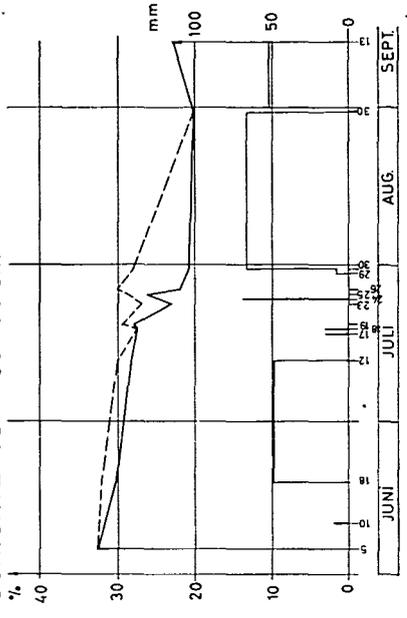
F ... BF in Vol. %
WF ... BF beim WP
NK ... nutzbare Kapazität

Mit der Einwertung nach C. D. CHIRITA (1964) ergeben die Indices ein gutes Bild über den Feuchtezustand der Versuchsparzellen (Tab. 7).

WASSERGEHALT DES UNBEREGNETEN UND BEREGNETEN BODENS IN VOLUMSPROZENTEN.
 SCHICHTE VON 40-60 cm



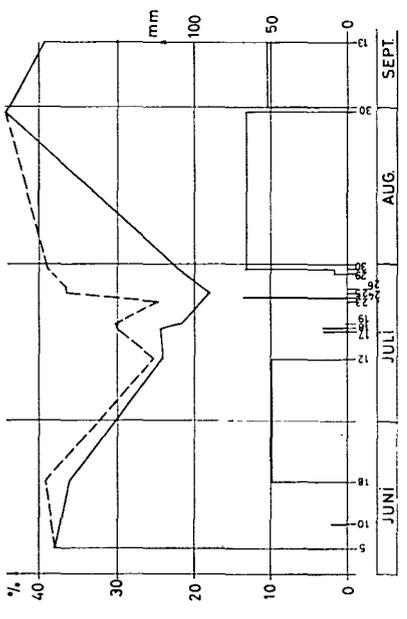
SCHICHTE VON 60-80 cm



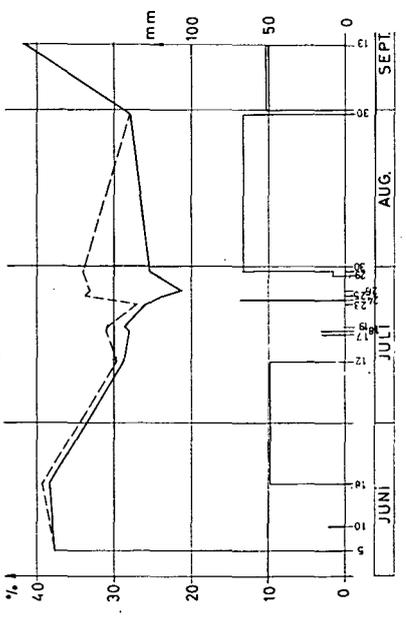
— UNBEREGNET | BEREGNUNG in mm
 --- BEREGNET □ NIEDERSCHLAG in mm

Abb. 7

WASSERGEHALT DES UNBEREGNETEN UND BEREGNETEN BODENS IN VOLUMSPROZENTEN.
 SCHICHTE VON 0-20 cm



SCHICHTE VON 20-40 cm



— UNBEREGNET | BEREGNUNG in mm
 --- BEREGNET □ NIEDERSCHLAG in mm

Abb. 6

I ... Index 0... unaufnahmebares Wasser
 A₁... Index 0 - 20... schwer aufnehmbares Wasser, beginnendes Welken (7-15 at)
 A₂... Index 20 - 50... ziemlich schwer aufnehmbares Wasser, gehemmte Pflanzenentwicklung (1-7 at)
 A₃... Index 50 - 90... leicht aufnehmbares Wasser
 A₄... Index 90 - 100... Feuchtigkeit nahe der DFK.
 E ... Index >100... Feuchtigkeit über der FK.

Die Gegenüberstellung der Indices für die unberechneten (ub) und für die berechneten (b) Parzellen zeigt, daß durch die gegebenen Regenmengen zwar im A_{1p} ein Vorrat von pfl. W. geschaffen werden konnte, daß aber diese Mengen nicht ausreichten, um auch die tieferen Bodenschichten mit leicht aufnehmbarem Wasser zu versehen (Tab. 7).

Tabelle 7
 Der elementare Feuchtigkeitsindex nach C. D. CHIRITA (1964)

Datum	0 - 20 cm		20 - 40 cm		40 - 60 cm		60 - 80 cm	
	ub	b	ub	b	ub	b	ub	b
14. 3. 63	113,0		74,0		49,5		44,9	
22. 4. 63	84,2		69,9		55,4		52,8	
8. 5. 63	107,5		71,9		52,0		62,5	
5. 6. 63	62,3	62,3	42,8	42,8	31,9	31,9	44,9	44,9
18. 7. 63	<0	18,8	<0	9,7	<0	<0	15,3	14,8
19. 7. 63	<0	26,0	<0	9,3	<0	1,0	16,5	26,1
23. 7. 63	<0	<0	<0	<0	<0	<0	<0	11,4
25. 7. 63	<0	54,6	<0	24,0	<0	21,1	7,4	22,2
26. 7. 63	<0	54,6	<0	20,4	<0	22,1	<0	30,1
30. 7. 63	<0	69,5	<0	19,9	<0	20,1	<0	18,2
30. 8. 63	87,1	87,1	<0	<0	<0	<0	<0	<0
13. 9. 63	70,6	70,6	61,7	61,7	17,1	17,1	<0	<0
14. 10. 63	79,5		41,8		16,2		6,2	
28. 11. 63	83,5	53,1	53,1		23,6		17,6	

Ergebnisse des Berechnungsversuches

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, daß es möglich ist, die Berechnung bodenkundlich richtig zu dosieren, wenn man die Grenzwerte, wie die FK und den WP kennt. In meinem Versuche stellte ich die Regenmenge als Differenz zwischen der aktuellen BF und der geforderten Wassermenge (50 bis 80% der nutzbaren Kapazität) fest. Es genügt aber nicht, nur den Wassergehalt der obersten Bodenschicht zu beobachten, denn meine Untersuchungen wie auch die Ergebnisse von W. CZERATZKI (1961) und O. NESTROY (1961) sprechen dafür, daß die Pflanzen bis zu einer Tiefe von 80 cm und darunter Wasser entnommen haben. Dies führt zu der Schlußfolgerung, daß so große Regenmengen gesendet werden müssen, daß auch die tieferen Bodenschichten mit Wasser aufgefüllt werden, wie dies beim Versuch durch Zufuhr von 68 mm Kunstregen (vgl. Abb. 6, 7) geschehen ist. Die Bemessung dieser ungewöhnlich hohen Regengabe erfolgte einerseits wegen des Wasserdefizites im Boden und andererseits in Berücksichtigung der Untersuchungen W. BROUWERS (1961), die für eine tiefere Durchfeuchtung mindestens 40 mm Kunstregen vorschreiben. Wie das Aufbringen zu geringer so ist auch die Zufuhr zu großer Regenmengen nicht bloß unzuweckmäßig sondern sogar schädlich, denn dadurch wird in tagwasserstauenden Böden Wasserstau und mangelhafte Durchlüftung bewirkt und außerdem ergeben sich ungünstige Nebenwirkungen auf die Bodenstruktur. Eine planmäßige Berechnung hat demnach die Kenntnis des aktuellen Wassergehaltes im durchwurzelten Anteil des Bodenprofils und die Dosierung der Regenmengen nach diesem zur Voraussetzung.

Zusammenfassung der Ergebnisse

1. Auf einem primären Pseudogley wurden die den Wasserhaushalt bestimmenden physikalischen Bodeneigenschaften untersucht. Dabei ergab sich, daß die Poren des A_p nicht an die Poren des S_zS_k anschließen, denn trotz größeren Porenvolumens im S_zS_k entsteht im A_p bei höherer BF ein Wasserstau.

2. Die periodischen Feststellungen der BF ergaben, daß der Versuchsboden im Dezember 1962 im A_p voll gesättigt war und im S_zS_k und im S_k die FK überschritten hatte. Im Frühjahr 1963 blieb die BF bis Mitte Mai über der FK, von Mitte Mai bis Anfang Juli sank die BF von der FK bis zum WP, von Anfang Juli bis Mitte August wurde der WP dauernd unterschritten. Die Mitte August einsetzenden Regenfälle feuchteten den Boden dann wieder über die FK hinaus an, jedoch wurde im Herbst 1963 keine Bodenschicht voll mit Wasser gesättigt.

3. Die Bodenwassermessungen ergaben, daß der angebaute Alexandrinerklee dem Boden bis zu einer Tiefe von über 80 cm Wasser entzog.

4. Die Beregnungsversuche zeigten, daß es möglich ist, den Feuchtezustand des Bodens auf Grund der Beobachtung der BF zu lenken.

5. Mit einer Regengabe von 68 mm konnte in kurzer Zeit bis zu einer Tiefe von 80 cm eine Anfeuchtung erzielt werden.

- BOODT, M., DE: Bijdrage tot de kennis van de bodemstructuur, Diss., Rijkslandbouwhogeschool Gent, 1957, S. 10 - 38.
- BROUWER, W.: Die Feldberegnung, 4. Aufl., DLG-Verlag, Frankfurt 1959.
- CHIRITA, C. D.: Die Erforschung der Bodenfeuchtigkeitsregime und ihre Klassifikation für ökologische Zwecke. Die Bodenfeuchtigkeitsindexe. VIII. internat. Kod. Kongr., Bodenphysik S. 258 - 260, Bukarest 1964.
- COSTA, DA, BOTELHO J. V.: Aspects des relations sol-eau-plante. V. int. bod. Kongr., S. 1 - 15, Leopoldville 1954.
- CZERATZKI, W.: Die Beregnung der Zuckerrübe nach der Bodenfeuchte. Zucker, 14. Jahrg., S. 244 - 249, 1961.
- FINK, J.: Die Südostabdachung der Alpen; Mitt. Österr. Bod. Ges. Heft 6, 1961, Seite 123 - 183. .
- FRANZ, H.: Feldbodenkunde, Verlag Georg Fromme, Wien - München 1960.
- KOPEZ, L. M.: Beregnung im Dienst des Pflanzenbaues. Die Bodenkultur, S. 199 - 208, Wien 1955.
- KORTE, W.: Klimatische Wasserbilanz - ein Hilfsmittel zur Steuerung der Feldberegnung. Landbau-forschung Völknerode, S. 90 - 92, 8. Jahrgang, 1958.
- NESTROY, O.: Jahreszyklische Schwankungen des Wassergehaltes in zwei niederösterreichischen Lößböden. Mitt. d. Österr. Bodenk. Ges., S. 43 - 55, Wien 1961.
- RAMSAUER, B.: Österreichische Wasserwirtschaft, 1 (1949): S. 49 - 81.
- RICHARD, L. A.: Soil Science, Bd. 66, S. 105 - 111, 1948.
- Soil Science, Bd. 68, S. 95 - 112, 1949.
- SOLAR, F.: Jüngste Formung, Bodenbildung und Standorte im Bereich der Taulauen des Gleisdorfer Raumes. Mitt. Naturw. V. Stm., Bd. 93, S. 89 - 111, 1963.
- SUPERSPERG, H.: Die Dürreperiode 1962. Ö. Wasserwirtsch., H. 1/2, S. 12 - 15, 1963.
- Die Dürreperiode 1963. Ö. Wasserwirtsch., H. 3/4, S. 79 - 83, 1964.

Bodenphysikalische Untersuchungen an einem Tschernosem in Wilfersdorf, Niederösterreich

(Ergänzende Untersuchungen zum Bericht: Jahreszyklische Schwankungen des Wassergehaltes in zwei niederösterreichischen Lößböden; diese Zeitschrift Heft 5, 1961)

von O. NESTROY

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

Die vorliegende Arbeit wurde auf Anregung von Herrn Prof. Dr. Dipl. Ing. H. FRANZ durchgeführt. Ich darf Herrn Prof. FRANZ, Herrn Doz. Dr. W. LOUB und Dipl. Ing. Dr. H. MÜLLER für ihr Entgegenkommen sowie Herrn Direktor Dr. F. BLÜMEL für die Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit an dieser Stelle den herzlichsten Dank aussprechen.

In den Jahren 1958 und 1959 wurden vom Verfasser periodische Messungen des Wassergehaltes von Lößböden bis zu einer Tiefe von 180 cm vorgenommen und die Ergebnisse im ersten Bericht (O. NESTROY 1961) veröffentlicht. Schon damals war es beabsichtigt, die laufenden Einzelmessungen des Bodenwassergehaltes durch Bestimmung der pF-Kurve — vor allem der Feldkapazität und des permanenten Welkepunktes — genauer zu interpretieren. Dieses Vorhaben wurde durch verspätete Lieferung der ausländischen Bauteile der pF-Apparatur und Schwierigkeiten bei der Installation verteilt. Es können daher erst jetzt die pF-Werte dem Profil von Wilfersdorf beigelegt und die gewonnenen Meßergebnisse diskutiert werden.

Das Schwergewicht der Auswertung liegt — neben der Bestimmung der wichtigen Grenzwerte, wie Feldkapazität und permanenter Welkepunkt — in der Erfassung der Porenverteilung und des Wasserversorgungsgrades der Vegetation während der beiden Beobachtungsjahre.

H. BRONNER (1963) führte von 1959 bis 1961 Untersuchungen über die Bodenfeuchte im Raume von Linz mit ähnlicher Zielsetzung durch. Aus dieser äußerst informativen Arbeit sind vom Verfasser für Vergleichszwecke verschiedene Daten übernommen worden. Dieser Vergleich ist deshalb besonders interessant, weil Untersuchungsergebnisse von Böden aus gleichem Substrat (Löß), jedoch in verschiedenen Naturräumen (trockene Lößlandschaft und nördliches Alpenvorland) zur Diskussion stehen.

Probenahme und Untersuchungsmethoden

Die Probenahme für die Bestimmung der pF-Werte erfolgte am 18. IV. 1964. Das Feld war un bebaut und befand sich durch Sickerwasser von der Schneeschmelze sowie reichliche Niederschläge in einem Feuchtigkeitszustand nahe der Feldkapazität. Die Proben selbst wurden mittels Messingringen von etwa 7,5 cm Durchmesser und 2 cm Höhe sorgfältig entnommen und sofort im Labor untersucht.

Bei der Durchlässigkeitsbestimmung sind für die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der aktuelle Wassergehalt und Quellungszustand der entnommenen Probe von besonderer Bedeutung. Mit Rücksicht auf diese Vorbedingungen konnten erst am 13. XI. 1964 die Proben entnommen werden. Zu diesem Zeitpunkt befand sich das Feld durch die Niederschläge der vorangegangenen Wochen etwa im Zustand der Feldkapazität. Aus drei

Tiefen wurde in fünffacher Wiederholung das Bodenmaterial in 200 cm³ fassende Stahlzylinder in natürlicher Lagerung nach Petzenkirchen gebracht und dort weiter untersucht.

Die Laboratoriumsuntersuchungen wurden nach folgenden Methoden durchgeführt: Bei der Schlämmanalyse wurde zusätzlich eine Naßsiebung durch ein Sieb mit 50 μ Maschenweite vorgenommen und so insgesamt fünf Fraktionen bestimmt. Die Ermittlung der pF-Werte wurde mit Hilfe der pF-Apparatur durchgeführt; die Werte für 0,3 und 1 at im Niederdrucktopf, die für 15 at zwischen den Hochdruckplatten. Die Durchlässigkeitsbestimmung wurde an Stechzylinderproben in ungestörter Lagerung vorgenommen, indem auf die in den Stechzylindern befindliche Bodenprobe eine Wassersäule bestimmter Höhe aufgebracht und hierauf die Absinkgeschwindigkeit der Wassersäule gemessen wurde. Die Auswertung der Meßdaten erfolgte nach der Formel für Durchlässigkeitsbestimmungen mit veränderlicher Druckhöhe.

Untersuchungsergebnisse

Als Grundlage für weitere Berechnungen und in Ergänzung zu den in meinem ersten Bericht gegebenen Werten sind in Tabelle 1 die wichtigsten Analysendaten von Wilfersdorf nochmals zusammengefaßt.

Tabelle 1
Analysendaten zum Tschernosem von Wilfersdorf

Tiefe cm	Schlämmanalyse					organische Substanz	CaCO ₃
	< 2 μ	2 – 20 μ	20 – 50 μ	50 – 200 μ	200 – 2000 μ		
	in Gewichtsprozenten des Feinbodens						
0 – 19	24,5	30,6	33,2	10,0	1,7	2,3	9,6
19 – 35	27,5	27,7	35,2	8,4	1,2	1,7	12,4
35 – 45	23,8	30,4	35,9	8,8	1,1	0,6	29,4
45 – 170	15,6	27,7	40,4	15,1	1,2	Spuren	29,8

Hier tritt deutlich der hohe Anteil der Fraktion von 20–50 μ , der für den Löß charakteristisch ist, hervor.

Mittels der pF-Apparatur wurden an Proben in ungestörter Lagerung die Wassergehalte bei einer Saugspannung von 0,3, 1 und 15 at bestimmt. Die Daten dieser Messungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Werte dienen in erster Linie zur Festlegung der oberen und unteren Grenzwerte des Wasserspeichervermögens eines Bodens. Daneben besteht die Möglichkeit, aus der Differenz der Wassergehalte bei Feldkapazität und

Tabelle 2
Wassergehalt bei Feldkapazität und permanentem Welkepunkt, nutzbare Kapazität;
in Volumsprozentsen

Tiefe in cm	10 Feld- kapazität	3	0,2 permanenter Welkepunkt	nutzbare Kapazität
0 – 19	30,9	25,3	17,0	13,9
19 – 45	34,4	28,4	16,9	17,5
45 – 170	27,1	22,6	13,5	13,6

permanentem Welkepunkt die nutzbare Kapazität numerisch zu ermitteln; sie kann im vorliegenden Fall, bedingt durch den hohen Schluffanteil und die günstige Lagerung, als ausreichend für die Speicherung von Niederschlägen und die Wasserversorgung der Vegetation angesehen werden.

Tabelle 3 enthält die physikalischen Bodendaten bei Feldkapazität. Das Raumentrockengewicht (= das Gewicht des ofentrockenen Bodens in seiner natürlichen ungestörten Lagerung) liegt allgemein um $1,3 \text{ kg/dm}^3$. Im vorliegenden Fall ist die Krume locker gelagert, darunter (im Bereich von 19–45 cm) tritt eine schwache Verdichtung auf. In der Profilbeschreibung und auf Abbildung 1 ist diese schwache Verdichtung ebenfalls deutlich erkennbar. Der Löß (von 45–170 cm) weist wiederum eine sehr günstige Lagerung auf.

Tabelle 3
Boden-, Wasser-, Luftverhältnis bei Feldkapazität

Tiefe cm	Raumentrocken- gewicht kg/dm^3	Gesamt- porenvolumen	Boden in % des Bodenvolumens	Wasser	Luft
0 – 19	1,24	51	49	31	20
19 – 45	1,50	45	55	34	11
45 – 170	1,42	53	47	27	26

Das Gesamtporenvolumen (= die Summe aller Hohlräume des Bodens, mit Luft oder Wasser gefüllt) bringt nochmals die schwache Verdichtung und die günstige Lagerung des Lösses zum Ausdruck.

Das Boden-, Wasser-, Luftverhältnis ist folgendes zu bemerken: das Bodensubstanzvolumen steht im Mittel der allgemeinen Richtwerte. Besonders deutlich (vgl. auch Abbildung 1) tritt hier die schon erwähnte schwache Verdichtung in Erscheinung.

Die Wassergehalte bei Feldkapazität (ausgedrückt in Volumsprozenten) zeigen von 0–19 cm und von 19–45 cm nahezu gleiche Werte, der darunterliegende Löß dagegen

Boden-, Wasser-, Luftverhältnis bei Feldkapazität

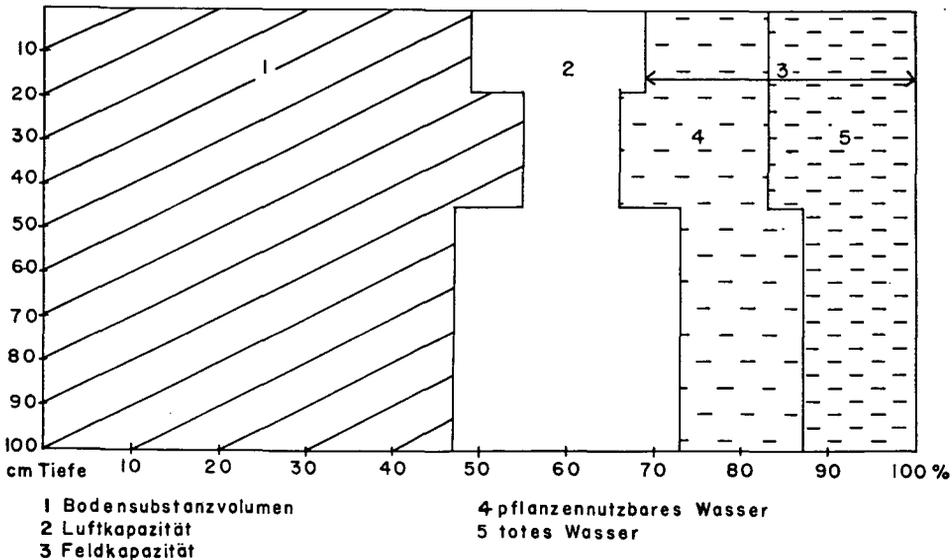


Abb. 1

einen etwas geringeren Wert. Interessant sind die Werte der Luftkapazität (des Luftvolumens bei Feldkapazität). In keinem Horizont, auch nicht im Bereich von 19–45 cm, wird der kritische Wert von 10% unterschritten. Nach Don KIRKHAM (1958) treten bei Unterschreitung des Grenzwertes von 10% Luftvolumen Wachstumsstörungen auf; diese sind im vorliegenden Fall nicht zu befürchten.

In Zusammenhang mit den experimentell ermittelten Werten der pF-Kurve bilden die nach Formeln errechneten Werte einen interessanten Vergleich (Tabelle 4).

L. DE LEENHEER (1961) stellte nach umfangreichen Untersuchungen zwei Formeln zur Berechnung des Wassergehaltes in Gewichtsprozenten bei Feldkapazität und permanentem Welkepunkt auf; als Unterlage zur Berechnung dienen die Daten der Schlämmanalyse sowie der Kalk- und Humusgehalt. Die Formel zur Berechnung des Wassergehaltes bei Feldkapazität nach DE LEENHEER lautet:

$$\begin{aligned} \text{Wassergehalt} &= 0,40. \text{G}\% \text{ Rohton } (< 2 \mu) \\ &+ 0,26. \text{G}\% \text{ Staubsand } (60-20 \mu) \\ &+ 0,43. \text{G}\% \text{ Kalk} \\ &+ 3,22. \text{G}\% \text{ organische Substanz} \\ &+ 0,29 \text{ (Additionskonstante)} \end{aligned}$$

Die Berechnung des Wassergehaltes eines Bodens bei permanentem Welkepunkt ist nach DE LEENHEER nach folgender Formel möglich:

$$\begin{aligned} \text{Wassergehalt} &= 0,36. \text{G}\% \text{ Rohton } (< 2 \mu) \\ &+ 0,04. \text{G}\% \text{ Staubsand } (60-20 \mu) \\ &+ 0,20. \text{G}\% \text{ Kalk} \\ &+ 0,85. \text{G}\% \text{ organische Substanz} \\ &+ 0,67. \text{ (Additionskonstante)} \end{aligned}$$

Neben dieser formelmäßigen Berechnung der Feldkapazität und des permanenten Welkepunktes nach DE LEENHEER sind in Tabelle 4 auch die Werte, ermittelt nach den Formeln von A. COMBEAU und P. QUANTIN (1963), vergleichsweise angeführt. Nach diesen Autoren lassen sich die Bodenwassergehalte in Gewichtsprozenten bei Saugspannungen von 0,3, 1 und 15 at auf Grund des Fraktionsanteiles $< 20 \mu$ und des Gehaltes an organischer Substanz ermitteln.

Die Formeln von COMBEAU und QUANTIN lauten:

$$\begin{aligned} \text{Wassergehalt} &= 0,38. \text{G}\% \text{ Fraktion } < 20 \mu \\ \text{bei 0,3 at (Feldkapazität)} &+ 2,33. \text{G}\% \text{ organische Substanz} \\ &- 1,8 \text{ (Subtraktionskonstante)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wassergehalt} &= 0,32. \text{G}\% \text{ Fraktion } < 20 \mu \\ \text{bei 1 at} &+ 1,81. \text{G}\% \text{ organische Substanz} \\ &- 1,0 \text{ (Subtraktionskonstante)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Wassergehalt} &= 0,26. \text{G}\% \text{ Fraktion } < 20 \mu \\ \text{bei 15 at} &+ 1,15. \text{G}\% \text{ organische Substanz} \\ \text{(permanenten Welkepunkt)} &- 1,7 \text{ (Subtraktionskonstante)} \end{aligned}$$

Tabelle 4
Wassergehalt bei 0,3, 1 und 15 at, gemessen und berechnet;
in Gewichtsprozenten Wasser

Tiefe cm	0,3 at = Feldkapazität		1 at		berechnet nach Combeau	15 at = permanenten Welkepunkt		
	gemessen	berechnet nach de Leenheer Combeau	gemessen	berechnet nach de Leenheer Combeau		gemessen	berechnet nach de Leenheer Combeau	
0 - 19	24,9	30,3	24,5	20,4	20,8	13,7	14,7	15,3
19 - 45	22,9	31,2	23,1	18,9	19,7	11,3	15,9	14,6
45 - 170	19,1	29,8	14,7	15,9	12,9	9,5	13,9	9,6

Die Gegenüberstellung der gemessenen und rechnerisch ermittelten Werte zeigt einige interessante Momente, die hier nur kurz skizziert seien. Bei der Feldkapazität ist die gute Übereinstimmung der gemessenen und nach COMBEAU und QUANTIN errechneten Werte auffallend, während die nach DE LEENHEER errechneten Werte etwas höher liegen. Auch BRONNER (1963) konnte in seiner Arbeit diese Tendenz feststellen; die Ursache dürfte im hohen Kalkgehalt der Proben und in einer zu starken Bewertung des Kalkes in den Formeln zur Berechnung der beiden Kenndaten zu suchen sein.

Beachtenswert gut liegen die gemessenen und berechneten Werte für 1 at Saugspannung beieinander; nur im Löß ergibt sich eine geringe Differenz.

Auch bei den Werten für den permanenten Welkepunkt ist eine allgemeine Übereinstimmung — mit einer Ausnahme — feststellbar. Dies ist umso erfreulicher, da die Ermittlung des Wassergehaltes bei 15 at apparativ und analytisch einigen Aufwand erfordert, der permanente Welkepunkt aber für die Gesamtbeurteilung des Standortes eine nahezu unumgänglich notwendige Kennzahl darstellt. Der nach DE LEENHEER errechnete Wert fällt etwas aus der Reihe; hier dürfte wiederum der hohe Kalkgehalt (29,8%) verantwortlich sein.

Zusammenfassend ist meines Erachtens zu bemerken, daß durch die oben angeführten Formeln ein gangbarer Weg zur rein rechnerischen Ermittlung dieser wichtigen Bodenkennzahlen gegeben ist. Es ist aber angezeigt, durch gezielte Stichproben von repräsentativen Flächen und Profilen den tatsächlichen Anwendungsbereich dieser Formeln zu überprüfen, bzw. einzuengen.

Zwischen einer bestimmten Saugspannung, der eine Probe ausgesetzt ist, und dem Durchmesser jener Poren, die bei diesem Druck noch entwässert werden, besteht eine mathematische Beziehung. Sie läßt sich in der Formel

$$d = \frac{2 \cdot a}{10 \cdot p}$$

ausdrücken.

d = Äquivalentdurchmesser der bei einem bestimmten Druck entleerten Poren in μ

a = Kapillaritätskonstante = 14,82

p = Saugspannung in at

Wird die gewünschte Saugspannung in die obige Gleichung eingesetzt, dann erhält man folgende Beziehungen.

Saugspannung in at	Saugspannung in pF	Äquivalentdurchmesser der größten noch entwässerten Poren in μ
0,1	2,0	30
0,3	2,5	10
1,0	3,0	3
15,0	4,2	0,2

Auf Grund dieser Wechselbeziehung von pF-Wert und Porendurchmesser läßt sich aus der Differenz der Wassergehalte bei steigender Saugspannung das Volumen der einzelnen Porenklassen ermitteln. In Tabelle 5 sind das Gesamtporenvolumen und die Volumina von vier Porengrößenklassen zusammengestellt. Das Volumen der Poren mit einem Durchmesser von mehr als 10 μ ist bemerkenswert: im Bereich von 19–45 cm beträgt es etwa nur die Hälfte der begrenzenden Horizonte; das Volumen der Poren mit

Tabelle 5
Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung

Tiefe cm	Gesamt- porenvolumen	>10 μ in % des Bodenvolumens	Porengrößen		
			10–3 μ	3–0,2 μ	<0,2 μ
0–19	51	20	6	8	17
19–45	45	11	6	11	17
45–170	53	26	4	9	14

dem Durchmesser $<0,2 \mu$ ist in den oberen zwei Horizonten gleich und nimmt erst unter 45 cm Tiefe deutlich ab.

Die Porengrößenverteilung kann in ihrer vollen Bedeutung jedoch erst dann gebührend beurteilt werden, wenn die Funktion jeder der hier angeführten Größenklassen richtig beleuchtet wird.

F. SEKERA (1938, 1938a) hat eine Einteilung der Bodenporen vorgenommen und ihre funktionelle Bedeutung eingehend erläutert. Nach SEKERA wird „mit 1 at die Grenze zwischen dem dynamisch wirksamen und dem dynamisch unwirksamen Anteil des Porenvolumens gezogen“ und jener Wassergehalt, der sich bei einer Saugspannung von 1 at im Boden einstellt, als „Kritischer Wassergehalt“ bezeichnet. Die Einteilung erfolgt in grobe Kapillaren (Äquivalentdurchmesser $>30 \mu$)
mittlere Kapillaren (Äquivalentdurchmesser $3–30 \mu$)
feine Kapillaren (Äquivalentdurchmesser $<3 \mu$).

In den groben Kapillaren befindet sich das „leicht bewegliche Wasser“, das rasch absickert und dräniert werden kann. Der Anteil von groben Kapillaren ist ein Maßstab für die Bodendurchlüftung und Auswaschung. In den mittleren Kapillaren steht das „normal bewegliche Wasser“, dem die Hauptrolle bei der Wasserversorgung der Vegetation zufällt und das von der Pflanze sparsam verbraucht wird. Schließlich sind die feinen Kapillaren mit „trägbeweglichem Wasser“ erfüllt; es verursacht — allein angeboten — eine dauernde Depression der Transpiration. Da „mit einer Saugspannung von 1 at dem Boden alles bewegliche Wasser entzogen“ wird, hat SEKERA (1938) folgende zwei Gruppen erstellt:

leicht u. normal bewegliches Wasser = dynamisch wirksamer Kapillarraum des Bodens
trägbewegliches Wasser = dynamisch unwirksamer Kapillarraum d. Bodens

Die zahlenmäßigen Anteile dieser Gruppen sind Tabelle 6 zu entnehmen.

Ein anderes Einteilungsschema für die Bodenporen in funktionelle Klassen besitzen wir von P. SCHACHTSCHABEL (1959). Es wird hier folgende Einteilung vorgenommen:

grobe Poren (Äquivalentdurchmesser $>10 \mu$)
mittlere Poren (Äquivalentdurchmesser $10–0,2 \mu$)
feine Poren (Äquivalentdurchmesser $<0,2 \mu$)

Die groben Poren sind selbstdränende Poren, da sich in ihnen das Sickerwasser bewegt; es ist nur zu einem sehr geringen Teil pflanzennutzbar. Die mittleren Poren halten entgegen der Schwerkraft das Wasser im Boden zurück und liefern das pflanzenverfügbare Wasser. Das Wasser in den feinen Kapillaren ist hingegen weder durch Schwerkraft noch durch die Saugspannung entfernbar; dieser Wasseranteil wird daher auch „totes Wasser“ genannt. Die groben Poren werden auch als Makroporen, die mittleren und feinen Poren als Mikroporen bezeichnet.

Eine Bestätigung dieser numerischen und funktionellen Porengrößeneinteilung gibt Ch. LANGNER (1965). Sein Bericht zeigt, daß die Bestimmung der Volumsanteile an Grob-, Mittel- und Feinporen, ergänzt durch die Bodentextur, eine gesicherte Aussage über die statischen Wasserverhältnisse eines Standortes ermöglicht.

Eine Aufteilung des Gesamtporenvolumens in die oben genannten Klassen enthält Tabelle 6.

Tabelle 6

Porengrößenverteilung in Klassen nach SEKERA und SCHACHTSCHABEL in % des Bodenvolumens

Tiefe cm	Gesamt- porenvolumen	nach SEKERA		
		grobe und mittlere Kapillaren $D > 3 \mu$	feine Kapillaren $D < 3 \mu$	
0 – 19	51	26	25	
19 – 45	45	17	28	
45 – 170	53	30	23	

Tiefe cm	Gesamt- porenvolumen	nach SCHACHTSCHABEL		
		grobe Poren $D > 10 \mu$	mittlere Poren $D 10 - 0,2 \mu$	feine Poren $D < 0,2 \mu$
0 – 19	51	20	14	17
19 – 45	45	11	17	17
45 – 170	53	26	13	14

Der funktionell wichtige Anteil an mittleren Poren ist in der Krume und im Löß fast gleich, in den dazwischenliegenden Horizonten dagegen etwas höher. Der hohe Anteil an mittleren Poren verleiht dem Boden eine große und auch für Dürreperioden ausreichende Speicherkraft. Die hohen Erträge während der Untersuchungsjahre und der — wie wir später sehen werden — gute Versorgungsgrad in diesen beiden Jahren geben hierfür einen deutlichen Beweis. Verhältnismäßig hoch liegt der Prozentsatz der feinen Poren.

Als Abschluß dieses Kapitels sei noch auf Tabelle 7 hingewiesen. Der Wasserdurchfluß ist rascher als erwartet. Die Durchflußgeschwindigkeit erreicht ihre höchsten Werte in der Krume und nimmt mit der Tiefe allmählich ab. Eine Parallelität zum Anteil der dynamisch wirksamen Poren (nach SEKERA) und der groben Poren (nach SCHACHTSCHABEL) ist nur bis etwa 45 cm feststellbar.

Tabelle 7
Wasserdurchflußgeschwindigkeit

Tiefe cm	Zahl der Wiederholungen	Wasserdurchfluß m/Tag $M \pm m$
0 – 19	5	$0,94 \pm 0,26$
19 – 45	5	$0,37 \pm 0,16$
45 – 170	5	$0,26 \pm 0,037$

Nach der Bestimmung, tabellarischen Zusammenstellung und Besprechung der physikalischen Meßdaten, die gewissermaßen den statischen Rahmen für eine kritische Beurteilung der Wasserbewegung im Boden darstellen, sollen im folgenden Kapitel die jahreszyklischen Schwankungen des Wassergehaltes von Wilfersdorf in diesen Rahmen gestellt und beurteilt werden. Das Schwergewicht der Überlegungen liegt auf dem Abschnitt Versorgungsgrad und bei einem Vergleich mit einem Standort im nördlichen Alpenvorland.

Zunächst einige Bemerkungen zu den Bodenwassergehaltskurven von Wilfersdorf vom Jahre 1958 in Verbindung mit den Grenzwerten Feldkapazität und permanentem Welkepunkt (vgl. Abbildung 2 und Tabelle 8). In der Krume wird die Feldkapazität nur zu zwei Untersuchungsterminen (28. X. und 25. XI.) überschritten; im Bereich von 19–45 cm wird sie zu keinem Termin erreicht. Im reinen Löß (von 45 cm–170 cm) liegen im oberen Drittel fast alle Wassergehalte oberhalb der Feldkapazität. Ein gewisser Stau, gekennzeichnet durch starke Abnahme der Durchlässigkeit, könnte als Ursache angesehen werden.

Der kritische Wassergehalt wurde zu keinem Untersuchungstermin erreicht oder unterschritten.

Nicht unerwähnt sollen die Wassergehaltslinien bei 1 at Saugspannung bleiben. Sie liegen nahezu im Mittel der Feuchtelinien, d. h. der Wassergehalt des Bodens hat mehrmals im Jahr diesen Wert gegen die trockene und feuchte Seite hin überschritten.

Auf den interessanten Kurvenverlauf der Probenahme vom 17. VI. nach achtwöchiger Trockenperiode sei noch hingewiesen. In 60 cm Tiefe nähert sich der Bodenwassergehalt bis auf vier Prozent dem Welkepunkt!

Ein etwas anderes Bild zeigen die Wassergehaltslinien zu den schon erwähnten Grenzwerten vom Jahre 1959 (vgl. Abbildung 3 und Tabelle 9). Das Jahr 1959 weist, wie dies nachfolgender Vergleich zeigt, eine höhere Jahressumme der Niederschläge als 1958 auf.

Niederschlagsmengen:			
	pro Jahr	während der Vegetationszeit	
Wilfersdorf, 1958	514	174	
1959	691	404	
Jetzing, 1960	852	322	

Besonders stark kommt auf dem Wassergehaltsdiagramm (Abbildung 3) die hohe Niederschlagssumme während der Vegetationszeit (um das Doppelte höher als 1958) zur Auswirkung. Während in den Bereichen 0–19 cm und 19–45 cm die gemessenen Wassergehalte bis auf zwei Ausnahmen unterhalb der Feldkapazität liegen, findet man im Bereich des Lösses in der Mehrzahl der Fälle Wassergehalte oberhalb der Feldkapazität (vor allem in einer Tiefe um 140 cm).

Der permanente Welkepunkt wird nur einmal (am 22. IX.) im obersten Krumbereich unterschritten. Allgemein zeigen zum permanenten Welkepunkt die Wassergehaltslinien von 1959 eine größere Prozentdifferenz als jene von 1958. Die 1 at Saugspannungslinie liegt bis 45 cm wiederum zentral zwischen den Kurven der einzelnen Meßtermine; in 100–140 cm fällt ein charakteristischer Kurvenabschnitt von drei Wassergehaltsmessungen mit dieser Linie zusammen.

Als zweiter Punkt dieses Kapitels sollen die eben besprochenen Wassergehaltslinien mit denen von einem Standort des nördlichen Alpenvorlandes, von Jetzing bei Leonding, verglichen werden. Jetzing liegt auf der linksufrigen Hochterrasse der Traun nahe dem Stadtgebiet von Linz. Der Boden des Versuchsfeldes ist eine Parabraunerde aus Löß; der reine Löß beginnt ab etwa 110 cm Tiefe. BRONNER (1963) hat in seiner Arbeit diesen Standort genau untersucht und beschrieben; bezüglich Detailangaben, Untersuchungen und Diskussion der Ergebnisse sei auf diese Arbeit verwiesen.

Ein Vergleich dieses Standortes mit dem von Wilfersdorf verspricht deshalb interessant und besonders lohnend zu sein, da zwei Böden aus gleichem Substrat (Löß), mit ähnlicher Vegetation (Sommergerste und Winterraps einerseits, Winterroggen andererseits), jedoch in verschiedenen Klimaräumen und dementsprechend unterschiedlichem Profilaufbau nach denselben Methoden an einem Institut untersucht worden sind. Um die zur Diskussion stehende Situation einigermaßen abzugrenzen, wurden die Tabellen 10 und 11 aus dieser Arbeit übernommen. In Angleichung an die Form der Wassergehaltsdiagramme von Wilfersdorf wurde aus den übernommenen Tabellen vom Verfasser Abbildung 4 entworfen.

Wie oben erwähnt, wiesen die Niederschlagsverhältnisse in Jetzing gegenüber denen von Wilfersdorf gewisse Unterschiede auf: die Jahressumme (von 1960) liegt bedeutend höher als in Wilfersdorf (von 1958 und 1959), die Niederschlagssumme während der Vegetationszeit liegt in Jetzing zwischen den Werten von Wilfersdorf von dem trockenen Jahr 1958 und feuchten Jahr 1959.

Die Werte der Feldkapazität von Jetzing liegen etwas höher als die von Wilfersdorf, die Werte des permanenten Welkepunktes sind nahezu gleich. Der Gesamtverlauf der Wassergehaltslinien befindet sich in Jetzing in einem Bereich mit höheren Wassergehaltsprozenten als in Wilfersdorf. Besonders bemerkenswert sind die Wassergehalte von mehr als 40 Volumsprozenten. An drei Meßterminen (5. III., 23. VII. und 8. X.) lagen die Wassergehalte von der Bodenoberfläche bis zu einer Tiefe von 100 cm über den Prozentwerten der Feldkapazität; zu keinem Termin wurde eine Austrocknung bis zum permanenten Welkepunkt festgestellt.

Der dritte und letzte Abschnitt dieses Kapitels bringt eine Gesamtschau und Gegenüberstellung der Meßergebnisse von Wilfersdorf und Jetzing.

Bei einer dynamischen Betrachtungsweise der Wasserverhältnisse eines Bodens kann der an einem bestimmten Termin in einer bestimmten Tiefe ermittelte Wassergehalt nur dann richtig beurteilt werden, wenn dieser Einzelwert mit den Wassergehalten der Feldkapazität und des permanenten Welkepunktes in Verbindung gebracht wird. Diese Möglichkeit ist durch die Berechnung des Versorgungsgrades gegeben. Nach H. BAUMANN (1949, 1961) versteht man unter dem Versorgungsgrad die jeweils vorhandene Menge an pflanzenverfügbarem Wasser, ausgedrückt in Prozenten der nutzbaren Kapazität.

Die nutzbare Kapazität (in Volumsprozenten) ist die Differenz von Feldkapazität und permanentem Welkepunkt.

Der Versorgungsgrad wird nach folgender Formel errechnet:

$$\text{Versorgungsgrad (\%)} = \frac{\text{gemessener Wassergehalt (V\%)} - \text{ permanenter Welkepunkt (V\%)}}{\text{nutzbare Kapazität (V\%)}} \cdot 100$$

Ist der gemessene Wassergehalt gleich der Feldkapazität, so ergibt es einen Versorgungsgrad von 100%; zeigt hingegen die gemessene Bodentiefe einen Wassergehalt gleich dem permanenten Welkepunkt, so erhält man den Versorgungsgrad 0, d. h. es ist kein pflanzenaufnehmbares Wasser vorhanden.

Summiert man die Werte der nutzbaren Kapazität von jedem Horizont bis zu einer Gesamttiefe von 1 m, so ergibt dies den nutzbaren Wasservorrat oder, ausgedrückt in mm, das Regenspeichervolumen eines Bodens. Es beträgt in Wilfersdorf, wie Tabelle 12 entnommen werden kann, 146,4 mm Regen; der Vergleichswert für Jetzing lautet 172,2 mm. Nach der oben angegebenen Formel und den Werten von Tabelle 12 wurden die Prozentzahlen des Versorgungsgrades errechnet und in den Tabellen 13, 14 und 15 angegeben.

Vor Besprechung der Ergebnisse noch zwei Hinweise: W. CZERATZKI (1958) gibt für eine optimale Ernte einen Versorgungsgrad von 30–50% an. Wenn der Versorgungsgrad im Bereich von 0–60 cm Tiefe die 30% Grenze unterschreitet, so sind Ertragsausfälle zu erwarten.

Genauere Angaben über die funktionelle Bedeutung des Versorgungsgrades ist einem Bericht von C. D. CHIRITZA (1964) zu entnehmen. Es wird folgende Einteilung geben:

Versorgungsgrad-Index:	0	unaufnehmbares Wasser
	0–20	schwer aufnehmbares Wasser, Erscheinung des Welkens
	20–50	ziemlich schwer aufnehmbares Wasser, gehemmte Pflanzenentwicklung
	50–90	leicht aufnehmbares Wasser
	90–100	Feuchtigkeit nahe von Feldkapazität.

In Wilfersdorf wurden bei den Messungen im Jahre 1958 nur am 17. VI. in 30–60 cm Tiefe der Wert von 30% und im Gesamtprofil der Wert von 50% unterschritten. Werte über 100% hingegen wurden am 9. IV. (60–100 cm Tiefe) sowie noch mehrmals im Bereich von 60 cm Tiefe registriert.

Während des bedeutend feuchteren Jahres 1959 wurden nur am 22. IX. und 20. X. im obersten Bereich der Krume Werte um und unter dem permanenten Welkepunkt (Versorgungsgrad: –42% und +1%) gemessen; in allen übrigen Meßtiefen liegen die Werte mit Abstand über der 30% und auch über der 50%-Grenze. Bemerkenswert sind die Prozentzahlen des Versorgungsgrades in 60 cm Tiefe, die alle über 100% liegen; in den darunterliegenden Horizonten sind die Auswirkungen deutlich zu sehen.

In Jetzing sind die Versorgungsgrad-Werte allgemein höher. Die Grenze von 30% wird nur einmal – am 23. VI. – unterschritten. Bei diesem Meßtermin liegen auch die Versorgungsgrade für das Gesamtprofil und den Bereich von 45–65 cm Tiefe unter der 50%-Grenze.

Die übrigen Daten lassen einen hohen Versorgungsgrad während des gesamten Jahres erkennen; an drei Terminen (am 5. III., 22. VII. und 8. X.) liegen im gesamten Profil die gemessenen Wassergehalte oberhalb der Feldkapazität.

Eine zusammenfassende Übersicht (Tabelle 16) läßt diese Unterschiede nochmals deutlich erkennen. Obwohl die Niederschlagssumme von Jetzing im Jahre 1960 um 82 mm niedriger als jene von Wilfersdorf vom Jahre 1959 war, ist der Versorgungsgrad im Mittel dennoch höher als der von Wilfersdorf. Den niedrigsten mittleren Versorgungsgrad hat erwartungsgemäß Wilfersdorf während des Jahres 1958 aufzuweisen. Man kann daher erkennen, daß sich die Schwankungen des Wassergehaltes vom Standort in Jetzing deutlich gegenüber denen von Wilfersdorf unterscheiden und die Bilanz des Ertragsfaktors Wasser in Jetzing günstiger als in Wilfersdorf während der beiden Untersuchungsjahre liegt.

Zusammenfassung

In Fortsetzung der bodenphysikalischen Untersuchungen eines Standortes in Wilfersdorf (Niederösterreich) werden neben ergänzenden Daten der Schlämmanalyse auch die bei 0,3, 1 und 15 at Saugspannung (mittels pF-Apparatur) bestimmten Werte angegeben.

Ein Vergleich von diesen gemessenen und nach den DE LEENHEER bzw. COMBEAU und QUANTIN rechnerisch ermittelten Wassergehalten zeigt eine gute Übereinstimmung.

Von den pF-Werten wurden die Porenverteilung in den einzelnen Horizonten abgeleitet und eine Einteilung in die Klassen nach SEKERA und SCHACHTSCHABEL vorgenommen und besprochen.

Eine Gegenüberstellung der bei 0,3, 1 und 15 at bestimmten Wassergehalte mit den Wassergehaltslinien im Gelände während der Beobachtungsjahre 1958 und 1959 vermittelt ein abgerundetes Bild des Schwankungsbereiches der Bodenfeuchte, insbesondere der Erreichung bzw. Überschreitung der kritischen Werte während der Untersuchungsjahre. Ein Standort aus dem nördlichen Alpenvorland (Jetzing bei Leonding, Oberösterreich) stellt dazu eine interessante Vergleichsbasis dar.

Abschließend werden detaillierte Angaben über den nutzbaren Wasservorrat des Standortes und den Versorgungsgrad an pflanzenaufnehmbaren Wasser während zweier Vegetationsperioden gegeben.

Tabelle 8

Wilfersdorf, 1958, Sommergerste; Wassergehalt in Volumsprozentsen

Tiefe cm	9. IV.	12. V.	17. VI.	17. IX.	28. X.	25. XI.
10	30,6	28,4	25,6	18,5	32,3	35,3
20	28,6	27,5	24,6	26,0	29,5	32,7
30	29,9	28,1	21,9	24,8	28,9	29,3
40	32,9	29,9	21,2	28,9	31,0	30,3
60	31,4	32,1	17,5	27,7	27,7	31,2
80	28,2	26,9	18,3	19,9	23,7	23,9
100	28,2	25,1	22,3	21,2	22,2	21,8
120	25,7	24,5	24,5	21,2	22,0	22,6
140	21,6	26,6	25,0	22,2	21,5	20,4
160	18,1	24,4	22,8	20,9	17,5	22,7
180	4,8	11,2	13,9	12,8	13,4	12,7

Tabelle 9

Wilfersdorf, 1959, Wintertraps; Wassergehalt in Volumsprozentsen

Tiefe cm	21. IV.	2. VI.	27. VI.	25. VIII.	22. IX.	20. X.	26. XI.
10	27,9	33,1	22,0	26,2	11,1	17,1	27,9
20	35,8	30,5	24,7	30,6	25,1	26,2	28,1
30	32,4	25,7	26,6	29,3	27,2	29,3	28,5
40	29,5	27,0	28,7	32,2	30,7	31,7	31,6
60	28,6	30,4	29,6	34,7	32,9	31,4	31,7
80	27,2	24,8	23,8	30,8	29,2	27,7	28,2
100	22,8	22,6	22,3	31,0	28,9	27,4	27,7
120	22,3	23,1	23,2	33,1	32,4	29,9	29,5
140	23,2	25,6	22,3	35,8	34,3	31,4	29,9
160	20,1	23,4	13,6	34,7	34,9	28,6	22,2
180	12,4	16,1	20,4	11,7	15,9	11,7	9,9

Tabelle 10

Wassergehalt bei Feldkapazität und permanentem Welkepunkt, nutzbare Kapazität; in Volumsprozentsen
Versuchsfeld Jetzing

Saugspannung in pF	2,5	3,0	4,2
Saugspannung in at	0,3	1	15
Äquivalenter Porendurchmesser in μ	10	3	0,2
Tiefe in cm	Feldkapazität	permanentener Welkepunkt	nutzbare Kapazität
10	33,2	29,6	13,7
30	31,6	29,7	15,4
50	33,8	32,2	19,0
80	37,5	35,8	19,4
130	36,0	19,3	8,7

Tabelle 11

Jetzing, 1960, Winterroggen; Wassergehalt in Volumsprozentsen

Tiefe cm	5. III.	11. IV.	9. V.	1. VI.	23. VI.	22. VII.	23. VIII.	8. X.
10	39,7	32,1	24,4	26,9	24,4	39,1	35,2	36,5
20	35,5	30,7	25,5	25,0	25,7	36,8	32,0	34,6
30	34,3	31,7	26,3	26,3	25,3	36,2	31,0	33,9
40	35,2	28,0	25,9	24,9	22,4	33,2	31,4	35,9
50	37,4	n. b.	n. b.	23,3	22,5	35,6	32,4	36,8
60	37,2	31,9	30,9	27,7	25,0	36,5	32,6	38,0
80	39,0	35,7	34,4	31,5	29,0	38,7	33,4	36,5
100	39,0	34,9	34,4	29,7	28,5	39,0	37,5	38,5
120	23,4	26,4	23,9	20,8	20,0	31,9	42,0	26,1
140	23,5	26,1	23,8	22,4	20,8	24,5	41,7	25,3
160	24,4	25,2	24,2	21,9	21,9	21,8	29,0	24,5
180	23,5	24,5	24,0	21,6	21,5	20,2	27,9	24,7

Tabelle 12
Nutzbare Kapazität; in Volumsprozenten

Tiefe cm	Feldkapazität	—	permanenter Welkepunkt	=	nutzbare Kapazität	dm Tiefe	=	nutzbarer Wasservorrat
0—19	30,9	—	17,0	=	13,9			27,8
19—45	34,4	—	16,9	=	17,5			43,8
45—170	27,1	—	13,5	=	13,6			74,8
								146,4 mm Regen

Tabelle 13
Wilfersdorf, 1958, Sommergerste; Versorgungsgrad in Prozenten

Tiefe cm	9. IV.	12. V.	17. VI.	17. IX.	28. X.	25. XI.
10	98	82	62	11	110	132
20	83	76	55	65	90	113
30	74	64	29	45	69	71
40	91	75	25	69	81	77
60	132	137	29	105	105	130
80	108	99	35	47	75	76
100	108	85	65	57	64	61

Tabelle 14
Wilfersdorf, 1959, Winterraps; Versorgungsgrad in Prozenten

Tiefe cm	21. IV.	2. VI.	27. VI.	25. VIII.	22. IX.	20. X.	26. XI.
10	78	116	36	66	42	1	78
20	135	97	55	98	58	66	80
30	89	50	55	71	59	71	66
40	72	58	67	87	79	85	84
60	111	124	118	156	143	132	134
80	101	83	76	127	116	104	108
100	68	67	65	129	113	102	104

Tabelle 15
Jetzing, 1960, Winterroggen; Versorgungsgrad in Prozenten

Tiefe cm	5. III.	11. IV.	9. V.	1. VI.	23. VI.	22. VII.	23. VIII.	8. X.
5	132	94	52	68	53	132	114	119
15	136	94	59	62	60	126	105	116
25	115	96	66	65	65	129	99	114
35	119	82	62	60	47	115	96	118
45	124	70	58	38	28	107	91	124
55	111	76	53	33	28	110	86	120
65	108	83	75	59	43	107	80	111
75	107	88	80	66	84	104	77	97
85	108	91	83	68	54	108	82	97
95	111	95	85	65	57	112	96	103

Tabelle 16
Versorgungsgrad in Prozenten (Mittelwerte der Versorgungsgrade während eines Jahres)

Wilfersdorf, 1958		9. IV.	12. V.	17. VI.	17. IX.	28. X.	25. XI.	
		99	88	43	57	85	94	
Wilfersdorf, 1959		21. IV.	2. VI.	27. VI.	25. VIII.	22. IX.	20. X.	26. XI.
		93	85	67	105	75	80	93
Jetzing, 1960	5. III.	11. IV.	9. V.	1. VI.	23. VI.	22. VII.	23. VIII.	8. X.
	116	87	68	58	49	115	93	111

Bodenwassergehalt 1958

Wilfersdorf

Sommergerste

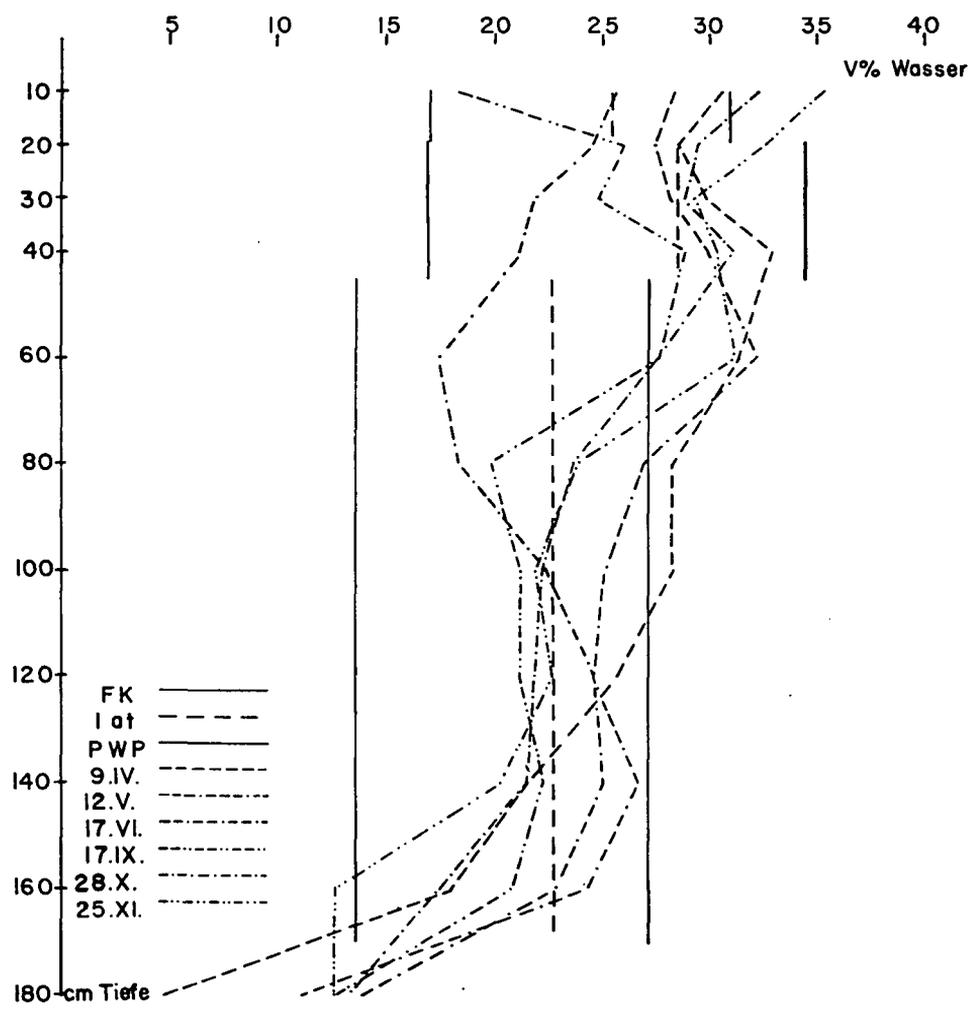


Abb. 2

Bodenwassergehalt 1959

Wilfersdorf

Winterraps

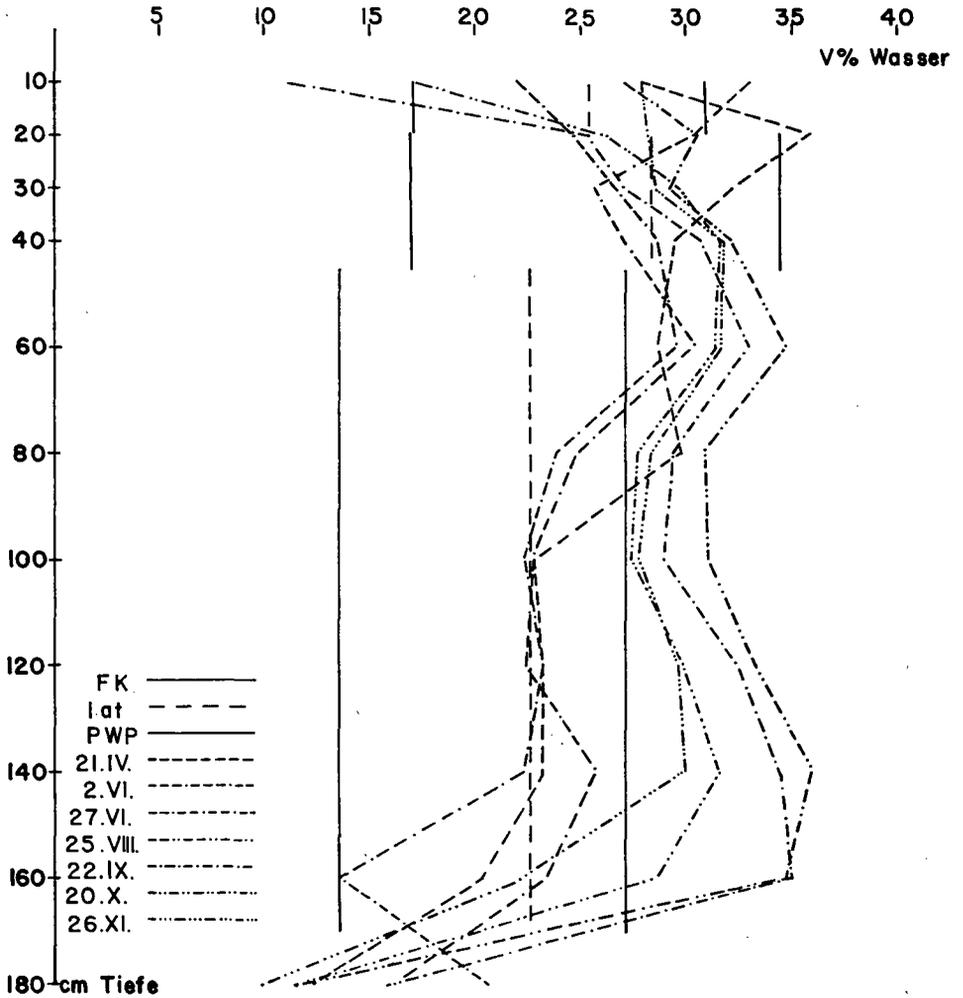


Abb. 3

Bodenwassergehalt 1960

Jetzing

Winterroggen

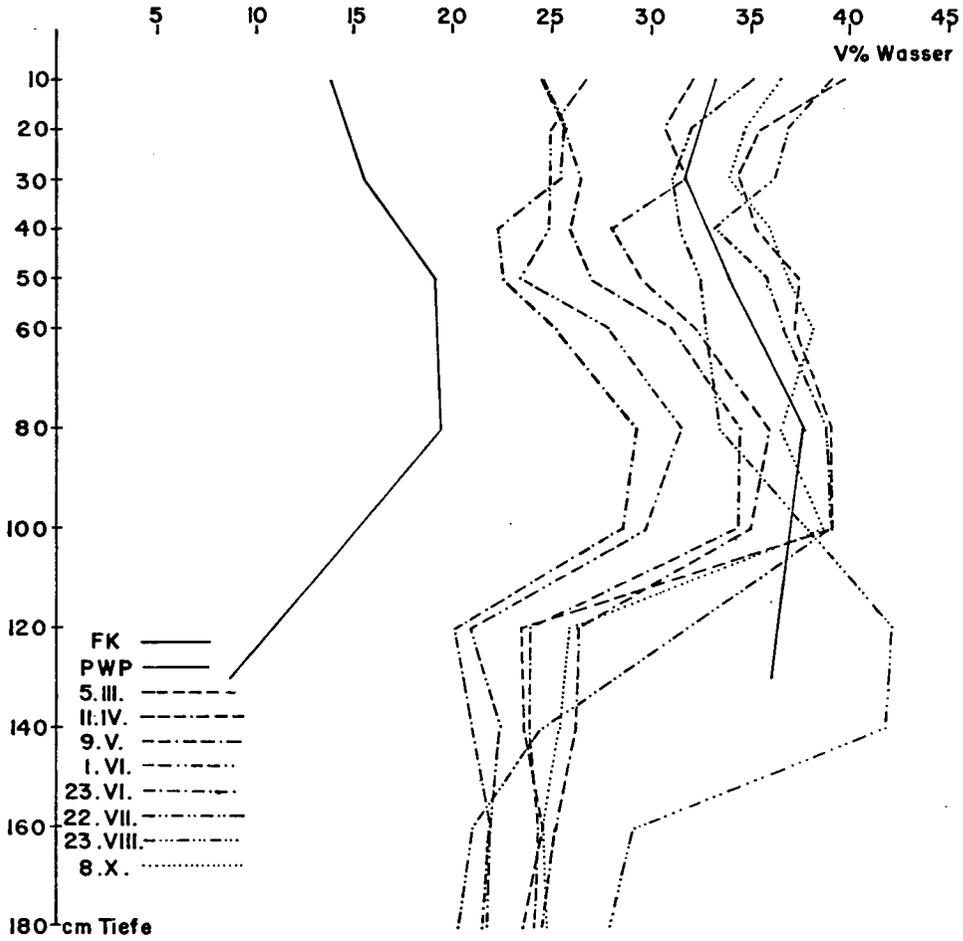


Abb. 4

Literaturverzeichnis

- BAUMANN, H. (1949): Wetter und Ernteertrag. Dtsch. Bauernverlag Berlin, 75 S.
 - (1961): Witterungslehre für die Landwirtschaft. P. Parey, Berlin und Hamburg, 139 S.
- BRONNER, H. (1963): Bodenfeuchtebeobachtungen unter Zuckerrüben und anderen Feldfrüchten auf Lößlehm im Raum von Linz, Oberösterreich. Naturkundl. Jahrbuch. d. Stadt Linz. S. 41-118.
- CHIRITZA, C. D. (1964): Die Erforschung der Bodenfeuchtigkeitsregime und ihre Klassifikation für ökologische Zwecke. VIII. Int. Bodenk. Kongreß, Bukarest: Zusammenfassg. d. Mittlg., S. 258-260.
- COMBEAU, A., Quantin, P. (1963): Observations sur la capacité au champ de quelques sols ferrallitiques. Science du Sol, 1, S. 5-11.
- CZERATZKI, W. (1958): Bodenphysikalische Probleme des Bodenwasserhaushaltes und der Feldberechnung. Landbau Forschung Völknerode, 4, S. 85-89.
- KIRKHAM, D. (1958): Wasserhaushalt der Böden und Pflanzenwachstum (Vortrag am 17. III. 1958), ref. (von O. NESTROY) in: Österr. Wasserwirtschaft, 8/9, S. 223-224.
- LANGNER, CH. (1965): Untersuchungen über die statischen und dynamischen Verhältnisse des Bodenwasserhaushaltes für den wasserwirtschaftlichen Rahmenplan (Kurzfassung). Mittlg. d. Dtsch. Bodenk. Ges., 2, S. 1-9.
- LEENHEER, L. DE (1961): Monografie der zeepolders Repertorium van de Bodenkundige Eigenschappe der belangriiken Boemtypen in de Belgische Zeepolders.
- NESTROY, O. (1961): Jahreszyklische Schwankungen des Wassergehaltes in zwei niederösterreichischen Lößböden. Mittlg. d. Österr. Bodenk. Ges., 5, S. 43-55.
- SCHACHTSCHABEL, P., HARTGE, K. (1959): Die Messung der Bodenstruktur durch Bestimmung der pF-Kurve und der Strukturstabilität. Landw. Forsch., 12. Sonderh., S. 30-36.
- SEKERA, F. (1938): Die Strukturanalyse des Bodens. Bodenk. u. Pflanzenernähr., 6, (51), S. 259-288.
 - (1938a): Statik und Dynamik des Bodenwassers. l. c. 6, (51), S. 288-312.

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Dr. OTHMAR NESTROY, 1040 Wien, Schleifmühlgasse 5/17.

Über den Kationenbelag und den Spurenelementgehalt in den Böden der IDV-Serie

Aus der Landwirtschaftlich-chemischen Bundesversuchsanstalt Linz

Direktor: Hofrat Dipl.-Ing. Dr. E. BURGGASSER

VON H. SCHILLER und E. LENGAUER

Einleitung

Die landwirtschaftlichen Kulturböden werden häufig nach nur wenigen Gesichtspunkten charakterisiert, u. zw. nach der Körnung, der Struktur, der organischen Substanz, dem Ausgangsgestein und der Entwicklung. Viele meßbare chemische und physikalische Eigenschaften werden viel zu sehr vernachlässigt, obwohl man bereits in den 20er Jahren, als die pH-Bestimmung eingeführt wurde, ihre große Bedeutung für die Pflanzenernährung erkannte. Seit dieser Zeit bemüht sich die Forschung, Methoden zu ihrer Charakterisierung zu entwickeln. Sie widmete ihre Aufmerksamkeit zunächst ausschließlich dem Boden. Erst NEUBAUER versuchte, auch die Pflanze zu berücksichtigen. Seine biologische Methode wurde später durch chemische Extraktion ersetzt. Das führte zum Vergleich chemischer Analysenwerte mit den Erträgen. Dabei stellte sich überraschenderweise heraus, daß die Beziehungen der Ernten zu den extrahierten Nährstoffmengen nicht so enge waren wie erwartet, aber doch weit enger als zu so umfassenden Begriffen wie Bodentyp, Ausgangsgestein, Tongehalt, org. Substanz, Austauschkapazität u. a. m. Gerade sie wurden aber bei der IDV-Serie als bodenkundliche Kriterien verwendet. Im Interesse der Versuchsauswertung schien es uns daher zweckmäßig, die Bodenbeschreibung um spezifischere Bestimmungsstücke zu erweitern. Das bot gleichzeitig für die bodenkundliche Forschung die Möglichkeit, eine Anzahl von Methoden an den mehrjährigen Ernten der IDV zu testen, deren Standorte geologisch, bodenmorphologisch und mineralogisch genau beschrieben sind. So konnte z. B. die Brauchbarkeit einiger Verfahren zur Bestimmung der nassen K-Fixierung an den Kartoffelernten der IDV geprüft (11) und damit eine wertvolle Unterlage für die Bewertung der K_{lact} -Zahlen geschaffen werden.

Die vorliegende Arbeit berichtet über die austauschbaren Kationen und die leichtlöslichen Spurenelemente der IDV-Böden.

Die Versorgung der Böden mit Spurenelementen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Die Forschung entwickelte daher Methoden zu ihrer serienmäßigen Bestimmung, doch wurden die Analysenergebnisse nur in seltenen Fällen zu den übrigen Bodenmerkmalen in Beziehung gesetzt. Zunächst schien es uns interessant, den Spurenelementgehalt einiger europäischer Böden miteinander zu vergleichen.

Probenahme und Methoden

Die IDV werden im Rahmen der Sektion IV der ISSS von achtzehn Instituten durchgeführt, die über Mittel- und Westeuropa verstreut sind. Die zentrale Leitung der Versuche obliegt einem Sekretariat in Groningen unter Vorsitz von Dr. P. BRUIN, Groningen, und Dr. E. v. BOGUSLAWSKI, Giessen.

Man entschied sich für einen zwölfjährigen Fruchtfolgeversuch mit Winterweizen, Hafer und Kartoffeln. Selbstverständlich werden überall gleiche Sorten, sogar von der

gleichen Herkunft, angebaut. Bei Hafer wurde die Sorte „Regent“ gewählt. Auch die Saatmengen sind einheitlich. Die Versuchsanordnung ist, wie aus der abgebildeten Skizze hervorgeht, sehr einfach. Man hat bewußt auf Wiederholungen verzichtet, dafür aber umfangreiche Analysen und Beobachtungen, darunter auch bodenkundliche, sowie Untersuchungen des Erntematerials vorgesehen. Die Parzellengröße von 60 m² ist wegen der bei Fruchtfolgeversuchen besonders starken Randwirkung relativ groß.

Die Bodenuntersuchung wurde an den im Jahre 1963 genommenen Proben durchgeführt, die aus dem Ap-Horizont der Haferparzellen I–IV gezogen und zu einer Mischprobe je Standort vereinigt worden waren.

Von diesen Mischproben wurden bestimmt: der Tongehalt nach LÜTTMER-JUNG (8), die org. Substanz durch Naßverbrennung nach EDER-BACHLER (2), die AK, der V-Wert und der Kationenbelag nach MEHLICH (5), die Karbonate nach SCHEIBLER, das Eisen in 1%igem ÄDTA-Auszug, das aktive Mangan nach SCHACHTSCHABEL (5), das Zink und Kupfer in 2,6%iger HNO₃ nach WESTERHOFF (14) und außerdem in nHCl- und in 1%igem

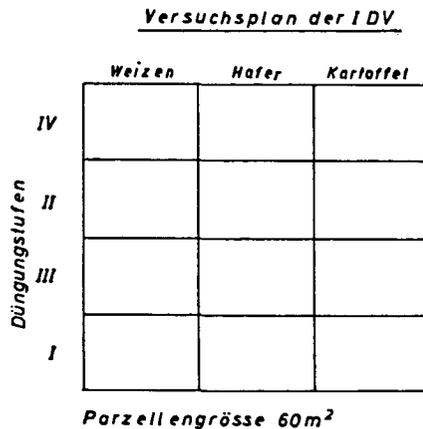


Abb. 1: Erklärung im Text.

ÄDTA-Auszug, das Bor im Acetatextrakt nach BARON (1) und das Molybdän im Ammonolactatauszug nach RIEHM-DOMINGO (3). Das Verhältnis Bodeneinwaage/Extraktionsmittel betrug bei Zink, Kupfer und Molybdän 1 : 10, bei den anderen Elementen wurde gemäß den Methodenvorschriften gearbeitet, beim aktiven Mangan enthielt nach einer älteren Vorschrift Schachtschabels die Austausch- und Reduktionslösung nur 0,5 g Na-Sulfit und 0,5 g Na-Pyrosulfit.

Analysergebnisse

G. SCHMID (12) fand bei der Feldaufnahme einen schwarzerdeähnlichen Aueboden, zwei Braunerden, einen Eisenhumuspodsol, sonst lauter Parabraunerden. Die meisten Böden sind auf eiszeitlichen fluviatilen Sedimenten, fünf Böden auf Löß entstanden (Tab. 1).

Der Tongehalt der Standorte war sehr unterschiedlich, die Variationsbreite betrug 3,5–20%. Am geringsten war der Tongehalt in Oldenburg, Groß Gerau und Dülmen, am höchsten in Oberer Lindenhof, Rokican, Nova Goriza und Rausch Holzhausen. Sonst lag er durchwegs zwischen 8 und 16%.

Tabelle 1: Bodentyp und phys. chem. Merkmale der A_p-Horizonte der IDV

Probe Nr.	Bodentyp und Standort	Geol. Formation	Ton %	Org. Subst. %	AK mval %	CaCO ₃ %	V-Wert %	pH 0,1 n KCl
Schwarzerdeähnl. Aueböden								
1	Ob. Lindenhof	Löß	20,0	5,8	31,5	0	48	5,7
Braunerden								
2	Liebfeld	Würmsch.	10,3	2,2	11,6	0	60	5,4
3	Oldenburg	Dil. Mor.	3,9	3,1	10,4	0	47	5,8
Parabraunerden								
4	Rokican	Würmsch. Hfl.	18,4	2,7	17,4	0	70	6,2
5	Groß Gerau	Dil. fl.	4,0	1,0	4,3	0	37	5,5
6	Ottersum	Al. Hfl.	11,8	1,7	9,1	0	43	5,0
7	Domzale	Würmsch. Hfl.	15,8	3,3	24,2	0	62	5,8
8	Nova Goriza	Rißsch.	19,0	2,4	17,6	0	89	7,0
9	Völknerode	Dil. fl.	7,8	1,9	8,8	0	85	6,4
10	Leuven	Löß	9,0	1,9	10,8	0	84	6,3
11	Versailles	Löß	14,2	1,8	14,8	0	94	6,3
12	Linz	Löß	14,5	1,9	14,6	0	80	6,2
13	Rausch-Holzhausen	Löß	19,2	1,5	15,0	0	93	5,9
14	Puch	Löß	11,7	2,0	15,0	0,2	71	6,8
Eisenhumuspodsol								
15	Dülmen	Dil. fl.	3,5	2,1	6,7	0	44	5,1
Noch zu bestimmen								
16	Rostock		8,5	1,6	9,3	0	90	6,7
17	Leipzig (Lawalde)		9,2	2,7	10,6	0	33	5,2

Der Gehalt an org. Substanz variierte weniger. Mit Ausnahme von Oberer Lindenhof (5,8%) und Groß Gerau (1,0%) hatten alle Ap-Horizonte einen Gehalt zwischen 1,5 und 3,3%, bei Ackerböden ganz normale Werte.

Die AK ging mit dem Tongehalt ziemlich parallel. Nur bei den Standorten mit viel organischer Substanz (Oberer Lindenhof, Oldenburg, Domzale) lag sie höher. Sehr gering war sie in Groß Gerau und Dülmen, wo sowohl der Ton als auch die organische Substanz niedrige Werte hatten.

Alle Ap-Horizonte waren karbonatfrei, der geringe CaCO₃-Gehalt in Puch dürfte, aus dem niedrigen V-Wert zu schließen, auf eine Kalkdüngung zurückzuführen sein. Bei keiner Probe bestand also die Gefahr, daß hoher Karbonatgehalt die sauren Extraktionen gestört hätte.

Trotz den fehlenden Karbonatreserven wiesen mehrere Ap-Horizonte V-Werte über 80% auf, so Nova Goriza, Völknerode, Leuven, Versailles, Linz, Rausch Holzhausen und Rostock. Sehr niedrig waren die V-Werte in Groß-Gerau, Dülmen und Lawalde, niedrig auch in Ottersum, Oldenburg und Oberer Lindenhof, doch wird bei diesen letzteren Standorten wegen der höheren Menge an Ton bzw. org. Substanz der niedrige V-Wert nicht so stark ins Gewicht fallen.

Der Sorptionszustand der Versuchsböden ist aus der Tab. 2 zu entnehmen. Ca- und H-Ionen sind prozentuell am stärksten vertreten und nehmen rund 90% der AK in Anspruch, wobei einmal das eine, einmal das andere Ion überwiegt (z. B. Groß Gerau und Nova Goriza).

Auf die restlichen 10% verteilen sich Mg, K, Na und die Spurenelemente. Wenn in einigen Fällen diese anteilmäßige Verteilung gestört war, so ist immer besonders hoher oder niedriger Mg-Gehalt die Ursache, niedriger in Oberer Lindenhof, Liebfeld, Versailles und Lawalde, hoher in Linz und Rausch Holzhausen.

Der K-Sättigungsgrad schwankte von 1–5%. Für eine ausreichende K-Ernährung fordert die Bodenkunde 3% K-Ionen am Belag. Diese Richtzahl wird bei einer Anzahl

Tabelle 2: Kationenbelag der Sorptionsträger. Ap-Horizonte der IDV

Probe Nr.	Ort	Ca	Mg	% der AK K	Na	H
1	Ob. Lindenhof	43	1	3	1	52
2	Liebefeld	55	3	2	<1	40
3	Oldenburg	36	5	4	2	53
4	Rokican	60	7	2	1	30
5	Groß Gerau	27	6	4	<1	63
6	Ottersum	33	6	3	1	57
7	Domzale	54	7	<1	1	38
8	Nova Goriza	80	5	1	3	11
9	Völkenrode	74	5	5	1	15
10	Leuven	75	6	2	1	16
11	Versailles	87	3	2	2	6
12	Linz	68	10	1	1	20
13	Rauisch-Holzhausen	75	13	3	2	7
14	Puch	63	7	1	<1	29
15	Dülmen	36	4	4	<1	56
16	Rostock	83	4	2	1	10
17	Leipzig (Lawalde)	26	3	3	1	67

von Böden nicht erreicht und wir hatten auf diesen Standorten (Domzale, Nova Goriza, Linz und Puch) effektiven K-Mangel (11).

Der Na-Sättigungsgrad der Versuchsböden war gering, wie es wegen der geringen Haftfestigkeit des Na-Ions üblich ist. Nur einige Standorte, u. zw. Oldenburg, Versailles und Rauisch Holzhausen hatten 2%, Nova Goriza sogar 3% Na-Ionen.

Die Ap-Horizonte der Standorte wiesen einen sehr unterschiedlichen Gehalt an ÄDTA-löslichem Eisen auf (Tab. 3). Auffallend sind die niedrigen Fe-Werte auf den eiszeitlichen Verebnungen Norddeutschlands und der Niederlande (Nr. 5, 6, 15–17). Einen niedrigen Fe-Gehalt gab es außerdem in Liebefeld, wo nach G. SCHMID (12) ein hoher Quarzanteil vorliegt. Rund doppelt so hoch lag dagegen das ÄDTA-lösliche Eisen in den Lößböden (23–31 mg%), noch höher, bis 43 mg%, in der schwach podsoligen Braunerde Oldenburgs.

Der Gehalt der Böden an aktivem Mangan lag in einem Bereich von 2–53 mg%, hatte also eine noch größere Variationsbreite als das Eisen. Die Menge des aktiven Mangans im Boden wird weitgehend von den leicht reduzierbaren Mn-III- und -IV-Oxiden bestimmt. Diese sind durch geringe Korngröße und geringen Kristallisationsgrad gekennzeichnet. Mit ihrer Menge nehmen auch die leicht aufnehmbaren, aber an sich nur in geringen Mengen vorkommenden Mn-II-Ionen zu. Die leicht reduzierbaren Mn-Verbindungen sind sehr reaktionsfähig, doch ist ihre Aktivität stark abhängig von den

Tabelle 3: Spurenelementgehalt der Ap-Horizonte der IDV

Nr.	Ort	Fe		Mnakt.	2,6 % HNO ₃	Zn n HCl	1 % ÄDTA		2,6 % HNO ₃	Cu n HCl	1 % ÄDTA		B acet.	Mo AL
		ÄDTA	mg %				ppm	ppm						
1	Ob. Lindenhof	18	10	4,5	6,5	2,5	6,0	7,5	3,0	0,3	1,60			
2	Liebefeld	13	12	4,5	6,5	3,5	10,0	11,0	7,5	0,1	0,15			
3	Oldenburg	43	2	17,0	17,0	15,5	4,5	5,0	2,5	0,3	1,35			
4	Rokican	19	24	5,5	7,0	3,0	8,5	10,0	6,0	0,1	0,10			
5	Groß Gerau	9	5	5,5	7,0	4,0	4,5	5,0	3,0	0,5	.			
6	Ottersum	13	6	6,0	7,5	5,0	4,5	5,5	2,5	0,9	0,15			
7	Domzale	20	7	5,0	6,5	3,0	5,5	6,0	3,0	0,1	0,30			
8	Nova Goriza	27	53	8,0	10,0	5,5	16,0	18,0	13,5	2,3	.			
9	Völkenrode	26	11	16,0	18,5	13,5	12,0	16,0	10,5	0,4	0,15			
10	Leuven	26	17	12,0	14,5	9,0	5,5	7,0	4,0	0,1	.			
11	Versailles	27	15	7,0	9,5	5,5	7,5	9,0	5,5	0,5	0,75			
12	Linz	23	16	8,0	14,5	5,5	11,5	13,0	9,0	0,3	0,20			
13	Rauisch-Holzhausen	31	13	6,5	9,0	6,0	7,5	8,0	4,5	0,1	0,15			
14	Puch	25	21	5,0	8,0	4,5	7,0	15,0	7,0	0,4	0,25			
15	Dülmen	14	2	12,0	13,0	14,0	5,5	6,5	2,5	0,7	0,55			
16	Rostock	16	8	5,0	7,0	4,0	4,0	5,0	1,5	0,3	0,15			
17	Lawalde	18	20	6,5	8,5	5,5	3,5	5,0	1,5	0,1	0,15			

Umweltbedingungen (z. B. pH, rH, Durchfeuchtung, biologische Tätigkeit). Wenig aktives Mangan enthielten die Böden von Oldenburg, Dülmen, Groß-Gerau, Ottersum und Domzale, viel dagegen Lawalde, Puch, Rokican und Nova Goriza, während die Lößböden in der Mitte lagen.

Beim Zink wurden drei verschiedene Extraktionsmittel angewendet, u. zw. 2,6%iges HNO_3 , nHCl und 1%iges ÄDTA. Die drei Fraktionen waren engstens miteinander korreliert ($r = +0,94, +0,96, +0,87$), sodaß alle drei die gleichen Informationen ergaben. Es erübrigt sich daher, die Ergebnisse der einzelnen Verfahren für sich gesondert zu besprechen. Obwohl der Boden vom Oberen Lindenhof sehr tonreich ist und der von Liebefeld als eutroph angesprochen wurde, hatten diese Standorte den geringsten Zn-Gehalt. Nur um 0,5–1 ppm höher lag er in den Proben Domzale, Puch, Rostock, Rokican und Groß Gerau. Bei den Lößböden schwankten die Zn-Werte stärker noch als die Eisen- und Manganwerte. Das meiste ÄDTA-lösliche Zink wiesen die Proben von Oldenburg, Völkenrode und Dülmen auf.

Auch beim Kupfer konnte kein grundsätzlicher Unterschied in den drei verschiedenen Extraktionsverfahren festgestellt werden. Die Korrelationskoeffizienten betragen +0,91, +0,98, +0,96. Die Salzsäure löste mehr Kupfer als die Salpetersäure, doch dürfte dies eher auf ihrer stärkeren Konzentration (1 n : 0,4 n) beruhen als auf ihrer Fähigkeit, Eisenoxidhydrate zu dissoziieren und damit Spurenelemente freizulegen. Die absolut niedrigsten Werte für leichtlösliches Cu wurden durch Komplexbildung mit ÄDTA erhalten.

Wenig Kupfer war in den Böden nachweisbar, die nördlich der Grenze der Reiß-Saalevereisung liegen, ausgenommen Völkenrode. Reichlich Kupfer gab es außer in Völkenrode auch in Liebefeld, Rokican, Nova Goriza und Linz, Puch hatte nur im Salzsäureauszug einen hohen Cu-Wert. Die Lößböden hatten keinen einheitlichen Cu-Gehalt. Ob für die unterschiedlichen Gehalte an Cu und Zn die mineralogische Zusammensetzung oder der Verwitterungsgrad maßgebend ist, soll später erläutert werden.

Der Gehalt an acetatlöslichem Bor betrug 0,1 bis 2,3 ppm. Ausgesprochen niedrig war er in Liebefeld, Rokican, Domzale, Leuven, Rauisch Holzhausen und Lawalde, sodaß dort selbst bei Getreide unter bestimmten Witterungsbedingungen mit Bormangel zu rechnen ist. Einen reichlichen Borgehalt wies nur der Boden von Nova Goriza auf, während sonst überall ein für Ackerböden mittleres Borniveau vorlag.

Nach einem Vorschlag von Scholl (13) wurde das leichtlösliche Molybdän im Ammonlactatauszug bestimmt, um dieses heute für Phosphorsäure und Kalium sehr gebräuchliche Extraktionsmittel auch am Molybdän zu erproben. Es ergaben sich sehr unterschiedliche Molybdängehalte. Fast bei der Hälfte der Böden lagen sie unter 0,2 ppm, bei Puch und Domzale nur schwach darüber. Viel Mo hatten die Standorte Dülmen, Versailles, Oldenburg und Oberer Lindenhof.

Wechselbeziehungen zwischen den Bodenmerkmalen

Wie schon berichtet wurde, zeigte sich bei der Zn- und Cu-Bestimmung, daß die HNO_3 -, HCl- und ÄDTA-Extraktionen bei ein und demselben Element parallel laufende Werte ergaben. Es war naheliegend zu fragen, ob auch zwischen verschiedenen Elementen Parallelitäten bestanden. Die Tab. 4 zeigt die Einfachkorrelationen zwischen allen Elementen, soweit sie gesichert waren, ungeachtet des Extraktionsmittels. Bei Zn und Cu wurde nur mit HNO_3 -Extrakten gerechnet. Wie vermutet, waren trotz ganz verschiedenen Extraktionsverfahren Korrelationen vorhanden. So war das aktive Mn, das durch Reduktion bestimmt wird, sowohl mit dem HNO_3 -löslichen Cu als auch mit dem acetatlöslichen B eng positiv, mit dem ammonlactatlöslichen Mo schwach negativ korreliert. Das Kom-

Tabelle 4: Einfachkorrelationen

Mnakt.	ZnHNO ₃	CuHNO ₃	Bacetatl.	MOAL	FeEDTA
.	+0,59 ⁺	.	.	+0,39((+))	Mnakt.
.	.	+0,70 ⁺⁺	+0,64 ⁺⁺	-0,40((+))	ZnHNO ₃
.	.	.	+0,54 ⁺	.	CuHNO ₃
.	Bacetatl.

n = 17

((+)) = P < 20 %, (+) = P < 10 %, + = P < 5 %, ++ = P < 1 %, +++ = P < 0,1 %.

plexon-gebundene Fe korrelierte mit dem HNO₃-löslichen Zn und mit dem ammonlactat-löslichen Mo, das HNO₃-lösliche Cu mit dem acetatlöslichen B und dem leicht reduzierbaren Mn, nicht aber mit dem HNO₃-löslichen Zn. Das heißt, daß z. B. das aktive Mn eines Bodens mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auch Auskunft gibt über das HNO₃-lösliche Cu und das acetatlösliche B, ebenso das ÄDTA-lösliche Fe über das HNO₃-lösliche Zn, daß aber das gleiche Extraktionsmittel nicht unbedingt proportionale Werte bei verschiedenen Elementen liefert, wie z. B. HNO₃ bei Zn und Cu.

Bevor auf die Gründe dieser Erscheinung eingegangen wird, wird auf die Tab. 5 verwiesen, die Zusammenhänge zwischen Spurenelementen und Ton, organischer Substanz und V-Wert aufzeigt.

Tabelle 5: Zusammenhang zwischen Spurenelementgehalt und Ton, org. Substanz und V-Wert

Nr.	Abhängige Variable y	Partielle Regressionskoeffizienten				Mehrfachbestimmtheit		B-Verlust %
		x ₁ Ton	x ₂ Org. Subst.	x ₃ V-Wert	B %	Sich.		
I	FeÄDTA	-0,56	0	+3,54 ((+))	+0,27	+	29,4	0
II	"	/	/	+1,86	0	+0,19 (+)	22,1	0
III	Mnakt.	+1,19 (+)	-1,97	0	+0,08	0	35,3	0
IV	"	+1,38	+	-2,83	0	/	34,2	+
V	"	+1,16	+	/	/	/	23,8	+
VI	ZnHNO ₃	-0,69	++	+1,76 (+)	+0,11	+	43,0	+
VII	CuHNO ₃	+0,17	0	-0,18	0	+0,07 ((+))	34,8	0
VIII	"	/	/	/	/	+0,09	29,7	+
IX	Bacetatl.	+0,03	0	-0,10	0	-0,01	5,4	0
X	MOAL	-0,04 (+)	+0,45	++	+0,01	0	67,3	+
XI	"	-0,03 ((+))	+0,36	++	/	/	61,4	++

n = 17

Das ÄDTA-lösliche Fe (Regr. I und II) nahm mit dem V-Wert, das aktive Mn (Regr. III–V) mit dem Tongehalt zu. Das HNO₃-lösliche Zn (Regr. VI) nahm mit dem V-Wert und auch mit der org. Substanz zu, insbesondere aber mit steigendem Tongehalt ab. Cu (Regr. VII und VIII) nahm nur mit dem V-Wert, Mo (Regr. X und XI) eindeutig mit der org. Substanz zu, Mo mit steigendem Tongehalt aber ab. Beim B (Regr. IX) zeigte sich überhaupt kein Zusammenhang.

Die verschiedenen Sorptionsträger und der Sättigungsgrad hatten also bei den verschiedenen Elementen ganz verschiedenartige Einflüsse, wobei die Einflüsse von Ton und org. Substanz einander immer gegenläufig waren. Trotzdem waren Ton und org. Substanz selbst schwach positiv miteinander korreliert (r = +0,40), ebenso Ton und V-Wert (r = +0,42). Die Mengen waren also gleichlaufend, die Wirkungen entgegengesetzt.

Diskussion

Im allgemeinen gilt, daß mit zunehmendem V-Wert, d. h. mit zunehmender Basensättigung, auch mehr Metallkationen sorbiert sind. Nach den Regressionen I und II stimmte dies in der IDV-Serie auch für das ÄDTA-lösliche Eisen. Da mit steigendem

V-Wert und daher mit steigendem pH das Fe weniger beweglich wird, scheint das ÄDTA-lösliche Fe mehr mit dem sorbierten als mit dem beweglichen Fe zu tun zu haben. Daß das ÄDTA-lösliche Fe mit der org. Substanz zunahm, ließe sich aus dem schwach basischen Charakter der Fe-Hydroxide erklären, der eine gewisse Affinität zur organischen Substanz bedingt. Daß der Ton mit negativem Vorzeichen auftritt, obwohl er mit der org. Substanz und mit dem V-Wert positiv korreliert war, daß sein Regressionskoeffizient keine Sicherheit hat, aber dennoch beim Eliminieren 7,3% Bestimmtheitsverlust verursacht, läßt sich damit erklären, daß der Ton hier stellvertretend für ein anderes Merkmal steht, das nur unvollkommen mit der Tonmenge parallel geht und die ÄDTA-Löslichkeit des Fe herabsetzt. Man könnte u. a. etwa an die Oberflächenaktivität denken.

Im „aktiven“ Mn sind enthalten: Mn-II-Verbindungen; weiters amorphe, sehr sorptionskräftige freie Mn-Oxide mit Korngrößen $< 2 \mu$, wie sie bei der Verwitterung unmittelbar anfallen; insbes. Mn-III- und IV-Oxide mit ebenfalls noch geringer Korngröße, geringem Kristallisationsgrad und hoher Reaktionsfähigkeit. Je mehr Ton, umso mehr aktives Mn war im Boden vorhanden (Regr. III). Beide, Ton und aktives Mn, sind bedingt durch den Grad der Verwitterung.

Das Verhalten des Zn in der Regression VI gegenüber Ton, org. Substanz und V-Wert spiegelt mehrere Vorgänge wider: Zn kommt vorwiegend in leicht verwitterbaren Mineralen (Olivin, Hornblende, Augit, Biotit) vor. Auf stark verwitterten Böden mit hohem Tonanteil müßte demnach bereits viel Zn verlorengegangen sein. Andererseits haben Glimmer und Vermikulit ein starkes Fixierungsvermögen für Zn. Dieses könnte so stark sein, daß die schwache HNO_3 -Konzentration zur Lösung nicht ausreichte. Beide Vorgänge können den negativen Koeffizienten beim Ton erklären. Da Zink als schwache Base vorkommt, hat es eine große Affinität zur org. Substanz. Aus dieser scheint es durch die Extraktion lösbar gewesen zu sein, daher der positive Koeffizient bei der org. Substanz. Da basenreichere Böden auch mehr Metallkationen enthalten, werden sie auch mehr Zn-Ionen abgeben können, daher das positive Vorzeichen beim V-Wert.

Obwohl auch Cu als schwache Base im Boden vorliegt, zeigt es in seinem Verhalten in den Regressionen VII und VIII ziemlich große Unterschiede von Zn und Fe. Beim Cu war von den drei untersuchten Bodeneigenschaften die Basensättigung die wirkungsvollere. Darin könnte ein Widerspruch zu Literaturstellen gesehen werden, in denen die organische Substanz neben dem Tongehalt als bedeutsamer Träger für das leichtlösliche Cu bezeichnet wird. Aber auch LUNDBLAD und JOHANSON (7) fanden in schwedischen Böden keine Beziehungen zwischen Cu und org. Substanz. Die Sorptionsträger können, müssen aber nicht Lieferanten von leichtlöslichem Cu sein. Sie sind es je nach ihrem Sättigungsgrad. Ist dieser hoch, dann steigt die Cu-Abgabe mit ihrer Menge und man findet eine Beziehung, sofern man den V-Wert vernachlässigt.

Es wäre theoretisch zu erwarten, daß B von Ton absorbiert und von der org. Substanz verestert wird, wodurch sich zu beiden Beziehungen ergeben müßten, wie wir sie für die org. Substanz in einer anderen Untersuchung auch fanden (6). In der IDV-Serie waren sie nicht vorhanden.

Beim Mo wird angenommen, daß es als Oxokomplex an Tonmineralen und Sesquioxiden gebunden ist. Wenn diese Fixierung stark genug ist, sind die schwach gesicherten negativen Regressionskoeffizienten des Tones in den Regressionen X und XI verständlich. Obwohl Mo als Anion auftritt und daher alkalisch zu extrahieren wäre, fand GRIGG (4), daß die Oxalsäure die Fähigkeit hat, Mo-Ionen komplex zu binden. Essig- und Milchsäure können offenbar das Gleiche. Nach MITCHELL (9) bildet die org. Substanz mit Mo Chelate, die die Fixierung des Mo an Sesquioxiden verhindern. Damit wäre erklärt, wieso das ammonlactatlösliche Mo sehr stark von der Menge der org. Substanz abhing. In den Ein-

fachkorrelationen (Tab. 4) hatte Mo nur schwache Beziehungen, die aber mit dem soeben Gesagten in Einklang stehen: Das aktive Mn drückt den Ton aus, das ÄDTA-lösliche Fe u. a. die org. Substanz.

Wir können also zwei Gruppen von Erscheinungen unterscheiden, die im Bereich unserer Betrachtungen einander entgegengewirkten. Die eine Gruppe geht von der Dynamik der Tonbildung, die andere von jener der Humusbildung aus:

Je stärker und anhaltender die Verwitterung, umso stärker war die Anhäufung von Ton, gleichzeitig die Bildung von Sesquioxiden und von aktivem Mangan, das selbst als Sorptionsträger auftritt, umso stärker auch die Auswaschung oder Fixierung von Zink und die Fixierung von Molybdän. Kupfer und Bor scheinen daher zunehmend, sei es durch Einschluß (10) oder durch Sorption, an das aktive Mangan locker gebunden, Mo fixiert zu werden, sodaß es zu den entsprechenden Korrelationen der Tab 4 kam. Hinter dem Mn können aber auch Sesquioxide mit der gleichen Wirkung stehen. Dafür spricht die negative Korrelation zwischen Mo und Mn in der Tab. 4.

Bewirkten die Umweltverhältnisse höheren Gehalt an org. Substanz, so steigerten sie gleichzeitig die ÄDTA-Löslichkeit des Fe und wirkten der Auswaschung bzw. Fixierung von Zn und Mo entgegen. Den Korrelationen der Tab 4 liegt dieses verwandtschaftliche Verhalten der Elemente zugrunde. Daß es mit graduellen Unterschieden und mit Abweichungen gültig war, zeigen die Regressionen I, VI und X bzw. III und VII der Tabelle 5.

Die verschiedenartigen Zusammenhänge, die der Ton in der Tab. 5 oder das aktive Mn in der Tab. 4 haben, machen deutlich, wie einzelne Bodemerkmale vielerlei und oft gegensätzliche Wirkungen in sich vereinigen und daß sie daher je nach dem Gesichtspunkt des Betrachters verschieden, oft sogar gleichzeitig in verschiedenen Richtungen zu interpretieren, d. h., daß die Einzelwirkungen zu berücksichtigen sind.

Zusammenfassung

In den Böden der IDV-Serie wurden der Kationenbelag der Sorptionsträger und einige leichtlösliche Spurenelemente bestimmt. Der Kationenbelag wurde nach MEHLICH, Cu und Zn wurden im 2,6%igen HNO_3 - (WESTERHOFF), im nHCl- und im 1%igen ÄDTA-, Fe im 1%igen ÄDTA-, B im Acetat- (BARON) und Mo im Ammonlactatauszug (RIEHM-DOMINGO) bestimmt. Daran konnten folgende Beobachtungen gemacht werden:

1. Ca- und H-Ionen nahmen meist 90% der AK in Anspruch, die restlichen 10% waren von Mg-, K- und Na-Ionen besetzt. Wenn dieses Mengenverhältnis gestört war, war immer besonders hoher oder niedriger Mg-Gehalt damit verbunden.

2. In ihrem Gehalt an leichtlöslichen Spurenelementen waren die Böden sehr verschieden. Einige der Elemente waren aber mehr oder weniger stark miteinander korreliert. Insbesondere ging das aktive Mn mit dem HNO_3 -löslichen Cu und dem acetatlöslichen B ziemlich stark parallel.

3. Die drei verschiedenen Extraktionen bei Zn lieferten eng korrelierte Werte und daher jede die gleiche Information. Dasselbe gilt für Cu.

4. Der Ton, die org. Substanz und der V-Wert zeigten bei den verschiedenen Spurenelementen verschiedenartige Einflüsse:

mit steigender Tonmenge nahm zu das Mn_{akt} , nahm ab ZnHNO_3 und MoAL ,
mit der org. Substanz nahmen zu MoAL , ZnHNO_3 und FeÄDTA ,
mit dem V-Wert nahmen zu FeÄDTA , ZnHNO_3 und CuHNO_3 .

5. Einzelne Bodenmerkmale, wie z. B. der Tongehalt, können vielerlei und oft gegensätzliche Wirkungen zum Ausdruck bringen. Erst die Auflösung von Summenbegriffen

wie „Tongehalt“ in Einzelfaktoren kann das richtige Verständnis der Zusammenhänge vermitteln.

Schrifttum

1. BARON, H.: Gemeinsame Extraktion und chemische Bestimmung des leicht löslichen Anteiltes der Mikronährstoffe Bor, Eisen, Kobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän und Zink im Boden. Landw. Forsch. 7: 82-89 (1955).
2. EDER, N. u. BACHLER, W.: Kolorimetrische Bestimmung der org. Substanz. Unveröff.
3. EGNER, H., RIEHM, H. und DOMINGO, W. R.: Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungl. Lantbrukshögsk. Ann. 26: 199-215 (1960).
4. GRIGG, J. L.: Determination of available soil molybdenum. New Zealand Soil 3: 37-40 (1953).
5. HERRMANN, R.: Handbuch der landw. Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch) 1. Bd., 3. Aufl., Neumann - Radebeul und Berlin (1955).
6. LENGAUER, E.: Über das Zusammenwirken der Umweltfaktoren bei der Nährstoffaufnahme durch die Pflanzen, gezeigt am Beispiel der Boraufnahme durch Rotklee. Unveröff.
7. LUNDBLAD, K. und JOHANSON, O.: Jordbr. Förs. Medd. 61. Stockholm (1956).
8. LÜTTMER, J. und JUNG, L.: Über die Eignung des Natrium-Pyrophosphates zur Dispergierung bei der mechanischen Bodenanalyse. Notizblatt des Hess. Landesamtes für Bodenforschung. 83: 282-291, Wiesbaden (1955).
9. MITCHELL, R. L., in BEAR, F. E. (Ed.): Chemistry of the soil. Reinhold, New York (1964).
10. SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P.: Lehrbuch der Bodenkunde, 6. Aufl., S. 43, Enke, Stuttgart (1966).
11. SCHILLER, H. und LENGAUER, E.: Die Bedeutung der nassen K-Fixierung für die Bewertung der K_{1act}-Zahlen. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenkunde, 111: 203-213, (1965).
12. SCHMID, G.: Standortcharakteristik der Internationalen Dauerversuche (IDV-Serie) und Bodenfruchtbarkeit. l. c. 11, 109: 189-200 (1965).
13. SCHOLL, W.: Chemische Bestimmung von Molybdän in Böden, Pflanzen und Gesteinen mit Toluol-3,4-Dithiol. l. c. 1, 15: 16. Sonderh., 138-147 (1962).
14. WESTERHOFF, H.: Ein Beitrag zur Kupferbestimmung im Boden. l. c. 1, 7: 190 (1954/55).

Anschrift der Verfasser: Dipl.-Ing. Dr. HERWIG SCHILLER und Dipl.-Ing. ERWIN LENGAUER, beide Landwirtschaftl. chem. Bundesversuchsanstalt 4010 Linz, Promenade 37.

Phosphatformen und Phosphatumwandlungsdynamik in Anmoorschwarzerden

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

von F. SOLAR, Wien

Einleitung

Das Problem der Nährstoffdynamik in Anmoorschwarzerden ist einerseits durch deren zum Teil beträchtliche Karbonat- und Salzgehalte und andererseits durch die Immobilisierung der Sesquioxide im Gefolge des Trockenfallens der ursprünglichen Pechanmoore umrissen. Graduelle Differenzierungen sind durch die Vielzahl an Profilvarianten bedingt, vor allem durch die Profilmächtigkeit über dem Schotterkörper und die Art und Mächtigkeit der Überlagerung mit jüngeren Sedimenten. Derartige Überlagerungen erklären sich aus der Entwicklung der Talauen. Auf diesen gelangte als Vorstufe der Anmoorschwarzerde zunächst ein Pechanmoor zur Entwicklung. Im weiteren Verlauf der Taleinschüttung wurde es in bestimmten Bereichen überlagert, so in der rezenten Au durch die dammförmig aufgeworfenen Alluvionen der Flüsse und entlang des Talbodenrandes durch Solifluktionsmaterial und Kolluvien. Eine derartige Mustercatena findet sich O des Leithadurchbruches durch die Parndorfer Platte, gut entwickelte junge Flußdämme treten auch im Raume Laxenburg auf (vgl. H. HACKER u. F. HOCH, 1961).

In der vorliegenden Arbeit wurde zunächst untersucht, in welcher Beziehung die Bodenphosphatformen dreier Anmoorschwarzerden zu ihren oben erwähnten Eigenschaften stehen. Zur Untersuchung herangezogen wurden die Krumen, wobei folgende Methoden Anwendung fanden: Phosphatfraktionierung nach CHANG-JACKSON (1957), wasserlösliche Phosphorsäure im Wasserauszug 1 : 5 nach 30 Minuten Schüttelzeit; auf leichtlösliche Phosphate wurde auch im Doppellaktat- und im Ammonazetatauszug nach C. A. BOWER e. a. (1952) geprüft. Die kolorimetrische Bestimmung erfolgte nach den einschlägig beschriebenen Verfahren (vgl. B. LANGE, 1952, M. L. JACKSON, 1962).

Neben der augenblicklichen Phosphatverteilung interessieren aber auch das Verhalten und die Zustandsänderungen der Boden- und Düngerphosphate als Funktion des Feuchtezustandes der Anmoorschwarzerde; in diesem Zusammenhang können auch mitverabreichte Düngesalze von Bedeutung sein. Um diesen zweiten Fragenkomplex zu untersuchen, wurden die Proben „ingesumpft“, d. h. 200 g Boden im Verhältnis 1 : 1 mit destilliertem Wasser versetzt 4 Wochen in überstautem Zustand belassen und danach langsam abgetrocknet. Die Untersuchung nach den oben angeführten Methoden erfolgte zu vier verschiedenen Zeitpunkten der Probenabtrocknung: an der Fließgrenze, an der Ausrollgrenze, sowie 3 und 6 Wochen nach Erreichen der Ausrollgrenze.

Dieser die Abtrocknung betreffende Probenreihe (im Folgenden Nullserie genannt) wurden andere Serien, die mit Düngersalzen versetzt wurden, gegenübergestellt. Untersucht wurden folgende Salzkombinationen: Boden + Kalisulfat, Boden + Nitramoncal; in beiden Serien sollte die Düngerwirkung auf die Phosphatmobilisierung geprüft werden. Boden + Superphosphat, Boden + Superphosphat + Kalisulfat sowie Boden + Superphosphat + Nitramoncal. Um die Umwandlungen genauer verfolgen zu können, wurden

Höchstmengen von 75 mg P_2O_5 , 90 mg K_2O und 150 mg N gelöst in 200 ml Einsumpfwasser dem Boden unter stetem Einrühren verabreicht. Die ermittelten Ergebnisse wurden als Funktion verschiedener Bodenwassergehalte resp. verschiedener Abtrocknungszeiten und in Form von Abweichungen von den gewählten Bezugszuständen wie Feldprobe und Null-Serie dargestellt.

Allgemeine Charakteristik der untersuchten Profile

In die Untersuchungen wurden drei Profile einbezogen. Profil 1 ist eine tiefgründige Anmoorschwarzerde auf Schotter, es liegt in der Leitha-Au N Gattendorf, Herrschaftsried nahe Kote 136. Profil 2 und 3 liegen S Moosbrunn nahe dem Wasserpumpwerk, Profil 2 repräsentiert dabei eine mittelgründige Anmoorschwarzerde auf Schotter, Profil 3 ist an der Oberkante durch ein 40 cm mächtiges Paket aus Solifluktionsmaterial und Kolluvien überlagert.

Profil 1

A_{1p}	0 – 20 cm.	10 YR 2/2. Pechanmooriger, schluffiger Lehm. Deutlich granulär, feinporös.
A_1	20 – 60 cm.	Mittel- bis grobblockig, sonst wie A_1
AC	60 – 75 cm.	10 YR 4/2, 2,5 Y 6/4. Lehmgiger Schluff, humusfleckig, undeutlich strukturiert
C_g	75 – 160 cm.	Schwach vergleyter Schwemmlöß
D	ab 160 cm.	Kies und Schotter.

Profil 2. Entspricht Profil 1 in den Merkmalen des A-Horizontes. Es ist jedoch seichtgründiger und lagert als $A_{1p}/A_1/D$ bei 50 cm auf Schotter.

Profil 3

A_{1p}	0 – 20 cm.	10 YR 3/2. Mull. Stark lehmiger Sand. Feingranulär, stark porös.
A_1	20 – 40 cm.	Feinblockige Aggregate, sonst wie A_1
A_{fos}	40 – 70 cm.	Begrabenes Pechanmoor.
G_{or}	70 – 115 cm.	Schluffiger Lehm, dichtlagernd
D	ab 115 cm.	Kies und Schotter.

Anm.: Grundwasser im Schotterkörper. Starker Tagwasserstau über der fossilen Anmoorschwarzerde. Zu Beginn der Vegetationsperiode besitzt dieses Wasser eine Leitfähigkeit von 1300 μS .

Aus Tab. 1 können die allgemeinen chemischen Daten der Krumen entnommen werden. Die Böden sind neutral bis schwach alkalisch, die Leitfähigkeitswerte bewegen sich im Bereich schwach salzhaltiger Böden. Das nach der Schneeschmelze in Stockwerksprofilen an der Oberkante fossiler Anmoorschwarzerden gestaute Tagwasser kann Leitfähigkeitswerte bis zu 1300 μS besitzen. In der Umtauschergarnitur dominiert Ca^{++} zu 80–90%, abgesehen von der jüngeren Auflage des Profil 3 ist auch der Mg^{++} -Sättigungsgrad hoch. Dagegen erreichen die Na^+ - und K^+ -Sättigungsgrade kaum 1%. Obwohl die Relation von $Ca^{++} + Mg^{++} : Na^+$ in der Bodenlösung weit enger ist, ist der Alkaligehalt noch immer zu gering, um ähnlich wie in Salzböden die Phosphatlöslichkeit positiv beeinflussen zu können. Der Karbonatgehalt schwankt, er ist besonders hoch in den Profilen 2 und 3, die tiefgründige Anmoorschwarzerde ist dagegen karbonatärmer. Die Böden sind humusreich, wobei die Humusform der Pechanmoore durch die engen C : N-Quotienten von 6–8 besonders ausgewiesen ist.

Tabelle 1: Allgemeine chemische Daten

Profil	pH n KCl	L 1 : 5 μS	wasser- lösliche Kationen mval %	sorbierbare Kationen: ¹⁾ obere Spalte mval %, unterer Sättigungsgrad				$CaCO_3$: ²⁾ %	Humus ³⁾ %
				Na^+	K^+	Mg^{++}	Ca^{++}		
1	7,3	210	1,2	0,16 0,6	0,31 1,20	3,11 11,60	23,1 86,5	2,1	3,1
2	7,8	330	0,5	0,1 0,2	0,14 0,6	3,5 16,0	18,1 83,1	44,1	2,8
3	7,5	420	1,4	0,1 0,2	0,1 0,3	2,1 6,7	29,0 92,9	37,4	2,2

¹⁾ nach BOWER e. a. (1952).

²⁾ im SCHEIBLER-Apparat.

³⁾ Naßverbrennung nach WALKLEY-ARMSTRONG-BLACK.

Phosphatformen und Phosphatlöslichkeit

Wie aus Tab. 2 ersichtlich, verfügen die Böden über nur geringe Mengen leichtlöslicher Phosphate. Die höchsten Mengen an „pflanzenverfügbarer Phosphorsäure“ konnten mittels des chelataktiven Doppellaktatauszuges mobilisiert werden; die mit n-Ammonazetat löslichen Mengen bleiben dagegen in der Größenordnung der leichtlöslichen Phosphate im Sinne von CHANG-JACKSON zurück.

Der größte Teil der anorganischen Phosphate ist an Kalzium gebunden (57–59%), auf die Eisenphosphate entfallen rund ein Drittel bis zu einem Viertel, Aluminiumphosphate und okkludierte Formen treten dagegen stark zurück.

Tabelle 2: „Pflanzenverfügbare Phosphorsäure“ und anorganische Phosphatformen in mg % P_2O_5 (obere Rubrik) und in % der Summe sämtlicher Formen (untere Rubrik)

Probe	„Pflanzenverfügb. Phosphors.“			Phosphatformen					
	Wasser	n-Ammonazetat	Doppellaktat	leichtlösl. P	Al-P	Fe-P	Ca-P	okklud. Al-P	
1	0,5	4,3	4,7	3,3 11,4	0,2 0,7	8,5 28,8	16,8 57,9	0,16 0,6	Spuren
2	0,4	0,7	1,0	0,6 2,9	1,28 2,9	5,5 25,3	13,0 59,5	0,7 2,6	1,1 4,7
3	0,3	1,2	4,2	1,6 6,3	1,6 6,3	5,2 20,4	14,8 59,2	0,9 3,5	0,8 3,4

Es zeigt sich, daß die Verteilung der Phosphate auf ihre einzelnen Formen nicht allein vom Karbonatüberschuß abhängig ist. So entfallen auf die Kalziumphosphate in der karbonatarmen, tiefgründigen Anmoorschwarzerde 57% und auf die gleiche Fraktion in den karbonatreichen Proben 59%. Wie noch unten gezeigt werden soll, sind die Fraktionierungsergebnisse weitgehend Augenblicksgrößen, es zeigt sich aber schon hier, daß die Phosphatverteilung auf die einzelnen Formen auch mit der Profilentwicklung zusammenhängt. Der mittelgründige Boden auf Schotter ist nach seiner hydromorphen Entwicklungsperiode stärker trocken gefallen, die Sesquioxide flockten stärker aus, insbesondere das bei wechselnder Bodenfeuchtigkeit flockungsempfindliche Aluminium, und führten zur Bildung größerer Mengen an Aluminium- und okkludierten Phosphaten. Gleiches gilt für die jüngeren Auflagen, die nach Perioden hoher Wassersättigung abtrockneten. Insgesamt sind jedoch die Mengen der Aluminium- und der okkludierten Phosphate gering. Wie noch unten gezeigt werden wird, unterliegen sie in Gegenwart des Ca^{++} -Überschusses und im Zusammenhang mit dem jahreszyklisch wechselnden Bodenwassergehalt offenbar einer hohen Umsetzung, was eine stete Gleichgewichtsverschiebung in Richtung auf die Kalzium- und die leichter mobilisierbaren Eisenphosphate zur Folge hat.

Durch Überstauung, Abtrocknen und die Düngung bedingte Phosphatumwandlung

An Hand der Krumenproben des Profil 1 wurde die Auswirkung länger andauernder Überstauung und des darauffolgenden Abtrocknens auf die Umwandlung der Boden- und Düngerphosphate geprüft. Aus Abb. 1 kann die durch das Einsumpfen allein ausgelöste Phosphatumwandlung entnommen werden (Null-Serie). Als Folge dieser Behandlung kann gegenüber den Feldproben (vgl. Tab. 2) eine starke Zunahme der leicht löslichen und der Sesquioxidphosphate festgestellt werden. Diese Zunahme hatte eine Abnahme der Kalziumphosphate zur Folge.

In Abb. 2 ist die Phosphatumwandlung in den mit Kalisulfat behandelten Proben in Vergleich gesetzt mit den Fraktionswerten der eingesumpften und luftgetrockneten Null-Proben. Die Abweichungen von diesem Bezugszustand sind in Form von Plus- und

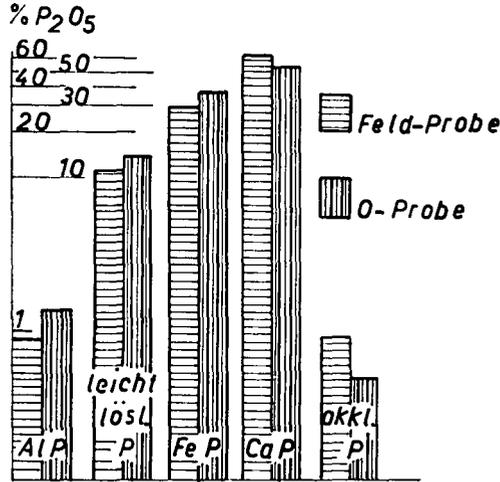


Abb. 1: Prozentuelle Verteilung der Phosphatformen in der unbehandelten Feldprobe und in der „eingesumpften“ Null-Probe.

Minus-Prozenten an der Fließ- und Ausrollgrenze, sowie nach 3- und 6-wöchigem Trocknen (vom Erreichen der Ausrollgrenze an gerechnet) aufgetragen. Es zeigt sich, daß das Kalisulfat eine sehr hohe Mobilisierungswirkung auf die Sesquioxide ausübte und es dadurch einerseits zum Abbau der Eisenphosphate kam und andererseits der Anteil an Aluminium- aber auch an leicht löslichen Phosphaten stieg. Infolge der zweifelsohne durch die Kalisulfateinbringung bedingten pH-Erniedrigung (hohe Kalifixierung, Abspaltung von SO_4^{--}) kommt es in der Lösung aber auch zu einer Erhöhung der Ca^{++} -Konzentration, wodurch auch der Spiegel der Ca-Phosphate anstieg.

Die Umwandlung und Verteilung der zugeführten Superphosphate auf die verschiedenen Fraktionen ist in Abb. 3 festgehalten. Man muß wissen, daß die Super-

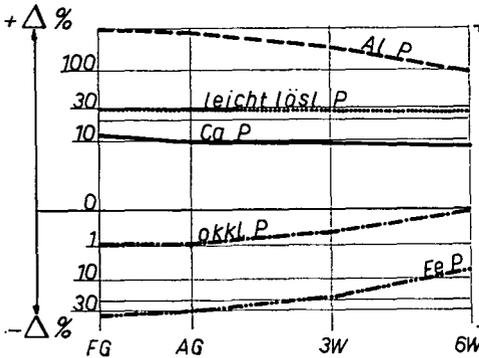


Abb. 2: Phosphatformenvergleich zwischen der „eingesumpften“ Null-Probe und den mit Kalisulfat behandelten Proben. Darstellung in Form von Differenzprozenten der Kalisulfatproben auf den Bezugszustand Null-Serie. Vergleichszeiten: Fließ-Grenze (FG), Ausrollgrenze (AG), lufttrocknen 3 und 6 Wochen nach Erreichen der Ausrollgrenze.

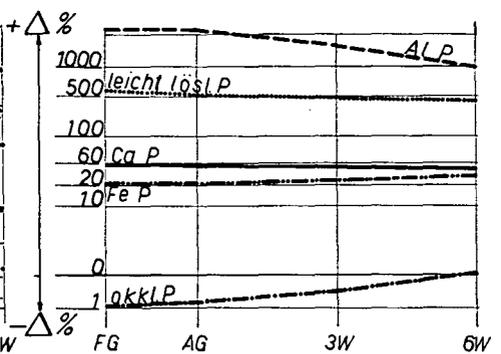


Abb. 3: Phosphatformenvergleich zwischen der „eingesumpften“ Null-Probe und den mit Superphosphat versetzten Proben. Darstellungen und Vergleichszeiten wie in Abb. 2.

phosphatdüngung und die darauf folgende Phosphatumsetzung (Bildung freier Phosphorsäure) die pH-Werte derart erniedrigte, daß eine Mobilisierung der Sesquioxide eintrat, die ihrerseits unter Bildung der entsprechenden Phosphate reagierten (vgl. P. SCHACHT-SCHABEL, 1960). Im Gegensatz zu den mit Kalisulfat allein versetzten Proben konnte hier auch die Bildung von Eisenphosphaten beobachtet werden. Den stärksten Zuwachs konnte man aber auch hier bei den Aluminiumphosphaten beobachten. Durch diesen Vorgang wurde das zugeführte Superphosphat zu 81% in schwer lösliche Formen umgesetzt. Die neugebildeten Sesquoxydphosphate beginnen sich jedoch ihrerseits sehr rasch umzusetzen; es kann angenommen werden, daß innerhalb eines Jahres der in Tab. 2 niedergelegte Feldzustand erreicht ist (vgl. a. J. DAMASKA, 1964).

Die praktische Bedeutung der beschriebenen Maßnahmen und Versuchsbedingungen liegt demgemäß in der Schaffung eines instabilen Phosphatzustandes. Die nacheinander folgende Umsetzungen: okkludierte Phosphate \rightarrow Sesquoxydphosphate \rightarrow Kalziumphosphate führen zu einer Erhöhung der leichtlöslichen Formen. Das Höchstmaß der Instabilität wird in abtrocknenden Anmoorschwarzerden offenbar bis zur Ausrollgrenze gehalten. Von da ab erfolgt ein der Austrocknungszeit proportionaler Stabilitätswachstum unter Bildung der überwiegenden Ca^{++} -Phosphate.

Der Einfluß verschiedener Düngungsmaßnahmen auf die Phosphorsäurelöslichkeit in abtrocknenden Anmoorschwarzerden

In weiterer Folge wurde an Hand der leichtlöslichen Phosphorsäure der Einfluß von Kalisulfat und Nitramoncal auf die Mobilisierung der Bodenphosphate und das Löslichkeitsverhalten von Superphosphat geprüft.

In Abb. 4 ist die Phosphorsäurelöslichkeit an der Ausrollgrenze und im lufttrockenen Zustand miteinander in Vergleich gesetzt und der Umfang der durch das Abtrocknen bedingten Veränderungen wiederum in Form von Differenzprozenten aufgetragen. Dieser Abbildung kann man entnehmen, daß mit dem Austrocknen die Löslichkeit allgemein abnahm, lediglich in jenen Proben, in denen nur eine Mobilisierung der Bodenphosphate stattfand, können Zunahmen an wasserlöslichen Phosphaten festgestellt werden. Ordnet man die verschieden behandelten Proben nach dem Umfang der Phosphatfestlegung bzw. Löslichmachung in einer Reihe mit Bezug auf den Ausgangszustand, dann wird das Ergebnis anschaulicher:

Ammonazetatauszug, Festlegung: $\text{K} > \text{S} > \text{N} > (\text{S} + \text{N}) > \text{O} > (\text{S} + \text{K})$

Wasserauszug, Festlegung: $(\text{S} + \text{K}) > \text{S} > (\text{S} + \text{N})$

Zunahmen: $\text{O} > \text{N} > \text{K}$

Dieses Ergebnis ist mit den unter Abb. 1–3 dargestellten Daten durch Verschiebungen in der Umwandlungsrichtung zu deuten. Man kann annehmen, daß die Verschiebungen in erster Linie durch die pH-Erniedrigung bestimmt waren. Wo es durch kombinierte Düngergaben lokal zu starker pH-Erniedrigung kam, so daß nicht allein die Eisenphosphate und das Kalzium gelöst, sondern auch Sesquioxide, insbesondere aber Eisen mobilisiert wurden, da führte die Bildung der Sesquoxydphosphate zur Erhöhung instabiler Zwischenformen. Diese sind nun zwar ammonazetatlöslich, jedoch unlöslich im Wasserauszug. Mit Kalisulfat und Nitramoncal wurden offenbar nur bereits vorhandene Eisenphosphate mobilisiert; da gleichzeitig auch die Kalziumkonzentration erhöht wurde, unterblieb die Ausbildung instabiler Zwischenformen. Dadurch erhöhte sich zwar die Wasserlöslichkeit, der Gesamtumfang der leichter löslichen Phosphorsäure nahm aber ab.

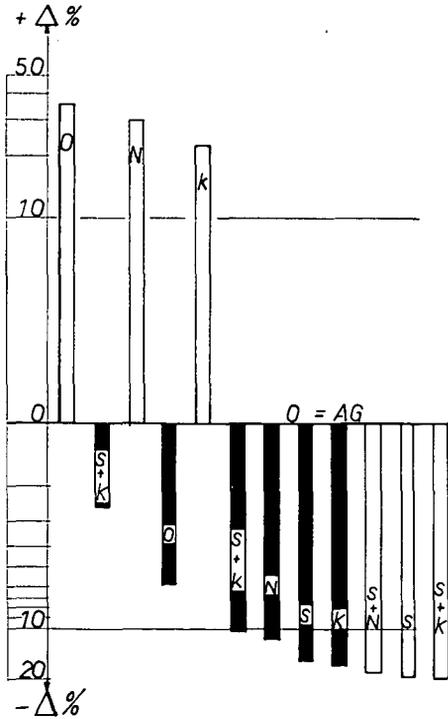


Abb. 4: Durch Abtrocknung und verschiedene Düngerbeimengung bedingte Zu- und Abnahmen der Phosphorsäurelöslichkeit. Weiße Blöcke: wasserlösliche Phosphorsäure, schwarze Blöcke: ammonazetatlösliche Phosphorsäure. O – Null-Serie, K – Kalisulfat, N – Nitramonkal, S – Superphosphat und deren Kombinationen. Bezugszustand: Ausrollgrenze.

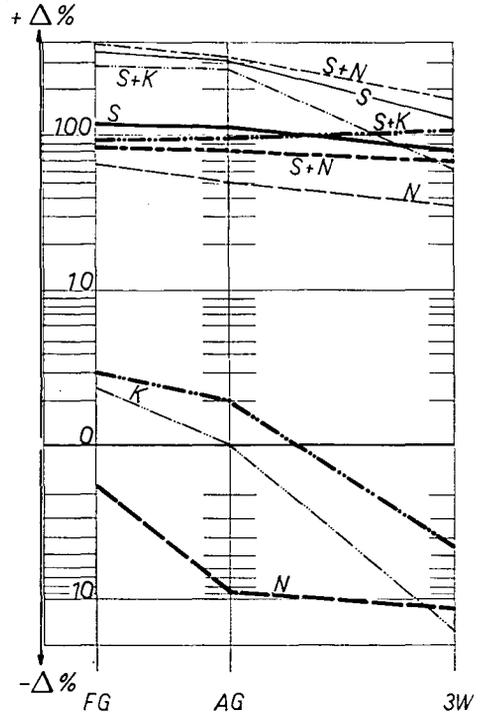


Abb. 5: Durch Abtrocknung und verschiedene Düngerbeimengung bedingte Zu- und Abnahmen der Phosphorsäurelöslichkeit. Schwach ausgezogen: wasserlösliche Phosphorsäure, stark ausgezogen: ammonazetatlösliche Phosphorsäure. Bezugszustand: „eingesumpfte“ Null-Serie.

Um festzustellen, ob durch die Düngung die Phosphorsäurelöslichkeit absolut, also im Vergleich zur ungedüngten Null-Serie geändert wurde, sind in Abb. 5 die Abweichungen der gedüngten Proben in Form von Differenzprozenten an der Ausrollgrenze und in lufttrockenem Zustand aufgetragen. Dadurch zeigt sich gegenüber den Darstellungen unter Abb. 4, daß die zugeführten Superphosphate nur relativ stärker als die Bodenphosphate der O-Probe festgelegt worden waren; bei der gewählten Düngerkonzentration waren die Festlegungsschwellenwerte nur zu rund 56% überschritten, wodurch sich besonders die Wasserlöslichkeit an der Ausrollgrenze stark erhöhte. Eine gewisse Reihungsumkehrung ist dadurch gegeben, daß an der Ausrollgrenze die allein mit Superphosphat gedüngte Probe mehr an ammonazetatlöslicher Phosphorsäure enthielt als die kombiniert mit Superphosphat und Kalisulfat gedüngte, während sich nach dem Abtrocknen das Verhältnis umkehrte. Dies ist offensichtlich darauf zurückzuführen, daß in der ausrollfeuchten, kombiniert gedüngten Probe sehr viel Sesquioxiddphosphate vorlagen und noch nicht in Umwandlung begriffen waren. Die Bildung leichter löslicher Umwandlungsformen erfolgte erst nach fortschreitender Abtrocknung.

Die Bodenphosphate konnten mittels Nitramonkal und Kalisulfat nur teilweise mobilisiert werden. An der Ausrollgrenze zeigte nur Kalisulfat eine positive Wirkung

gegenüber der unbehandelten O-Probe, während mittels Nitramoncal nur die Wasserlöslichkeit erhöht werden konnte. Nach dem Abtrocknen lag die Phosphorsäureverfügbarkeit der O-Probe absolut über der Verfügbarkeit der gedüngten Proben, allein die Wasserlöslichkeit konnte mit Nitramoncal angehoben werden. Die Wirkungsumkehrung zwischen den beiden Düngern ist wahrscheinlich durch die Bildung leichterlöslicher Alkaliphosphate bedingt. Dadurch ist zwar die Phosphorsäurelöslichkeit der Kalisulfatproben absolut höher, sie nimmt jedoch bei gegebenem Ca^{++} -Überschuß der Bodenlösung relativ stärker ab als in den Nitramoncalproben.

Zusammenfassung

1. Krumenmaterial dreier Anmoorschwarzerden wurde zunächst auf seine anorganischen Phosphatformen untersucht. Daraufhin wurde an Hand beschriebener Modellversuche geprüft, ob im Verlauf der Bodenabtrocknung, etwa zu Beginn der Vegetationsperiode

- Bodenphosphate bei bestimmten Bodenwassergehalten über verschiedene anorganische Düngemittel mobilisierbar sind,
- die Festlegung gedüngter Superphosphate herabgemindert werden kann, wenn dem Boden gleichzeitig weitere Salze zugeführt werden, und
- in welcher Richtung die durch die Düngungsmaßnahmen und die abnehmenden Bodenwassergehalte ausgelöste Phosphatumwandlung verläuft.

2. In den durchaus phosphatarmen Böden wird die Verteilung der Bodenphosphate durch die relativ hohen Salzgehalte derart beeinflusst, daß es nur in geringfügigem Umfang zur Bildung okkludierter Formen und von Aluminiumphosphaten kommt. Eisenphosphate sind dagegen zu 20 bis 30% vertreten. Der Umfang dieser Formen ist vom Grad des Trockenfallens der Profile nach ihrer hydromorphen Entwicklung abhängig.

3. Kalisulfatdüngung führt zum Abbau der Eisenphosphate und erhöht den Anteil der übrigen anorganischen Formen, besonders aber des Aluminiumphosphates. Dieses entspricht instabilen Zwischenformen der Phosphatumwandlung und wird spätestens innerhalb eines Jahres unter Bildung von Kalziumphosphaten abgebaut.

4. Superphosphatdüngung bewirkt offenbar eine stärkere pH-Erniedrigung, wodurch zusätzlich auch Eisen in größerem Umfang gelöst und weiterhin der Anteil der Eisenphosphate erhöht wird.

5. Der Umfang der „Phosphorsäureverfügbarkeit“ ist von der Menge der nach der Düngung zwischengebildeten Sesquioxidphosphate abhängig; diese sind einem fortlaufenden Abbau unterworfen und liefern relativ leichtlösliche, instabile Umwandlungsformen.

6. Durch Düngung mit Nitramoncal und Kalisulfat werden nur geringe Mengen von Sesquioxidphosphaten gebildet. Deshalb sinkt mit fortschreitender Bodenabtrocknung ihre mobilisierende Wirkung auf die Bodenphosphate.

7. Das in verschiedener Kombination verabreichte Superphosphat wird zwar z. T. relativ stärker festgelegt, der große Umfang neugebildeter Sesquioxidphosphate bildet jedoch eine kontinuierlich fließende Quelle für die „verfügbare Phosphorsäure“.

8. In abtrocknenden Anmoorschwarzerden sind Superphosphate am besten vor Festlegung geschützt, wenn sie gemeinsam mit Kalisulfat verabreicht werden.

9. Nitramoncal erhöht die Wasserlöslichkeit der Bodenphosphate und der gedüngten Superphosphate, Kalisulfat aber ihre Ammonazetatlöslichkeit.

Literatur

- BOWER, C. A., REITEMEIER, R. F. and FIREMAN, M.: Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.*, V 37, 251–261, 1952.
- CHANG, S. C. and JACKSON, M. L.: Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* V 84, 133–144, 1957.
- DAMASKA, J.: Die Festlegung des Phosphors in den Böden der CSSR bei der Anwendung von Superphosphat. *Zusammenfassungen d. Mitt. d. VIII. Int. Bodenkundl. Kongr.*, II, 287–289, Bukarest, 1964.
- HACKER, H. und HOCH, F.: Die Bodenassoziationen der Feuchten Ebene des südlichen Inneralpinen Wiener Beckens. *Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges.*, H. 6, Tafel III, Wien 1961.
- JACKSON, M. L.: *Soil chemical analysis*. Prentice-Hall Inc., N. J. 1960.
- LANGE, B.: *Kolorimetrische Analyse*. 4. Aufl. Verlag Chemie, 1952.
- SCHACHTSCHABEL, P.: Umwandlung der Düngerphosphate im Boden und Verfügbarkeit des Bodenphosphors. *Landw. Forschung*, 14. Sonderheft, 30–37, 1960.

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Dr. FRANZ SOLAR, 1160 Wien, Neulerchenfelderstraße 43.

Aus der Gesellschaft

A. Tätigkeitsbericht

(zusammengestellt von J. FINK)

Einem Wunsche unserer Mitglieder entsprechend und einem in wissenschaftlichen Gesellschaften üblichen Brauch folgend, werden ab jetzt in den „Mitteilungen“ kurze Tätigkeitsberichte unserer Gesellschaft veröffentlicht. Der vorliegende Bericht ist etwas länger, da er die Zeit seit der Gründung unserer Gesellschaft umfaßt.

Als nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges die Internationale Bodenkundliche Gesellschaft vor allem durch die Initiative Professor van BARENS reaktiviert wurde, ergab sich zwangsweise die Bildung nationaler Gesellschaften oder Komitees, denen allein nach den Satzungen der IBG Sitz und Stimme im Ausschuß zustehen. Weit stärker als der äußere Zwang eines Zusammenschlusses war der Drang nach einem eigenen Forum, in welchem bodenkundliche und artverwandte Fragen behandelt werden können. Nachdem in einem ersten informativen Rundschreiben über 40 positive Antworten eingelangt waren, rief Professor Dr. H. FRANZ als Proponent zur gründenden Versammlung am 21. Jänner 1954 auf, die mit der Konstituierung unserer Gesellschaft und der Wahl von Sektionschef Dr. B. RAMSAUER zum Präsidenten endete. Es war verständlich, daß als Sitz der Gesellschaft das einzige bodenkundliche Hochschulinstitut Österreichs bestimmt wurde. Organisatorisch ergab sich von selbst, zwei Kategorien von Mitgliedern zu schaffen, indem die einen gleichzeitig der IBG angehören (A-Mitglieder), die anderen allein der ÖBG (B-Mitglieder). Nachfolgend eine kurze tabellarische Übersicht über die Zahl der Mitglieder:

	1954	1956	1958	1960	1962	1964	1966	
3*)	31	40	49	57	70	72	79	A-Mitglieder
	16	28	42	58	97	110	131	B-Mitglieder

Weitere Kategorien sind die Fördernden und Ehrenmitglieder unserer Gesellschaft. Unter den Fördernden Mitgliedern seien besonders die Österreichischen Stickstoffwerke erwähnt, die nicht nur durch materielle Unterstützung, sondern auch durch reges Interesse an unserer Arbeit wesentlich zur Entwicklung der Gesellschaft beigetragen haben.

Die Zahl der Ehrenmitglieder — vorgeschlagen vom Vorstand und gewählt von der Generalversammlung — beträgt vorläufig nur zwei; es sind dies

a) Sektionschef i. P. Prof. Dr. B. RAMSAUER (gewählt 1960), ein Pionier der Bodenkartierung, ausgewiesen mit zahlreichen Veröffentlichungen, besonders auf dem Gebiet der kulturtechnischen Bodenkunde, die von ihm auf der Hochschule für Bodenkultur kreiert worden war, der trotz seiner vielschichtigen Aufgaben als leitender Beamter der Wasserbausektion stets Zeit für die Bodenwissenschaft fand, und

b) Prof. Dr. W. KUBIENA (gewählt 1964, aus technischen Gründen erst 1966 offiziell bestätigt), der wohl diesem Leserkreis nicht besonders vorgestellt zu werden braucht. Hervorgehoben sei seine Pionierleistung auf dem Gebiete der Bodenmikroskopie, seine vielen Beiträge zur Nomenklatur und Systematik, welche die Basis aller späteren Schemata

* Vor 1954 waren bereits drei Mitglieder bei der IBG eingeschrieben.

Mitteleuropas darstellen und seine Bemühungen um die Installierung einer modernen Bodenkartierung in Österreich. Professor KUBIENA darf mit Fug und Recht als der bedeutendste österreichische Bodenwissenschaftler bezeichnet werden und hat wesentlich zur Geltung österreichischer Forschung im Ausland beigetragen.

Der organisatorische Aufbau der Gesellschaft entspricht dem anderer wissenschaftlicher Gesellschaften und ist selbstverständlich den vereinspolizeilichen Bestimmungen angepaßt. Während Präsident und Vizepräsident alle zwei Jahre von der Generalversammlung neu gewählt werden müssen, erfolgt die Wahl der übrigen Vorstandsmitglieder jährlich. Um eine Kontinuität in der Vereinsarbeit zu gewährleisten, wurden die Funktionäre meist mehrmals wiedergewählt. Nachfolgend die Vereinsspitze im Zeitraum des Berichtes:

	Präsident	Vizepräsident	Schriftführer	Kassier
1956	RAMSAUER	FRANZ	FINK	KRABICHLER
1957	RAMSAUER	FRANZ	FINK	KRABICHLER
1958	FRANZ	RAMSAUER	NESTROY	KRABICHLER
1959	FRANZ	RAMSAUER	NESTROY	KRAPFENBAUER
1960	FRANZ	GÜNTSCHL	NESTROY	KRAPFENBAUER
1961	FRANZ	GÜNTSCHL	FINK*)	KRAPFENBAUER
1962	FINK	GÜNTSCHL	KRABICHLER	KRAPFENBAUER
1963	FINK	GÜNTSCHL	KRABICHLER	KRAPFENBAUER
1964	FINK	GÜNTSCHL	SOLAR**)	KRAPFENBAUER
1965	FINK	GÜNTSCHL	SOLAR	KRAPFENBAUER
1966	SCHILLER	FINK	MAYR	JANIK

Seit der Gründung der Gesellschaft lag das Interesse der Vereinsführung darin, eine intensive fachliche Betreuung der Mitglieder zu veranlassen, wozu Vorträge, ganztägige Symposia und Exkursionen beitrugen. Sehr rasch wurde auch die Installierung einer eigenen Zeitschrift in Angriff genommen. Die beiden ersten Hefte der „Mitteilungen“ wurden durch den Nachdruck von bodenkundlichen Arbeiten, die in der Zeitschrift „Die Bodenkultur“ erschienen waren, erstellt, die weiteren umfassen Originalarbeiten. Nachfolgend das Verzeichnis der bisher erschienenen Hefte sowie die in diesen enthaltenen wichtigeren Arbeiten***:

Heft 1, 1955, 46 Seiten.

JANIK, V.: Das Beispiel Ottensheim — ein Beitrag zur Bodenkartierung.

FRANZ, H.: Zur Kenntnis der Steppenböden im pannonischen Klimagebiet Österreichs.

SCHILLER, H.: Der Einfluß gestaffelter Jauchegaben auf einen Acker- und Wiesenboden.

Heft 2, 1956, 40 Seiten.

WAGNER, H.: Die Bewertung der Wasserstufen in der Bodenschätzung des Grünlandes.

SCHMIDT, J.: Die Tonminerale burgenländischer Flugsandböden.

* ab 1. 4. 1961.

** ab 1. 3. 1964.

*** Da der Versand der Hefte über den Kreis unserer Mitglieder (und Tauschpartner) hinaus eine starke organisatorische Belastung darstellen würde, werden die „Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft“ für alle Nichtmitglieder durch den Österreichischen Agrarverlag, Wien I., in Kommission übernommen und dortselbst nach Bestellung ausgeliefert. Einzig ausgenommen von dieser Regelung ist der Bezug des Heftes 6, das mit großer finanzieller Unterstützung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft gedruckt worden war und das über das dortige Sekretariat, Göttingen, von Siebold-Straße 4, bestellt werden muß.

EHRENDORFER, K.: Schnellmethoden zur näherungsweise Bestimmung der Bodenfeuchte.

Heft 3, 1959, 43 Seiten.

FINK, J.: Leitlinien der quartärgeologischen und pedologischen Entwicklung am südöstlichen Alpenrand.

JAKLITSCH, L.: Zur Untersuchung oststeirischer Böden, insbesondere jener auf Terrassen des Ritscheintales.

LUMBE-MALLONITZ, Chr.: Untersuchungen über den Zurundungsgrad der Quarzkörner in verschiedenen Sedimenten und Böden Österreichs.

Heft 4, 1960, 58 Seiten.

REICHART, J.: Untersuchungen über die Wirkung intensiver Gülledüngung auf Dauergrünland.

JANIK, V. und SCHILLER, H.: Charakterisierung typischer Bodenprofile der Gjalidalm.

FINK, J.: Bemerkungen zur Bodenkarte Niederösterreichs.

Heft 5, 1961, 55 Seiten.

Untersuchungen über die Auswirkungen langjährigen Gemüsebaues auf den Boden bei mangelnder Düngung:

FRANZ, H.: Einleitende Bemerkungen.

SCHILLER, H.: Die Eigenschaften eines gemüsebaulich genutzten Bodens nach langjähriger Mineraldüngung ohne Stallmist.

GUSENLEITEN, J.: Ergebnisse von Humusdüngungsversuchen im Feldgemüsebau auf unterschiedlichen Bodenformen.

BARBIER, S.: Vergleichende Prüfung der Ertragswirkung von Stallmist, Kompost, Vollhumon und mineralischer Düngung im Gefäßversuch.

FRANZ, H. und LIEBSCHER, K.: Das Gesamtergebnis der Gemeinschaftsuntersuchungen über die Auswirkung langjährigen Gemüsebaues auf den Boden bei mangelnder animalischer Düngung.

NESTROY, O.: Jahreszyklische Schwankungen des Wassergehaltes in zwei niederösterreichischen Lößböden.

Heft 6, 1961, 189 Seiten, 6 Tafeln.

FRANZ, H.: Die Böden Österreichs.

BLÜMEL, F.: Exkursion nach Petzenkirchen, NÖ.

FINK, J.: Exkursion in den östl. Teil des nördl. Alpenvorlandes.

FRANZ, H., KÜPPER, H., LOUB, W., HUSZ, G. und FRASL, G.: Exkursion zum Neusiedlersee.

FINK, J., HACKER, H. und HOCH, F.: Exkursion in eine Kartierungsgemeinde.

FRANZ, H., SOLAR, F., FRASL, G. und MAYR, H.: Exkursion Rax—Hohe Tauern.

FINK, J.: Die Südostabdachung der Alpen.

JANEKOVIĆ, G.: Über das Alter und den Bildungsprozeß von Pseudogley aus pleistozänem Staublehm am südwestlichen Rand des pannonischen Beckens.

Heft 7, 1962, 46 Seiten, 1 Karte, 1 Tabelle.

WEIDSCHACHER, K.: Die Böden des niederösterreichischen Weinviertels südlich Retz.

Heft 8, 1964, 72 Seiten, 2 Karten.

SOLAR, F.: Zur Kenntnis der Böden auf dem Raxplateau.

Heft 9, 1965, 72 Seiten.

MIECZKOWSKI, Z.: Untersuchungen über die Bodenzerstörung im niederösterreichischen Weinviertel (am Beispiel des Bisamberg-Rußbachgebietes).

Heft 10, 1966, 61 Seiten.

GHOBIAN, A.: Salz- und Steppenböden des Seewinkels (Burgenland, Österreich): Charakteristik, Meliorationsergebnisse und bodenwirtschaftliche Aspekte.

Das Vortragsprogramm wurde durch die Aktion des Notringes der wissenschaftlichen Verbände Österreichs „Vorträge ausländischer Gelehrter“ finanziell untermauert und wesentlich verbreitert. In diesem Zusammenhang muß auch dankend hervorgehoben werden, daß der „Notring“ durch Druckbeihilfen die Herausgabe unserer „Mitteilungen“ ermöglicht. Da ein Großteil unserer Mitglieder aus den Reihen der Bodenkartierung und Bodenschätzung kommt, wurden die Veranstaltungen stets auf die Wintermonate konzentriert, nur die Exkursionen blieben naturgemäß im Sommerhalbjahr. Nachfolgend das bisherige Veranstaltungsprogramm, dessen detaillierte Wiedergabe zugleich einen Dank an die einzelnen Vortragenden darstellen möge:

1954

- 6. 5. Prof. Dr. Ing. F. HARTMANN: Grundsätzliches über forstliche Standortskartierung.
- 19. 5. Doz. Dr. J. FINK: Boden und Landschaftseinheiten des Marchfeldes.
- 8. 6. Exkursion in das Neusiedler-See-Gebiet; Führung Prof. Dr. Ing. H. FRANZ.
- 9. 12. Verschiedene Kongreßberichte: Prof. Dr. H. FRANZ, IBG in Leopoldville, Sekt.-Chef. Doz. Dr. B. RAMSAUER, FAO-Subkommission in Gent, Hofrat Ing. E. JESSER, DBG in Freiburg im Breisgau.

1955

- 29. 1. Generalversammlung; anschließend Prof. Dr. Ing. H. FRANZ, Boden und Bodenvirtschaft im Kongo.
- 10. 2. Dr. H. SCHILLER: Jahreszeitliche Kollidbeweglichkeit zweier oberösterreichischer Böden.
- 14. 3. Prof. Dr. A. G. WINTER (Bonn): Vorkommen und Bedeutung von Hemmstoffen im Kreislauf der Natur
- 22. 5. Exkursion in den Raum Retz—Obermarkersdorf, Führung Prof. Dr. Ing. H. FRANZ.
- 23. 11. Doz. Dr. W. SCHMIDT: Untersuchungsmethoden der Tone.
- 14. 12. Dr. F. BRANTNER: Spät- und nacheiszeitliche Vegetationsentwicklung in Österreich.

1956

- 18. 1. Generalversammlung; anschließend Doz. Dr. J. FINK, Bodenentwicklung auf fossilen und rezenten Lößböden.
- 14. 3. Dr. H. SCHILLER: Die Bodenuntersuchung in Holland.
- 18. 4. Prof. Dr. Ing. H. FRANZ: Probleme spanischer Böden.
- 16. 5. Doz. Dr. G. FRASL: Beiträge der Petrographie zur Bodenforschung.
- 10. 6. Exkursion Wiener Wald—Pottenbrunn—Traisental—Tullner Feld; Führung Prof. Dr. Ing. H. FRANZ und Doz. Dr. J. FINK.

1957

- 16. 1. Generalversammlung; anschließend Bericht vom VI. Int. Bod. Kongreß in Paris (Prof. Dr. Ing. H. FRANZ, Doz. Dr. J. FINK).
- 13. 2. Dr. W. LOUB: Über Bodentypen in Österreich und ihre Mikrobiologie.
- 21. 3. Prof. Dr. H. ERHART (Paris): Die Veränderung des tropischen Landschaftsbildes durch den Menschen.

22. 3. Prof. Dr. H. ERHART (Paris): Die Korrelation zwischen Vegetations- und Sedimentationszyklen (Biorhexistase).
3. 4. Dr. H. SCHILLER: Zur Frage der Leistungsprüfung von Böden.
16. 4. Exkursion, gemeinsam mit der Geologischen Gesellschaft, in das mittlere Burgenland; Führung Dir. Prof. Dr. H. KÜPPER und Prof. Dr. J. FINK.
13. 11. Dipl.-Ing. REICHMANN: Neue Methoden der Dichtemessung in Böden.
11. 12. Doz. Dr. H. HÄUSLER: Untersuchungen an oberösterreichischen Auwaldböden.

1958

15. 1. Generalversammlung, anschließend Prof. Dr. Ing. H. FRANZ: Boden und Bodenvirtschaft im Raum südlich der Sahara (Tschad-Gebiet).
12. 2. Dr. N. ANDERLE: Eindrücke einer Jugoslawienexkursion.
17. 3. Prof. Dr. Don KIRKHAM (USA): Wasserhaushalt der Böden und Pflanzenwachstum.
19. 3. Prof. Dr. Don KIRKHAM (USA): Bodenphysikalische Untersuchungsmethoden in den USA.
16. 4. Dir. Dr. K. SCHOBER: Die moderne Bodenkunde und die praktische Landwirtschaft.
5. 5. Prof. DDr. E. MÜCKENHAUSEN (Bonn): Aufgaben der Bodenkunde im westdeutschen Industriegebiet.
1. 6. Exkursion, gemeinsam mit der Geologischen Gesellschaft, in den Raum Böheimkirchen—Melk; Führung Prof. Dr. J. FINK und Chefgeologe Dr. R. GRILL.
5. 11. Dr. W. LOUB: Humusbildung und Humuserzeugung.
10. 12. Dipl.-Ing. H. SCHLEIFER: Neue Arbeiten des Bundesversuchsinstitutes für Kulturtechnik und technische Bodenkunde in Petzenkirchen.

1959

14. 1. Generalversammlung, anschließend Prof. Dr. J. FINK: Bodensystematische Grundlagen der Bodenkartierung in Österreich.
18. 2. Dr. F. BAUER: Boden und Vegetation im Rahmen der postglazialen Entwicklung des alpinen Hochkarstes.
11. 3. Sekt.-Chef Prof. Dr. B. RAMSAUER: Böden in den Hohen Tauern und ihr Wasserhaushalt.
25. 5. Prof. Dr. G. MANIL (Gembloux): Vordringliche bodenkundliche Probleme der Landwirtschaft in Äquatorialafrika.
18. 11. Doz. Dr. G. FRASL: Welche bodenkundlichen Probleme können mit Hilfe der Mineraluntersuchung am leichtesten gelöst werden?
9. 12. Dr. F. BAUER: Ergebnisse neuerer Karstforschungen (Bericht über das Karstsymposium in Wien, Oktober 1959).

1960

20. 1. Generalversammlung, anschließend Prof. Dr. H. FRANZ: Die Bodenkunde (Forschung und Lehre) in der technischen Revolution der Gegenwart.
16. 3. Dipl.-Ing. O. NESTROY: Jahreszyklische Schwankungen des Wassergehaltes in Lößböden.
27. 4. Dr. H. JELEM: Die forstliche Standortskartierung der Forstl. Bundesversuchsanstalt Schönbrunn.
9. 11. Doz. Dr. K. EHRENDORFER: Bestimmungen des Nährstoffgehaltes in Böden.

4. 12. Dr. H. SCHILLER und Dipl.-Ing. E. LENGAUER: Die Prüfung des Einflusses einiger Bodenfaktoren auf den Pflanzenertrag mit einem numerisch-graphischen Verfahren.

1961

18. 1. Generalversammlung, anschließend Prof. Dr. J. FINK: Internationale Korrelation der Bodentypen am Beispiel der neuen Europakarte.
 8. 2. Prof. Dr. H. WAGNER: Pflanzengesellschaften als Zeiger des Wasserhaushaltes.
 6. 3. Prof. Dr. De LEENHEER (Gent): Einfluß der Mechanisierung auf den physikalischen Zustand der Lößböden Belgiens.
 8. 3. Prof. De LEENHEER (Gent): Methoden zur Untersuchung der Bodenstruktur.
 19. 4. Dir. Prof. Dr. A. ZELLER: Isotopen in der Bodenforschung.
 9. 5. Dr. h. c. A. VOISIN (Versailles): Bodenleben und Weidetier.
 17. 8.—5. 9. Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Wien, verbunden mit Exkursionen unter Führung von österr. Kollegen (vgl. Heft 6, Mitteilungen unserer Gesellschaft).
 22. 11. Dr. F. BLÜMEL: Morphologie und Wasserhaushalt von Pseudogleyen.
 13. 12. Prof. Dr. M. BREITENÖDER: Grundwasser und Bodenwasserwirtschaft.

1962

24. 1. Generalversammlung, anschließend Prof. Dr. H. FRANZ: Genese der südost-europäischen Salzböden.
 7. 3. Dr. A. CZELL: Bodenkundliche Vorarbeiten für die Aufforstung in den Hochlagen der Tiroler Zentralalpen.
 21. 3. Dr. H. MESSINER: Pflanzenbauliche Beurteilung chemischer Bodenanalysen.
 4. 4. Dr. P. STEFANOVITS (Budapest): Die bodengeographischen Gesetzmäßigkeiten Ungarns.
 21.—24. 6. Exkursion in das südöstliche Österreich, Führung Prof. Dr. J. FINK und Dr. F. ORNIG.
 14. 11. Dr. H. MESSINER: Zur Frage der Bestimmung der Bodenart.
 12. 12. Prof. Dr. H. FRANZ: Bilder aus der afrikanischen Bodenlandschaft.

1963

16. 1. Generalversammlung, anschließend Prof. Dr. J. FINK: Gedanken zur Systematik, Klassifikation und Nomenklatur der Böden Österreichs.
 5. 2. Dr. H. SCHILLER und Dr. J. GUSENLEITNER: Beziehungen zwischen Bodeneigenschaften und der botanischen Zusammensetzung von Wiesenbeständen.
 28. 2. Ganztägiges Symposium über Systematik und Nomenklatur der österreichischen Böden.
 13. 3. Doz. Dr. W. LOUB: Zwischen Nairobi und Narvik — Böden im Spiegel ihrer Mikrobiologie.
 3. 4. Dr. G. HAASE (Dresden): Asiatische und europäische Steppenböden.
 25.—26. 5. Exkursion in das Marchfeld, Wein- und Waldviertel; Führung Prof. Dr. J. FINK, Ing. W. HAMMER und FR. Dipl.-Ing. A. STECKER. Hinweise siehe unten.
 30. 10. Doz. Dr. B. ULRICH (Göttingen): Neuere Entwicklungen in der chemischen Bodenuntersuchungsmethodik, Prinzipien und Ergebnisse.
 20. 11. Dr. H.-J. ALTEMÜLLER (Braunschweig-Völkenrode): Österreichs Böden im Spiegel ihrer Mikromorphologie.
 11. 12. Dr. N. ANDERLE: Bodenkundliche Impressionen aus Nordafrika.

1964

22. 1. Generalversammlung, anschließend Prof. Dr. H. FRANZ: Klimawandel und Bodengenese in Südamerika.
8. 3. Ganztägiges Symposium über Systematik und Nomenklatur der österreichischen Böden.
- 29.—31. 5. Exkursion nach Oberösterreich (und Salzburg); Führung Prof. Dr. J. FINK und Dr. H. SCHILLER. Exkursionsbericht siehe unten.
28. 10. Prof. Dr. J. FINK, Dr. F. SOLAR: Bericht über den Internationalen Bodenkundlichen Kongreß in Bukarest 1964 (und Exkursionen in Rumänien).
2. 12. Prof. Dr. H. FRANZ: Bericht über den Internationalen Bodenkundlichen Kongreß in Bukarest 1964 (und die Exkursion in die Sowjet-Union).

1965

20. 1. Generalversammlung, anschließend Dr. H. HÄUSLER: Bodenkunde und Bauwesen.
3. 3. Dr. H. SCHILLER: Die Bedeutung des NH_4 - und K-Fixierungsvermögens der Böden für die Kartoffelerträge.
6. 4. Prof. Dr. E. v. BOGUSLAWSKI (Gießen): Ertragsforschung und Ertragsgesetz.
12. 4. Exkursion in das Machland; Führung Dir. Dr. F. BLÜMEL. Exkursionsbericht siehe unten.
17. 11. Prof. Dr. H. FRANZ: Klimabedingte Bodenentwicklung und Bodenwirtschaft in Südamerika.
1. 12. Prof. Dr. L. JUNG (Gießen): Boden und Landschaft Anatoliens.

1966

19. 1. Generalversammlung, anschließend Prof. Dr. W. KUBIENA (Hamburg): Wege und Ziele der bodenkundlichen Forschung in den Tropen.
24. 1. Ganztägiges Symposium über Systematik und Nomenklatur österreichischer Böden.
2. 2. Doz. Dr. W. LOUB: Untersuchungen des Gewässergrundes als Grundlage für Gewässernutzung, Gewässerschutz und Landesplanung.
9. 3. Dir. Dr. F. BLÜMEL: Die Bedeutung der Eisenverbindungen für die Bodenmorphologie, die Drainage und die Wasserversorgung.
23. 3. Dipl.-Ing. K. HIMMELFREUNDPOINTNER: Bodenkundliche und waldbauliche Ergebnisse aus einem Forstdüngungsversuch.
- 10.—13. 6. Exkursion in das steirische Ennstal und das mittlere Murtal; Führung Prof. Dr. J. FINK, Dipl.-Ing. F. FREILINGER und Dr. F. ORNIG. Exkursionsbericht hierüber folgt im nächsten Heft der „Mitteilungen“.
16. 11. Dr. H.-J. ALTEMÜLLER (Braunschweig-Völkenrode): Spezielle optische Methoden zur Untersuchung von tonigen Anteilen und von Humus in Böden.
30. 11. Prof. Dr. J. FINK: Bericht über den 7. INQUA-Kongreß in den USA.
14. 12. Dr. R. LIBISELLER: Der Spurenelementgehalt der Böden in Beziehung zum Muttergestein.

Über das Ergebnis der drei Symposia betreffend die Nomenklatur und Systematik der österreichischen Böden wird ein zusammenfassender Bericht in einem der nächsten Hefte dieser Zeitschrift erscheinen.

B. Exkursionen

Wieder einem Wunsche unserer Mitglieder entsprechend, werden anschließend die Exkursionen unserer Gesellschaft näher beschrieben. Von den Fahrten 1954, 1955 und 1956 liegen keine Beschreibungen vor. Sie dienten vornehmlich einer ersten Koordinierung der Teilnehmer im Hinblick auf gemeinsame Profilaufnahme und typologische Einwertung. Die Exkursionen 1957 und 1958 waren stark quartärgeologisch ausgerichtet. Von ihnen liegen Exkursionsberichte in den „Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft Wien“, 50. Bd. 1957, Seite 464/5 und 51. Bd. 1958, Seite 443—449, vor. Die Exkursionen 1961 anlässlich der Tagung der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft in Wien sind eingehend in Heft 6 beschrieben. Leider waren diese Exkursionen infolge der großen Zahl von Anmeldungen nur den deutschen Kollegen zugänglich gewesen, sodaß wertvolle Kontaktmöglichkeiten verloren gingen. Die Exkursion in die Südostabdachung und in das südöstliche Alpenvorland wurde 1962 für österreichische Teilnehmer wiederholt, es wurde praktisch die gleiche Route wie 1961 gewählt, die in Heft 6 beschrieben ist.

1963 fand eine Exkursion in das Marchfeld, Weinviertel und das nördliche Waldviertel statt. Für das Marchfeld liegt eine umfangreiche Beschreibung von J. FINK in „Exkursionen durch Österreich“, Verh. Geol. B. A. Wien, Sonderheft D, 1955, vor, die eine detaillierte Schilderung hier unnötig macht. Neben den bekannten (und schon beschriebenen) Aufschlüssen im Marchfeld war neu die Vorführung eines Bodenprofils W vom Reuhof (E von Seyring), an welchem die genetische Stellung des „Bodens auf Älterem Flugsand“ demonstriert wurde:

Dieser Ältere Flugsand liegt mit ca. 40 cm dem Schotter verschiedener Terrassen (Gänserrdorfer-, Schloßhofer Terrasse u. a.) auf. Dort, wo von der Schotteroberkante aus Kryoturba-tionstaschen in die Tiefe reichen, die mit einem textuell ähnlichen Material wie der Flugsand gefüllt sind, ergibt sich die Möglichkeit, das Profil bis in größere Tiefe zu verfolgen. Dabei zeigt sich, daß der Sand in den Kryoturba-tionstaschen teilweise entkalkt und verbraunt wurde. Zapfenförmig greift von oben ein brauner Verwitterungshorizont in die Tiefe und zeigt meist an seiner Untergrenze einen schmalen Saum von Ton-anreicherung, während der unverwitterte Sand an der Oberkante durch Kalk verkittet ist. Der braune Sand ist nun heute weitgehend durch Ziesel- und Regenwurmtätigkeit humifiziert, der darüber folgende Flugsand zur Gänze regradiert. Es liegt somit derzeit ein Tschernosem vor, der aus einer Braunerde ent-standen ist, weshalb die Typenbezeichnung „Sekundärer Tschernosem“ vorgeschlagen wird.

Der Beweis, daß selbst in so tiefen Positionen im Trockengebiet eine Verbräunung möglich ist, liegt in den „Höheren Teilen der Marchniederung“, wo als Boden der postglazialen Wärmezeit eine Braunerde (mit Fällungsstreifen in den C-Horizont) vorliegt, die später von Alluvionen überlagert wurde. Diese Profile wurden bereits in der oben zitierten Arbeit beschrieben.

Der weitere Weg der Exkursion führte durch das östliche Weinviertel, die Laaer Bucht und in das nördliche Waldviertel. Zahlreiche Profile waren von den Angehörigen der Österreichischen Bodenschätzung vorgeführt worden und gaben einen guten Überblick über die regionale Verbreitung der Bodentypen im östlichen Österreich. Von diesen feldbodenkundlich aufgenommenen und beschriebenen Profilen liegen leider keine Analysen vor, weshalb von einer näheren Darstellung abgesehen wird.

Exkursion der Österr. Bodenkundlichen Gesellschaft vom 29.—31. 5. 1964
nach Oberösterreich und Salzburg (Route siehe Abb. 1)

Die unter Führung von H. SCHILLER für Oberösterreich und J. FINK für Salzburg stehende Exkursion war bestens von verschiedenen Seiten unterstützt worden, wofür hier herzlich gedankt sei: Die Bodenanalysen wurden in den Bundesversuchsanstalten in Linz, Petzenkirchen und Wien (Bodenkartierung) durchgeführt, die Beschreibung der Profile in Oberösterreich vorwiegend von Herrn Dipl.-Ing. Dr. V. JANIK. Die Führung im Biolabor der Österreichischen Stickstoffwerke besorgte dessen Leiter, Herr Dipl.-Ing. Dr. techn. H. MAYR, auf den Versuchsfeldern führte Frau Dozent Dipl.-Ing. Dr. E. PRIMOST. Den Österreichischen Stickstoffwerken ist außerdem für eine nette Einladung wärmstens zu danken.

Am Nachmittag des 29. Mai wurde von Linz aus mit der Besichtigung der Laboratorien und Versuchsflächen im Areal des Biolabors begonnen. Es wurde das dort angelegte Bodenprofil studiert, das im Rahmen der internationalen Arbeitsgemeinschaft für Bodenfruchtbarkeit für den „Internationalen Dauerfruchtfolgeversuch (IDV)“ ausgewählt worden war. Bei diesem langjährig geplanten Fruchtfolgeversuch wird mit der Rotation Kartoffel-Winterweizen-Hafer die Düngung in drei Intensitätsstufen variiert ($N_0K_2P_2$, $N_1K_1P_1$, $N_2K_2P_2$, und $N_3K_3P_3$), wobei nicht ein einzelner Nährstoff, sondern alle drei Nährstoffe gesteigert werden. Das Ziel dieser in verschiedenen europäischen Ländern durchgeführten Versuche ist die Untersuchung der Wachstumsfaktoren Boden, Klima, Witterung, Pflanze und Düngung sowie deren Wechselwirkungen. Es sollen die Zusammenhänge zwischen den genannten Faktoren und deren Wirkung auf Ertrag und Qualität der geprüften Sorten eingehend studiert werden.

Profilbeschreibung:

Bodentyp und Ausgangsgestein: Parabraunerde aus würmeiszeitlichem Löß der Hochterrasse.

Ort: Hart b. Linz, Seehöhe: 270 m, Lage: eben,

Klima: Jahresmitteltemperatur 9° C,

Jahresniederschlag: 800 mm.

- | | |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A _p | 0—20 cm humoser, lehmiger Schluff (milder Lehm), locker gelagert, krümelnd, Farbe 10 YR 3/3—4/2, sehr gut durchwurzelt, gut durchlüftet, biologisch rege tätig, schwach klebend, plastisch, übergehend. |
| A _o | 20—45 cm schwach humoser, lehmiger Schluff, mitteldicht gelagert (schwache Pflugsohle), undeutlich feinblockige Struktur, Farbe 10 YR 4/3—3/3, sehr gut durchwurzelt, gut durchlüftet, biologisch gut tätig, schwach klebend, plastisch, allmählich übergehend. |
| B ₁ | 54—75 cm schwächst mullhumoser, lehmiger Schluff bis Lehm, dichter gelagert, deutlich feinblockige Struktur, Farbe 10 YR 4/4, gut durchwurzelt und durchlüftet, biologisch tätig, klebend, gut plastisch, allmählich übergehend. |
| B ₂ | 75—110 cm in Spuren humoser, lehmiger Schluff, mitteldicht gelagert, undeutlich feinblockige Struktur, Farbe 10 YR 4/4—5/4, abnehmende Durchwurzlung, noch gut durchlüftet, biologisch schwach tätig, in Spuren verwitterungsfleckig, schwach klebend, plastisch, rasch übergehend. |
| C | ab 110 cm Schluff, unverwitterter Löß, Farbe 2,5 Y 5/6, vereinzelt kleine Rostflecke. |

Die Analysen sind in Tab. 1 enthalten und wurden an der Landw.-chem. Bundesversuchsanstalt Linz durchgeführt. Die Korngrößen wurden nach Vorbereitung der Proben mittels der internationalen Methode B nach J. KOPETZKY bestimmt. Der Gehalt an org. Substanz wurde nach dem Verfahren WALKLEY-ARMSTRONG festgestellt. Die Bestimmung der Karbonate erfolgte nach SCHEIBLER, die der T-Werte nach MEHLICH.

Gesamtbeurteilung: Mittelschwerer Ackerboden, tiefgründig mit guter Krümelbeständigkeit; sehr gut durchwurzelt und durchlüftet; Wasserhaushalt ausgeglichen; Bodenbearbeitung nicht schwierig; Mullhumus; noch gute Basensättigung, gut gepuffert; mittlerer Phosphorsäure-, geringer Kaligehalt; ertragstreuer Zuckerrübenboden.

Die Versuchsergebnisse des Versuches von Linz-Haag und weiterer 4 Standorte der ersten 4 Jahre wurden von B. SCHNEIDER varianzanalytisch ausgewertet und ergaben, daß die Erträge vorwiegend von der Düngung, aber auch maßgebend vom Standort (Boden und Klima), beeinflußt waren (Tab. 2).

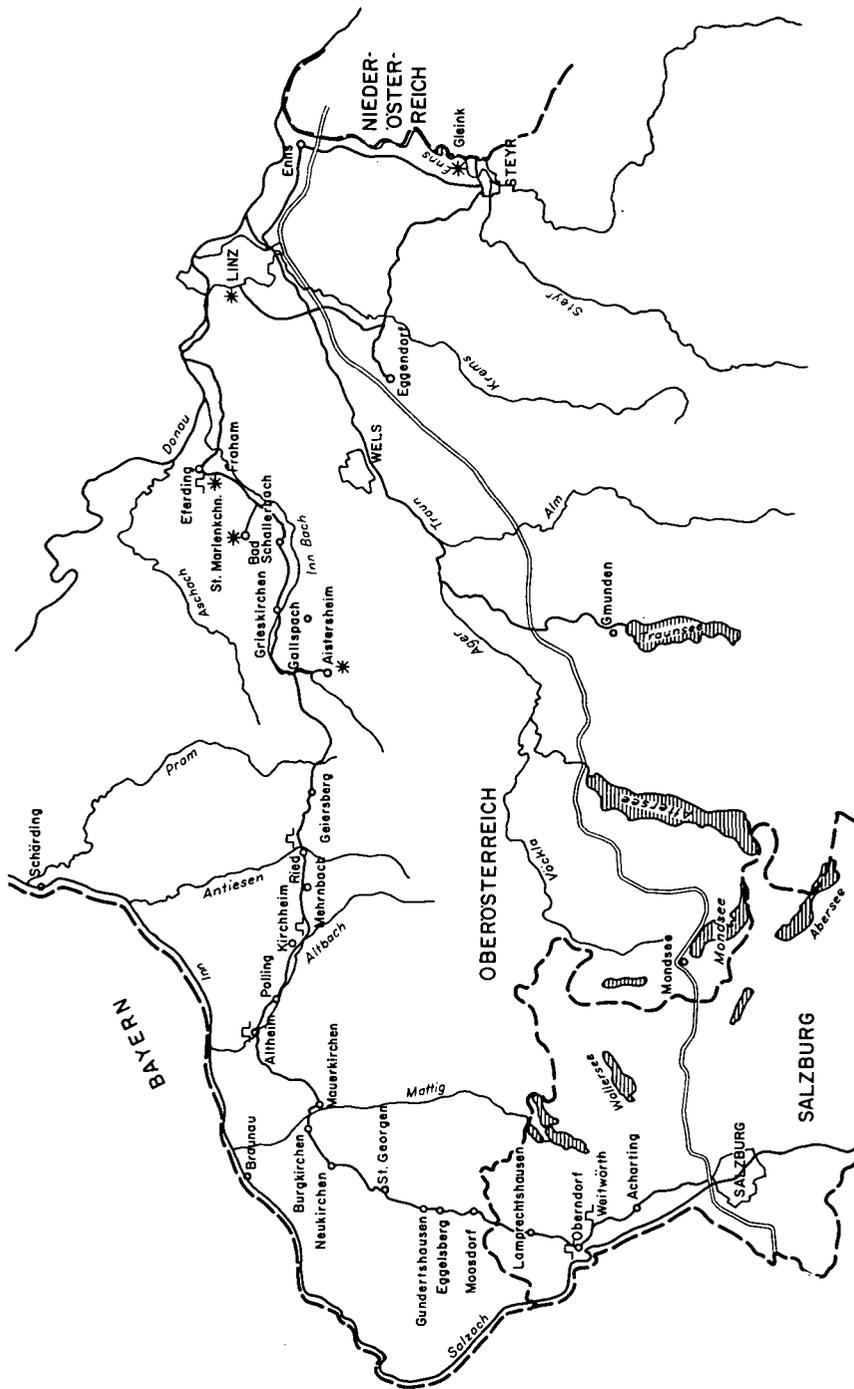


Abb. 1: Fahrtstrecke der Exkursion nach Oberösterreich und Salzburg; Steinbruchzeichen ... Aufschlüsse, Sternchen ... Bodenprofile. (Bei Eggenhofen wäre das Sternchen zu ergänzen.)

Tabelle 1: Die Ergebnisse der physikalischen und chemischen Bodenanalysen, durchgeführt an der Landw. chem. Bundesversuchsanstalt Linz

Ort Bodentyp Seehöhe J. Temperatur J. Niederschlag	Horizont Bezeichnung Mächtigkeit in cm	Korngrößen der Feinerde %			Org. Subst. %	CaCO ₃ %	pH m/KCl	V- Wert %	T _{min} mval/100 g	T _{org}		
		2-0,1	0,1-0,05	<0,01								
Hart Parabraunerde 270 m 9,1° C, 800 mm	A _p	0-20	2,2	7,6	53,0	37,2	2,3	0	6,7	82	8,5	6,9
	A	20-45	2,0	7,2	50,0	40,8	1,7	0	6,7	74	9,6	5,5
	B ₁₁	45-75	0,4	5,2	48,0	46,4	0,9	0	6,4	82	14,4	2,0
	B ₂₁ C	75-100 ab 110	0,6 0,4	4,8 6,4	50,0 63,0	44,6 30,2	0,5	29,9	6,5 7,1	78 100	14,2 9,1	2,3
Eggendorf mäddiger Pseudogley 370 m 8,6° C, 860 mm	A _p	0-20	6,0	5,6	41,0	47,4	4,3	0	6,6	73	10,7	7,5
	A ₀ S	20-40	4,6	4,2	36,8	54,4	1,2	0	5,9	76	12,4	2,8
	S ₁	40-85	3,8	4,8	38,4	53,0	0,8	0	5,8	71	19,8	2,2
	S ₂	ab 85	4,0	8,0	41,2	46,8	0,4	0	5,5	77	25,6	0,8
Fraham „Pölsinger Letten“ 275 m 8,7° C, 800 mm	A _p	0-20	8,4	10,0	30,6	51,0	2,2	0,6	7,1	91	18,2	9,0
	AB	20-40	6,8	5,6	23,8	63,8	1,6	0,2	5,6	79	22,0	6,8
	B ₁₁	40-60	4,6	3,6	16,6	75,2	1,1	0	5,7	79	30,6	3,8
	B ₂₁ A ₀ z	60-85 85-135	4,0 1,2	3,4 3,2	15,8 24,6	76,8 71,0	0,7 2,3	0	5,4 5,7	86 85	35,2 36,8	7,0 13,8
Aistersheim Pseudogley 400 m 7,8° C, 850 mm	A _p	0-15	6,8	9,8	35,6	47,8	3,0	1,1	6,3	92	10,9	9,7
	A ₀ S	15-35	5,6	8,0	38,0	48,4	2,3	0,5	6,1	90	12,9	6,9
	S ₁	35-65	3,0	4,6	36,0	56,4	0,6	0	6,0	85	12,9	6,1
	S ₂ C	65-120 ab 120	3,0 4,2	3,0 7,0	39,2 36,4	52,6 52,4	.	0	6,1 6,7	83 84	19,0 22,4	2,5

Tabelle 2: Varianzanalytische Auswertung der ID-Versuche durch Dr. B. SCHNEIDER, Gießen
 Faktoren: Düngung (D), Jahre (J), Fruchtarten (F) und Standorte (St).

Ursache	SQ	FG	s ²	F	F5 %	F1 %
D	51.763,84	3	17.254,61	152,80	2,68	3,95
J	9.825,95	3	3.275,32	29,01	2,68	3,95
F	896,64	2	448,32	3,97	3,07	4,79
St	24.877,73	4	6.219,43	55,08	2,45	3,48
WW(DxJ)	10.000,75	9	1.111,19	98,40	2,02	2,66
WW(DxF)	739,44	6	123,24	1,09	2,17	2,96
WW(DxSt)	1.387,87	12	115,66	1,02	1,83	2,34
WW(JxF)	4.482,03	6	747,01	6,62	2,17	2,96
WW(JxSt)	15.327,22	12	1.277,27	11,31	1,83	2,34
WW(FxSt)	22.602,55	8	2.825,32	25,02	2,02	2,66
Rest	19.646,82	174	112,92			
Gesamt	161.550,84	239				

s_{Rest} = 10,6 dz/ha.

Als nächstes Bodenprofil wurde jenes von Eggendorf besucht, ein charakteristischer Standort der in Österreich durchgeführten 31 Versuche aus der Reihe der „Internationale Stickstoffserienversuche (INV)“ des Jahres 1959, bei denen als Versuchsfrucht Hafer verwendet wurde.

Profilbeschreibung:

Bodentyp und Ausgangsgestein: Mäßiger Pseudogley auf Deckenlehm *.
 Ort: Eggendorf im Traunkreis, Sechöhe: 370 m, Lage 2° SW.
 Jahrestemperatur: 8,6° C, Jahresniederschlag: 860 mm ø.

A _p	0–20 cm humoser, in Spuren kiesiger lehmiger Schluff, mitteldicht gelagert, gut krümelnd, Farbe 10 YR 3/3, sehr gut durchwurzelt und durchlüftet, biologisch tätig, klebend, plastisch, rasch übergchend in
A _o S	20–40 cm schwach humoser schluffiger Lehm, etwas dichter gelagert, undeutlich blockige Struktur, Farbe 10 YR 4/3, sehr gut durchwurzelt und durchlüftet, biologisch tätig, schwache Verwitterungs- und Fahlflecken, vereinzelt kleine Eisenkonkretionen, klebend, plastisch, übergchend
S ₁	40–85 cm schluffiger Lehm, dicht gelagert, deutlich blockig-prismatische Struktur, Farbe 10 YR 5/6, stark abnehmende Durchwurzlung, mäßig durchlüftet, biologisch schwach tätig, zahlreiche deutliche Rost- und Fahlflecken, sehr viele Eisenkonkretionen, gut klebend, gut plastisch, übergchend
S ₂	ab 85 cm Lehm, dicht gelagert, undeutlich blockig-polyedrische Struktur, Farbe 10 YR 5/6–5/8, wenig durchwurzelt, schwach durchlüftet, biologisch untätig, noch rost- und fahlfleckig, Abnahme der Eisenkonkretionen, klebend, gut plastisch.

Analysenergebnisse siehe Tabelle 1.

Gesamtbeurteilung: Tiefgründiger, schwerer Ackerboden mit mäßiger Krümelung und verdichtetem Unterboden; dadurch bedingt wechselfeuchte Standortsbedingungen; gut durchwurzelt, mäßig durchlüftet; schwierig zu bearbeiten; ausreichende Basensättigung bei zufriedenstellender Pufferung; Weizenboden, Zuckerrübenanbau noch möglich, durchschnittliche Erträge.

Tabelle 3: Beziehungen zwischen Kornmehrträgen auf den Böden der IN-Versuchsreihe und NH₄- bzw. K-Fixierung, Fixierungsquotient und Tongehalt

Regression Nr.	Konstante der Gleichung a	NH ₄ -Fix.	K-Fix.	K/NH ₄ -Fix-quotient	Tongehalt	Mehrfachbestimmtheit B %
		b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	
I	+11,95	+6,37 ⁺	–0,63	–	–0,13(+)	29,8 ⁺
II	+11,55	+6,09 ⁺	–	–	–0,12(+)	29,5 ⁺⁺
III	+15,86	–	+0,48	–	–0,23 ⁺	19,8 ⁺
IV	+16,32	–	–	–0,82 ⁺⁺⁺	–0,16 ⁺⁺⁺	26,8 ⁺⁺

* Als „Deckenlehm“ oder „Decklehm“ werden jene meist äolischen Sedimente über eiszeitlichen Terrassenschotterkörpern verstanden, die gegenüber dem Löß eine bereits stärkere Verlehmung zeigen. Sind diese Sedimente gleichzeitig durch Spuren (ehemaliger) Tagwasservergleyung gekennzeichnet, sind sie den „Staublehm“ ident, die von J. FINK aus dem südöstlichen Alpenvorland beschrieben wurden (ds. Zschft., Heft 6, 1961).

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Versuchsserie ergab sich bei gleicher PK-Grunddüngung und der Düngungsstufe von 75 kg N/ha (Kalkammonsalpeter), daß die Kornmehrerträge umso geringer waren, je mehr K⁺ im Verhältnis zu NH₄⁺ von den Tonmineralen fixiert wurde, siehe Tabelle 3 unter b₃ bei Regression IV. Weiters hat sich ergeben, daß die Böden das zugeführte NH₄⁺ in pflanzenverfügbare Form festlegten und damit vor einer Verlagerung in tiefere Horizonte schützten. Dadurch wurde eine allmähliche NH₄-Nachlieferung während der Vegetationszeit ermöglicht, was aus den positiven Regressionskoeffizienten b₁ der NH₄-Fixierung in der Regression I und II erkennbar ist; andererseits hat die K-Fixierung keinerlei Beziehungen zu den Kornmehrerträgen aufgewiesen, siehe b₂.

Tabelle 4: Der Einfluß der Handelsdüngung auf den Nährstoffgehalt im Ap-Horizont

Nährstoff	Jahr	Düngungsstufen		
		Ungedüngt	PK	N ₂ PK
pH/KCl	1951	6,1	6,1	6,3
	1953	6,7	6,7	6,6
	1958	6,5	6,6	6,7
	1963	6,7	6,8	6,8
P ₂ O ₅ mg/100 g	1951	6,1	6,8	7,7
	1953	5,1	9,9	8,4
	1958	5,4	9,8	9,0
	1963	7,4	14,5	14,4
K ₂ O mg/100 g	1951	4,7	9,2	8,2
	1953	6,8	11,3	9,9
	1958	3,3	8,1	7,1
	1963	2,6	7,9	6,5
Org. Subst. %	1962	2,1	2,1	2,2

Am Versuchsgut der Österr. Stickstoffwerke in Steyr wurden 2 Profile besichtigt, auf denen verschiedene Versuche angelegt waren. Auf der Hochterrasse wird ein Fruchtfolgedüngungsversuch von Dipl.-Ing. A. GROHMANN (Landwirtschaftliche Abteilung der ÖSW) durchgeführt, um u. a. den Einfluß der Handelsdüngung auf den Nährstoffgehalt des Ap-Horizontes zu überprüfen (vgl. hierzu Tabelle 4).

Tabelle 5: Versuchsgut Steyr, Hochterrasse; physikalische und chemische Bodenanalysen, durchgeführt an der Landw. chem. Bundesversuchsanstalt Linz

Horizont Bez. cm	Korngröße der Feinerde %				Org. Subst. %	CaCO ₃ %	pH n/KCl	V- Wert %	T _{min.} mval/100 g	T _{org.}
	2-0,06	0,06-0,002	<0,002mm							
A _p 0-20	17,2	63,7	19,1	3,1	0	6,2	91	7,9	6,8	
AB 20-35	17,5	61,1	21,4	1,6	0	6,1	88	9,8	2,7	
B _{g1} 35-80	23,1	54,7	22,2	0,6	0	5,9	96	10,8	0,7	
B _{g2} 80-150	16,6	66,5	16,9	0,4	0	5,8	81	11,1	1,8	

Profilbeschreibung:

Bodentyp und Ausgangsgestein: tagwasservergleyte Braunerde auf lehmigen Deckschichten.

Ort: Steyr, Seehöhe: 320 m, Lage: eben.

Klima: 8,7° C, Jahresniederschlag: 980 mm ø.

A _p	0-20 cm mullhumoser, lehmiger Schluff, mitteldicht gelagert, sehr gut krümelnd, Farbe 10 YR 3/3, sehr gut durchwurzelt und durchlüftet, biologisch gut tätig, klebend, gut plastisch, übergehend in
AB	20-35 cm schwach humoser, lehmiger Schluff, dicht gelagert, undeutlich blockig, scharfkantige Struktur, Farbe 10 YR 4/3-4/4, gut durchwurzelt und durchlüftet, biologisch tätig, fahlfleckig, klebend, gut plastisch, übergehend
B _{g1}	35-80 cm schwächst humoser, lehmiger Schluff, dicht gelagert, deutlich blockig-scharfkantige Struktur, Farbe 10 YR 5/4-5/3, noch durchwurzelt und durchlüftet, biologisch schwach tätig, deutliche Fahlflecken, vereinzelt kleine Konkretionen, klebend, gut plastisch, übergehend
B _{g2}	80-150 cm lehmiger Schluff, dicht gelagert, undeutlich blockige Struktur, Farbe 10 YR 5/4, Durchwurzlung rasch abnehmend, mäßig durchlüftet, viele deutliche Rost- und Fahlflecken, zahlreiche Konkretionen, klebend, gut plastisch.

Die analytischen Untersuchungsergebnisse sind in der Tabelle 5 angeführt. Die Korngrößen wurden hier nach der Pipettmethode, vorbehandelt mit Natriumpyrophosphat, ermittelt.

Gesamtbeurteilung: tiefgründiger, mäßig wechselfeuchter, mittelschwerer Boden; gut bearbeitbar; im Oberboden sehr gute Krümelung; gute Durchwurzelung, mäßige Durchlüftung; Unterboden dichter gelagert, daher etwas gehemmte Wasserdurchlässigkeit; gute Basensättigung; guter Weizen- und Zuckerrübenboden.

Durch die Düngungsstufen PK und N₃PK wurden im A_p-Horizont die pH/KCl-Werte und der Gehalt an org. Substanz nicht wesentlich gegenüber der ungedüngten Parzelle verändert. Demgegenüber trat eine starke Zunahme der lactatlöslichen Phos-

NH₄⁺ Fixierungsvermögen.

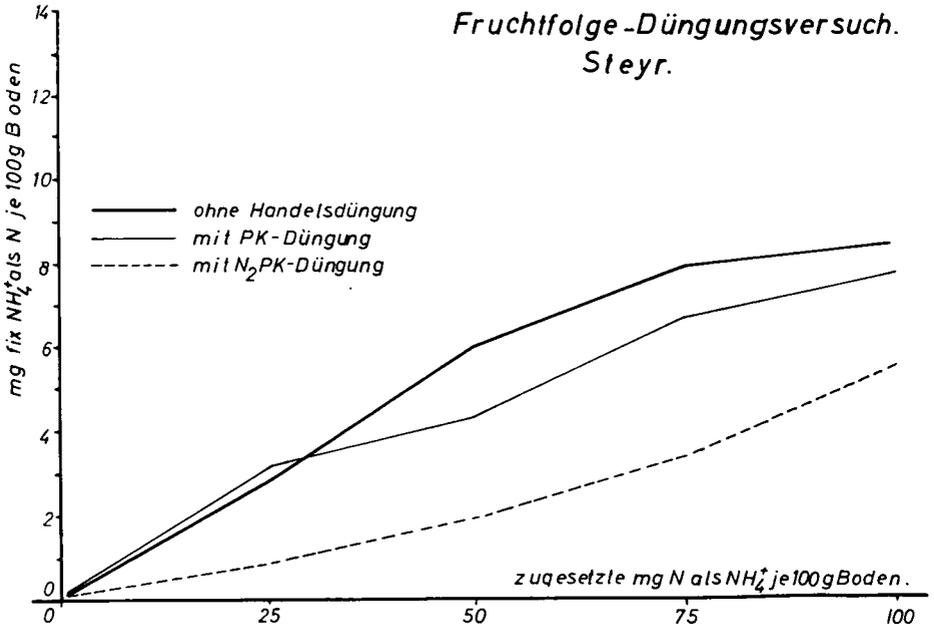


Abb. 2: Erklärung im Text.

phorsäure in der gedüngten Fläche ein, während das lactatlösliche K₂O nach einer anfänglichen Steigerung im weiteren Verlauf der Jahre wieder abnahm. Außerdem konnte festgestellt werden, daß die Proben der Düngungsstufe N₂PK weniger NH₄⁺ fixierte als jene von den ungedüngten Parzellen, siehe Diagramm Abb. 2.

Außer diesem Fruchtfolgedüngungsversuch waren vom Biologischen Forschungslabor sowohl auf der Hochterrasse als auch auf der Niederterrasse verschiedene andere Versuche angelegt. Unter anderem wurde die Wirkung einer geteilten Stickstoffgabe auf Ertrag und Qualität einiger Ackerfutterpflanzen (Körnermais, Futterrüben, verschiedene Sommerzwischenfruchtplanzen und Pferdebohnen) geprüft. Großes Interesse erweckten die Versuche mit Futterrüben und Silomais mit verschiedenen Stickstoffdüngemitteln (Nitramoncal, Ammonsulfat, Kalksalpeter und Kalisalpeter). Ferner war auch Gelegenheit, den im Jahre 1962 angelegten langjährigen Strohdüngungsversuch (Rotation:

Winterung—Sommerung—Hackfrucht), der im dritten Versuchsjahr lief, zu besichtigen. Die wichtigste im Jahre 1964 bearbeitete Versuchsfrage war die Erhöhung der Standfestigkeit von Getreide, vor allem Winter- und Sommerweizen, mit Hilfe von Chlorcholinchlorid (CCC).

Das zweite Profil im Bereich des Versuchsgutes Steyr der Österreichischen Stickstoffwerke lag auf der Niederterrasse bei Gleink. Es war von Dipl.-Ing. Dr. F. BLÜMEL 1959 aufgenommen worden.

Profilbeschreibung:

Bodentyp und Ausgangsgestein: Braunerde auf Schottern der Niederterrasse.

Ort: Gleink bei Steyr, Seehöhe: 309 m, Lage: eben.

Jahresmitteltemperatur: 8,7° C Jahresniederschlag: 980 mm ø.

A _p	0—25 cm humoser, kiesig-schottriger, lehmiger Sand, locker gelagert, krümelnd, sehr gut durchwurzelt und durchlüftet, biologisch tätig, hohe Durchlässigkeit, geringes Speichervermögen, übergehend
B ₁	25—50 cm schwach humoser, kiesig-schottriger, sandiger Lehm, mitteldicht gelagert, feinblockige Struktur, noch gut durchwurzelt, sehr gut durchlüftet, biologisch schwach tätig, allmählich übergehend
B ₂	50—80 cm stark kiesiger, stark schottriger, sandiger Lehm, mitteldicht gelagert, undeutlich feinblockige Struktur, rasch abnehmende Durchwurzelung, noch gut durchlüftet, biologisch untätig, hohe Durchlässigkeit, geringes Speichervermögen wegen hohem Grobstoffanteil, aufliegend
C	ab 80 cm kalkreicher Ennsschotter.

Die Analysen wurden am Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik und technische Bodenkunde in Petzenkirchen durchgeführt und die Ergebnisse in Tabelle 6 zusammengefaßt.

Tabelle 6: Versuchsgut Steyr, Niederterrasse; physikalische und chemische Bodenanalysen, durchgeführt am Bundesversuchsinstitut für Kulturtechnik und technische Bodenkunde in Petzenkirchen

Horizont	cm Tiefe	Körnung in mm und %				pH	CaCO ₃ in %	org. Subst. in %
		2,0—0,2	0,2—0,02	0,02—0,002	<0,002			
A _p	15	28	34	31	11	6,2	0	2,5
B ₁	25	25	31	30	18	5,9	0	.
B ₂	40	40	21	24	19	6,6	Sp.	1,1
C	80	84	11	4	4	8,3	16,8	.

Gesamtbeurteilung: grobstoffreicher, leichter bis mittelschwerer Ackerboden; sehr gut durchwurzelt und durchlüftet; leicht abtrocknend, wegen hohen Kies- und Schottergehaltes geringes Wasserspeichervermögen; Roggen-, Kartoffelboden.

Der Vormittag des zweiten Tages war dem Problem der schweren Böden im Raum Eferding gewidmet, die sich dort sowohl in der Ebene (vorwiegend Niederterrasse) als auch im Hügelland finden.

Als Beispiel für einen schweren Boden in der Ebene wurde ein Profil in Fraham südlich Eferding gezeigt, das bisher unter der geologischen Lokalbezeichnung „Polsinger Letten“ geführt wurde. Es war von H. SCHILLER und V. JANIK (Ein Beitrag zur Kenntnis der oberösterreichischen Böden; „Die Bodenkultur“ 10, 1959, 187—211) als Brauner Gleyauboden bezeichnet worden, obwohl der Standort nicht mehr vom Grundwasser des Innbaches beeinflusst wird. Es besteht daher — wie in der lebhaften Diskussion zum Ausdruck gebracht wurde — die Möglichkeit, diesen Boden den Pelosolen zuzuordnen, ausmal der hierfür erforderliche prozentuelle Anteil an Ton vorhanden ist.

Profilbeschreibung:

Ausgangsmaterial: Alluvionen (Hochflutlehm) des Innbaches; „Polsinger Letten“.

Ort: Fraham, Seehöhe: 275 m, Lage: eben.

Jahresmitteltemperatur: 8,7° C, Jahresniederschlag: 800 mm.

A _p	0—20 cm humoser, lehmiger Ton, dicht gelagert, undeutlich krümelnd, Farbe 10 YR 2/3—2,5 Y 3/2, sehr gut durchwurzelt und durchlüftet, biologisch tätig, klebend, stark plastisch, rasch übergehend
AB	20—40 cm schwach humoser, schwach lehmiger Ton, sehr dicht gelagert, blockige Struktur,

	Farbe 10 YR 3/2 - 2,5 Y 3/2, gut durchwurzelt, schwach durchlüftet, biologisch tätig, aber nicht vernäßt, stark klebend, stark plastisch, allmählich übergehend
B _{F1}	40 - 60 cm schwächst humoser Ton, sehr dicht gelagert, prismatische Struktur, Farbe 2,5 Y 3/2 - 4/2, durchwurzelt, schwach durchlüftet, biologisch schwach tätig (vereinzelte Regenwurmspuren), vereinzelte Gleyflecken, stark klebend, stark plastisch, allmählich übergehend
B _{F2}	60 - 85 cm Ton, sehr dicht gelagert, undeutlich prismatische Struktur, Farbe 2,5 Y 4/2, Durchwurzlung rasch abnehmend, schlechte Durchlüftung, biologisch untätig, schwach vernäßt, Zunahme der Gleyflecken, stark klebend, stark plastisch, aufsitzend
A _{beg}	85 - 135 cm schwach lehmiger Ton (begrabener Humushorizont), sehr dicht gelagert, grobblockige Struktur, Farbe 10 YR 2/1 - 2/2, nicht durchwurzelt, schlecht durchlüftet, biologisch untätig, vernäßt, starke Gleyflecken, klebend, stark plastisch, rascher Übergang
C _g	ab 135 cm graubrauner lehmiger Ton.

Die Analysen zu diesem Profil sind wieder in Tabelle 1 enthalten.

Gesamtbeurteilung: tiefgründiger, leicht verschlammbarer, bindiger Boden mit schwer durchlässigem Unterboden; mäßig durchwurzelt, schwach durchlüftet; schwer zu bearbeiten; große, jedoch wenig nutzbare Wasserkapazität; Mullhumus; gute Basenversorgung, zu stark gepuffert; bedingte Ackernutzung (Weizen), besser geeignet für Dauergrünland.

Anschließend wurde die Abbauwand der Ziegelei Obermayer westlich von Eferding besichtigt. Sie liegt auch auf der Niederterrasse und zeigt mächtige Deckschichten mit zwischengeschaltetem Anmoor. Die morphologische Position dieses Anmoores ist typisch: Häufig kommt es vor der Einmündung eines kleinen Gerinnes in den Hauptstrom (in diesem Fall des Innbaches in die Donau) zu Stau und Anmoorbildung. Die gleiche Situation ist südlich Asten (östlich St. Florian) gegeben, südlich Tulln u. a. O.

Eine pollenanalytische Untersuchung durch Prof. Dr. W. KLAUS verlief leider negativ, sodaß eine exakte Angabe über das Alter der Anmoorbildung fehlt. Eine Radiokarbondatierung ist vorgesehen.

Die Exkursion führte nun weiter in das Hügelland von St. Marienkirchen, wo dunkle, meist tonreichere Schlieren z. T. an die Oberfläche treten. Das hierfür typische Profil war im Zuge der Bodenkartierung von V. JANIK aufgenommen worden. Die typologische Benennung „Pelosol“ wurde zur Diskussion gestellt.

Profilbeschreibung:

Bodentyp und Ausgangsgestein: Kulturrehoboden auf Schlier.

Ort: St. Marienkirchen/Polsenz. Seehöhe 380 m, Lage: SE 6°.

Jahresmitteltemperatur: 8,2° C, Jahresniederschlag: 840 mm ø.

A	0 - 20 cm stark humoser, schluffiger Lehm, sehr dicht gelagert, undeutlich krümelnd, Farbe 10 YR 3/3, gut durchwurzelt und durchlüftet, biologisch tätig, stark klebend, stark plastisch, übergehend
AC	20 - 35 cm humoser, schluffiger Lehm, sehr dicht gelagert, deutlich grobblockige scharfkantige Struktur, Farbe 2,5 Y 5/4, abnehmende Durchwurzlung, mäßig durchlüftet, biologisch schwach tätig, stark klebend, stark plastisch, allmählich übergehend
C ₁	35 - 60 cm Ton, sehr dicht gelagert, undeutlich grobblockige scharfkantige Struktur, Farbe 2,5 Y 5/4 - 5/6, wenig durchwurzelt, schwach durchlüftet, biologisch untätig, stark klebend, stark plastisch, verwitterungsflechtig, vereinzelte kleine Konkretionen, allmählich übergehend
C ₂	ab 60 cm Ton, sehr dicht gelagert, strukturlos, Farbe 2,5 Y 6/2 - 6/0, nicht durchwurzelt, kaum durchlüftet, biologisch untätig, stark klebend, stark plastisch.

Analyseergebnisse siehe Tabelle 7.

Tabelle 7: St. Marienkirchen; physikalische und chemische Bodenanalysen, durchgeführt an der Bundesanstalt für Bodenkartierung und Bodenwirtschaft, Wien

Horizont	Körnung mm u. %			pH	CaCO ₃ %	org. Subst.%
	2,0 - 0,06	0,06 - 0,002	< 0,002			
A	14	57	29	6,4	0,3	4,4
AC	9	57	34	6,4	0,2	1,8
C ₁	3	45	52	5,9	0,1	.

Gesamtbeurteilung: schwerer bis sehr schwerer, schlecht strukturierter, sehr dichter Boden; geringe Durchlässigkeit, sehr hohe Wasserkapazität; erosionsgefährdet, teilweise welliges Rutschgelände; schwierig zu bearbeiten; Neigung zur Verschlämmung und Verkrustung, Ribbildung; Weizenboden, sehr gutes Dauergrünland.

Das letzte Profil Oberösterreichs lag im Versuchsfeld der Landw. chem. Bundesversuchsanstalt Linz in Aistersheim, wo verschiedene Sortenversuche angelegt waren. Der Raum, nahe dem Hausruck gelegen, befindet sich im Schlierhügelland, in welchem dementsprechend Profile aus Schlier überwiegen. Seltener finden sich in Tälern, so wie hier an der Trattnach, undeutliche Terrassen mit Staublehmdecken.

Profilbeschreibung:

Bodentyp und Ausgangsgestein: Pseudogley aus Staublehm.

Ort: Aistersheim, Seehöhe: 400 m, Lago: SW 4°.

Klima: Jahresmitteltemperatur 7,8° C. Jahresniederschlag: 850 mm \varnothing .

A _p	0–15 cm humoser, schwach toniger Lehm, mitteldicht gelagert, undeutlich krümelnd, Farbe 10 YR 5/3–5/2, sehr gut durchwurzelt und durchlüftet, biologisch tätig, Wasserhaushalt wechselfeucht, schwach klebend, plastisch, übergehend
A ₀ S	15–35 cm schwach humoser, schwach toniger Lehm, dicht gelagert, undeutlich grobblockige Struktur, Farbe 10 YR 5/2, gut durchwurzelt und durchlüftet, biologisch tätig, Wasserhaushalt wie oben, undeutlich fahlfleckig, klebend, plastisch, übergehend
S ₁	35–65 cm humusfleckiger, lehmiger Ton, dicht gelagert, grobblockige Struktur, Farbe 10 YR 4/3–5/4, Durchwurzlung rasch abnehmend, noch durchlüftet, biologisch schwach tätig, wasserstauend, starke Zunahme der Fahlflecken, deutliche Rostflecken und Eisenausscheidungen, klebend, stark plastisch, allmählicher Übergang.
S ₂	65–120 cm lehmiger Ton, sehr dicht gelagert, grobblockige, scharfkantige Struktur, Farbe 10 YR 5/4, vereinzelte Faserwurzeln, schwach durchlüftet, biologisch untätig, wasserstauend, starke Zunahme der Rostflecken, vereinzelte große Gleyflecken, Abnahme der Eisenkonkretionen, stark klebend, stark plastisch, allmählicher Übergang.
C	ab 120 cm toniger Lehm, sehr dicht gelagert, strukturlos, Farbe 10 YR 5/4–5/6, nicht durchwurzelt, kaum durchlüftet, biologisch untätig, Abnahme der Gley- und Rostflecke, klebend, plastisch.

Die Analysenergebnisse finden sich in Tabelle 1.

Gesamtbeurteilung: tiefgründiger, wechselfeuchter, schwerer Ackerboden; leicht verschlämmbaar, mit dicht gelagertem, wasserstauenden, tonreichen Unterboden; mäßige Durchwurzlung bei schwacher Durchlüftung; schwierige Bodenbearbeitung; hohe Wasserkapazität; hohe Basensättigung; ausreichender Phosphorsäure- und geringer Kaligehalt; Weizenboden, durch Drainung verbesserungsfähig, erosionsgefährdet.

Von Aistersheim führte der Weg auf die Fernstraße Wels–Ried–Braunau zurück und auf dieser in westlicher Richtung weiter. Vom Scheitelpunkt der Straße in Geiersberg bietet sich ein schöner Blick auf den die Landschaft überragenden Hausruck, dessen steiler Anstieg durch die standfesten unterpliozänen Schotter bedingt ist, während die weichen Formen vorwiegend der „Kohlen-Ton-Serie“ angehören. Interessante „Auslieger“, Inselberge im N des Hausrucks, geben Hinweise auf die Formung der Landschaft an der Wende Tertiär/Quartär.

Während das eben durchquerte Schlierhügelland durch unregelmäßige, weiche Kuppen und Rücken charakterisiert ist, die lediglich in ihrer obersten Begrenzung eine einheitliche „Gipffellur“ erahnen lassen, sind die Erhebungen nördlich des Hausrucks und Kobernauber Waldes oftmals durch brettebene Terrassen gekrönt. Sie sind meist mit Schotter und Staublehm bedeckt und bilden vielgliedrige Terrassentritten, deren älteste Teile schon im Oberpliozän gebildet wurden. Manchmal sind Schotter und Staublehm bereits abgetragen und nur mehr die in der Höhe korrespondierenden Flächen erhalten, bzw. diese in einzelne Riedel aufgelöst; dort tritt dann großflächig der Schlier zutage.

Die Böden dieses Raumes spiegeln genau das Ausgangsmaterial und die Oberflächenform wider. Das überwiegende Muttergestein ist der Schlier, der meist als graues, glimmerreiches, nährstoffreiches, jedoch in den oberen Teilen oft entkalktes, schluffiges und feinsandiges Sediment ausgebildet ist. Mehrere Schliergruben liegen nahe der Straße und zeigen diese Beschaffenheit. Sie wurden angelegt zu einer Zeit, als man den Schlier noch zum „Mergeln“ der Böden verwendete, indem man ihn im Herbst auf die Felder aufbrachte. Das ist heute nur mehr ganz selten zu beobachten, öfter findet man noch, daß

das Schliermaterial in Jauchegruben „gerätzt“ und dann wie ehemals auf die Felder ausgebracht wird.

Selten ist der Schlier von toniger Beschaffenheit; wenn ja, dann sind die Böden auf ihm fast unentwickelt und als Pelosole zu bezeichnen. Selten, nur in starker Hanglage, wird die entkalkte Zone des Schliers durchstoßen und Kalkbraunerden geringer Entwicklungsstufe treten auf. Überwiegend finden sich auf dem Schlier schwach tagwasservergleyte Braunerden, wie dies durch die Kartierung des Gerichtsbezirkes Ried/Innkreis (G. STOCKHAMMER) und des Gerichtsbezirkes Obernberg/Inn (J. BÄCK) erwiesen wurde. Es handelt sich um Braunerden, die lediglich im unteren Teil des Profils einige isolierte „Gleyhöfe“ (5–10 cm große Gley- und Rostflecken) aufweisen, sonst aber keine Spuren einer Tagwasserbeeinflussung zeigen, die bei diesem dichtgelagerten Sediment eigentlich zu erwarten wäre.

Auf den Terrassenschottern liegen meist Staublehme; sie tragen Pseudogleye, z. T. in extremer Ausbildung (besonders unter Wald). Mehrere Schottergruben auf dem Weg lassen diese Bodenentwicklung erkennen. Daneben finden sich in den Tälern Auböden und an Unterhängen und in kolluvialer Position Grundwassergleye als topogene Bildungen.

Die Weiterfahrt geht quer durch das Ölfeld Ried, aus welchem in den letzten Jahren bemerkenswerte Mengen Öl gefördert wurden. Knapp vor Ried im Innkreis liegt rechter Hand ein Ziegelwerk, in dem ein sehr toniger Schlier abgebaut wird. Hangend sind Pelosole zu finden. Interessant ist die Entkalkungsgrenze des Schliers, die nicht der heutigen Oberfläche parallel geht und damit zeigt, daß sie einem Tiefenverwitterungsprozeß entspricht, der schon sehr lange zurückreicht.

In Ried wurde genächtigt. Am nächsten Morgen wurde die Fahrt auf der oben erwähnten Fernstraße fortgesetzt. Auf dem Weg, insbesondere im Raum von Mehrnbach, können oft große Quarzitkonglomerate beobachtet werden, die beim Ackern aus dem tieferen Untergrund über dem Schlier herausgearbeitet wurden. Sie stammen aus dem Miozän, wurden unter tropischer Verwitterung gebildet und später in die Schotter ältestpleistozäner Terrassen eingebettet.

Dann erreicht die Straße ihren Scheitelpunkt im Federnberg, dem zweithöchsten Schotterniveau dieses Raumes (während das Niveau des Geierberges vermutlich an der Wende Plio/Pleistozän angelegt wurde, fällt die Akkumulation der Schotter des Federnberges schon in das älteste Pleistozän). Durch Arbeiten von H. GRAUL (Untersuchungen über Abtragung und Aufschüttung im Gebiet des unteren Inn und Hausruck; Mitt. Geogr. Ges. München 30, 1937) und L. WEINBERGER (Exkursion durch das österr. Salzachgletschergebiet; Verh. Geol. B. A. Wien, Sonderheft D, 1955) sind wir bestens über diesen Raum unterrichtet. Mehrere Schottergruben auf dem Federnberg lassen erkennen, daß über dem z. T. kryoturbar (!) gestauten Schotterkörper Staublehme liegen, aus denen extreme Pseudogleye hervorgegangen sind.

Auf der Abfahrt über den Kraxenberg ist rechter Hand ein Schliergrube aufgeschlossen: Sie erinnert, daß vor nicht allzu langer Zeit dieses dünnbankig gelagerte, feine, nährstoffreiche Sediment zum „Mergeln“ der Felder verwendet wurde (siehe oben).

Durch das Tal der Polling geht die Straße nach Altheim, wo eine modellartig ausgebildete Terrassenlandschaft, geformt durch den Inn, erreicht wird. Nördlich der Ortschaft wurde eine Schottergrube besichtigt, die Einblick in die Abfolge der Deckschichten (Feinsedimente über dem Schotterkörper) gibt. Der Aufschluß liegt am Rand der Hochterrasse zur Niederterrasse und gleichzeitig am Beginn einer kleinen Delle, in welche die einzelnen Deckschichten hineinstreichen. Etwa im mittleren, ungestörten Wandabschnitt

Tabelle 8: Hochterrassenprofil Altheim; Analysen Bundesanstalt für Bodenkartierung und Bodenwirtschaft Wien

	Tiefe in Meter	% - Anteil an den Korngrößenklassen			Humus %	Karbo- nat %	pH in nKCl
		2000 - 60 μ	60 - 2 μ	unt. 2 μ			
A Horizont z. T. abgetragen							
Bt der heutigen Parabraunerde	0,4	20	63	17	0,3	0,6	7,1
Löß mit Schnecken Gleyfleckenzone	0,6	15	73	12	0,3	21,9	7,6
	1,1	26	66	8	0,2	23,1	7,7
	1,5	15	74	11	0,3	8,0	7,4
	1,9	15	72	13	0,2	1,6	7,1
„Feuchtlöß“ mit Punktkonkretionen und einzelnen Holzkohlestücken	2,5	21	65	14	0,2	<0,1	6,9
	2,9	17	56	27	0,2	<0,1	6,8
Staublehm, im unteren Teil einzelne eingeschwemmte Kiesel	3,4	10	59	31	0	<0,1	6,6
	3,7	18	58	24	0	<0,1	6,7
fossiler (Unter-)Boden aus dem letzten Interglazial; Kalke und Dolomite aufgelöst	4,2	71	7	22	0	0	6,7
Vollschotter der rißeiszeitlichen Hoch- terrasse (50 - 60 % kalkalpines Material)							

kann ein Profilaufbau beobachtet werden, wie er aus Tabelle 8 (zusammen mit den Analysen) ersichtlich ist. Das Profil ist in verschiedener Hinsicht interessant:

1. Es stellt die typische Abfolge der Deckschichten dar, d. h. man kann aus ihm ablesen, welchen Charakter die einzelnen Phasen der letzten Eiszeit hatten. Der Riß-Würm-Interglazial-Boden, der nur mehr durch seinen unteren, mit dem Schotter verbundenen Teil erhalten ist, zeigt, daß im letzten Interglazial etwa die gleichen klimatischen Bedingungen wie im Postglazial geherrscht hatten. Darüber folgt eine Zone starken Bodenfließens, wodurch der ehemalige Boden solifluidal stark gestört wurde. Dann wurde das untere, kalkfreie Paket der Deckschichten sedimentiert, das einem kühlen und feuchten Klima entspricht. Darüber folgt, getrennt durch die schmale, aber sehr markante Zone der Gleyflecken, das obere Paket der Deckschichten mit kalkreichen Lössen, in denen sogar noch Schneckenschalen erhalten sind, was auf trocken-kalte Bildungsbedingungen hinweist. Letztere entstammen jener Zeit, in der die Gletscher am weitesten in das Vorland vorgestoßen sind, das Wasser daher größtenteils als Eis gebunden war und demzufolge eben trocken-kalte Bedingungen herrschten. Diese Abfolge der würmeiszeitlichen Deckschichten auf der rißeiszeitlichen Hochterrasse ist überall in Europa anzutreffen und das Studium dieser Sedimente und fossilen Böden hat zur Klärung stratigraphischer Fragen wesentlich beigetragen.

2. Der heutige Boden ist für dieses Ausgangsmaterial und diesen Klimaraum typisch. Die Parabraunerde ist ein in Mittel- und Westeuropa weitflächig entwickelter Boden, der insbesondere bei der Verwitterung aus Löß entsteht. Sehr deutlich sind sowohl die Texturunterschiede zwischen lessiviertem Oberboden $A_1 + A_c$ und illimerisiertem Unterboden (Bt) als auch die scharfe Entkalkungsgrenze an der Untergrenze des Bt und C zu erkennen. Ein solcher Boden ergibt einen landwirtschaftlich sehr guten Standort, der für alle Feldfrüchte geeignet ist. Für die Krume besteht die Gefahr einer leichten Verschlämzung, wie immer bei schluffreichen Böden, dafür ist sie aber stets leicht bearbeitbar.

3. Bei der Kartierung von Terrassengebieten ergab es sich oft, daß am Hang (zu Trockentälern) die reifen Böden fehlen und daß die kalkhaltigen Lössen bis nahe an die Oberfläche treten oder daß sich in ganz flachen, wannenförmigen Vertiefungen der Terrassenoberfläche (Deflationswannen) tiefere Sedimentpakete an der Bodenbildung beteiligt haben. Es ist dann nicht einfach, manche Merkmale des heutigen Bodenprofils richtig zu deuten und zu werten. Auch der Praktiker wird über den Wechsel der Böden

innerhalb einer scheinbar einheitlichen Terrassenfläche überrascht sein, nach dem Studium der vertikalen Abfolge ist aber der Wechsel in der Horizontalen zu verstehen. Auch das Auftreten von punktförmigen Konkretionen oder Gleyflecken ist dahingehend zu prüfen, ob sie Ausdruck der heutigen (Tag-) Wasserbewegung sind oder ob sie relikte Erscheinungen im Ausgangsmaterial darstellen.

Auf der nun folgenden Wegstrecke Altheim—Mauerkirchen—Burgkirchen—Neukirchen wird jene klar gegliederte Terrassenlandschaft durchfahren, die sich im Vorfeld der mächtigen Moränenkränze des eiszeitlichen Salzachgletschers aufbaute.

Besonders eindrucksvoll ist die Gliederung der Terrassen und ihre morphologische Ausprägung zwischen Burgkirchen und Mauerkirchen, da hier die Mattig die von Inn und Salzach akkumulierten Schotter senkrecht schnitt und so eine ganze Terrassentreppe freigelegt wird: gegenüber Burgkirchen liegt die Hochterrasse, in die kleine Dellen (Trokentäler) eingeschnitten sind. Dann schließt die Terrasse der Mindeleiszeit, der sogenannte „Jüngere Deckenschotter“, an, der eine mächtige Lößdecke trägt, die hier in mehreren Ziegelwerken industriell verwertet wird. Schließlich, nahe Mauerkirchen, folgt die Terrasse der Günzeiszeit, der sogenannte „Ältere Deckenschotter“, der in verschiedenen Auschlüssen tiefe geologische Orgeln, gefüllt mit Rotlehm, erkennen läßt. Solche Aufschlüsse liegen rechts der Straße zwischen Moosbach und Mauerkirchen und — nicht unmittelbar an der Wegstrecke — im Mattigtal.

Nun treten wir in die verschieden alten Moränenbögen ein, wobei die Straße auf dem Weg von Neukirchen nach Eggelsberg (Bundesstraße Braunau—Salzburg) diese senkrecht anschneidet. Besonders imposant der mächtige Mindelmoränenbogen im „Handenberger Durchbruchstal“, der Reißmoränenbogen dagegen weit tiefer (und nur randlich angeschnitten), morphologisch scharf hervortretend wieder die Jungendmoränenbögen aus der Würmeiszeit.

Die zeitliche Stellung der Moränen und aller übrigen glazigenen und glaziffuviatilen Formen des pleistozänen Salzachgletschers ist von L. WEINBERGER (vgl. obiges Zitat) klargestellt worden; seine Karten und Beschreibungen bilden für den Feldpedologen eine ausgezeichnete Grundlage, da bekanntlich die Böden eine gesetzmäßige Abhängigkeit von Material und Relief haben.

Besonders deutlich ist im ganzen Raum der Unterschied zwischen Alt- und Jungmoräne (analog Hochterrasse und Niederterrasse) zu erkennen: während die Jungmoräne frische Formen, braune und graue Bodenfarben, seichtere Bodenprofile aufweist und vielfach mit Wald bedeckt ist, zeigt die Altmoräne die flacheren Formen, gelbe Bodenfarben und tiefere Bodenprofile infolge der äolischen Decke, die über diesen Moränen liegt; Ackerntzung herrscht vor.

Die Bodentypen des Altmoränengebietes sind Braunerden, Parabraunerden, vergleyte Parabraunerden und teilweise auch schon Pseudogleye. Im Jungmoränengebiet fehlt die äolische Decke, sodaß unmittelbar das kalkig-silikatische Ausgangsmaterial verwittert. Diese Verwitterung ist sehr intensiv, da die klimatischen Voraussetzungen dementsprechend sind: Relativ hohe Jahrestemperaturen (7—8°) kombiniert mit hohen Niederschlägen (generell über 1000 mm, an den Flanken der Alpen und des Kobernaußer Waldes 14—1600 mm) schaffen die Voraussetzung für nicht nur sehr reife Böden, sondern auch für eine intensive Grünlandnutzung. Dipl.-Ing. K. SSCHNETZINGER hat bei seinen Kartierungen im salzburgisch-oberösterreichischen Moränengebiet den Typ der „reifen Würmbraunerde“ herausgestellt, bei dem die Zersetzung aller kalkigen Komponenten innerhalb des Bodenprofils und damit eine dem Braunlehm ähnliche Ausbildung zu beobachten ist. Interessanterweise fehlen Lessivierungserscheinungen, auch Anzeichen

einer Tagwassergleyung fehlen trotz der hohen Niederschläge, was wohl auf die drainierende Wirkung des Ausgangsmaterials zurückzuführen ist.

Die Gründigkeit der Profile im Jungmoränengebiet schwankt natürlich je nach Position: reifere Profile finden sich auf der Würm-Grundmoräne, seichtere auf den Kuppen der Endmoräne, wo zum Teil sogar Rendsinen auftreten können. Auf den aus den Jungendmoränen hervorgehenden Schotterfeldern (Niederterrassen) liegen ebenfalls sehr seichte, aber deutlich als Parabraunerde ausgebildete Bodenprofile, die oft zapfenartige Vertiefungen des B_t-Horizontes zeigen. Auch die Farbe des Illuvialhorizontes ist etwas rötlicher als normal, so daß eine genetische Verbindung zum „Blutlehm“ auf den Niederterrassen des bayerischen Raumes besteht.

Von Eggelsberg bis Oberndorf wird die Grundmoränenlandschaft der letzten Eiszeit durchfahren. Zwischen Moosdorf und Lamprechtshausen liegt rechter Hand das große Zungenbecken des Ibmer Moores, gefüllt mit mächtigen Torfschichten, die zum Teil abgebaut werden. In ihnen konnte pollenanalytisch eine Sedimentation vom Spätglazial bis zur Gegenwart nachgewiesen werden. Ein kleiner See, der Heratinger See, bildet das nördliche Ende des Beckens und zugleich den Beginn der Jungendmoränenkränze, deren es im Bereich des Salzach-Gletschers meist drei, in der Reihenfolge ihrer Entstehung aufgezählt, gibt: einen vom Gletscher überfahrenen inneren, einen äußersten und einen mittleren Wall. Bei der Bodenkartierung (F. HIESBERGER) konnte beobachtet werden, daß der innere, verschliffene Wall sehr reife Bodenbildungen trägt, während der mittlere und äußere Wall die typische Entwicklung der Jungendmoräne erkennen läßt.

In der Grundmoränenlandschaft fallen längsgerichtete Drumlins auf, deren Böden der „reifen Würmbraunerde“ entsprechen. Zwischen den Drumlins liegen in den Mulden Kolluvien, vereinzelt auch Seetone, sofern die Höhe von 465 m nicht überschritten wird — jene Marke, bei der der spätglaziale See dieses Raumes in das Oichtental übergeflossen war. Großflächig treten aber die Seetone (als Absätze dieses spätglazialen Sees) erst ab einer Höhe um 440 m auf, so daß etwa bei Bürmoos mächtige Seetone (Bändertone) entstehen konnten, die heute industriell verwertet werden. Auch die später noch erwähnten Seetone von Weitwörth liegen etwa in dieser Höhe.

Mehrmals im Raum von Oberndorf, besonders in einem Aufschluß, der rechter Hand der zum Ortskern abfallenden Straße liegt, wird ein Schotter sichtbar, der in der Literatur sehr gut bekannt ist und große stratigraphische Bedeutung besitzt: der Laufener Schotter, benannt nach der Stadt Laufen auf dem bayerischen Ufer der Salzach. Bei der Bodenkartierung (durch G. STOCKHAMMER) zeigte sich, daß über dem Laufener Schotter, der mehrmals markante Schotterleisten gleicher Höhe im Gelände bildet, die Grundmoräne der letzten Eiszeit und darüber noch Seeton folgt.

Die land- und forstwirtschaftliche Nutzung hält sich an die quartärgeologischen Gegebenheiten: auf den weiten Seetonflächen, z. B. westlich Lamprechtshausen, befinden sich große Waldgebiete, während die Drumlins, die ebenso wie die übrige Grundmoräne die „reife“ Braunerde tragen, als die relativ trockeneren Standorte vorwiegend gackert werden. Die Kolluvien und Böden in den Mulden sind überwiegend der Wiesennutzung vorbehalten, ebenso die um die Weiler liegenden Flächen (Grünfuttergewinnung, Jauchedüngung, Begüllung).

Südlich Oberndorf bis in das Stadtgebiet von Salzburg wird das durch spät- und postglaziale Schotter und Schwemmkegel aufgeschüttete Salzachtal durchfahren. Vorerst wird nach links zum Ziegelwerk Weitwörth eingebogen, um die Bodenentwicklung auf Seetonen zu studieren. Es zeigt sich eine interessanterweise mullhumose Krume von ca. 15–20 cm, unter der unmittelbar der Seeton folgt. Dieser zeigt eine völlig unregelmäßige Entkalkungsgrenze, die zwischen 0,5–3,0 m unter die Oberkante schwankt.

Der hohe Schluff- (und oft nicht Ton)gehalt verbietet, diese Böden generell den Pelosolen zuzuordnen (vgl. Tabelle 9). Sicher sind manche Erscheinungen, wie die hohe Dichtlagerung der Schluffe, den Eigenschaften schwerer Böden gleich, doch fehlt die Fähigkeit des Quellens und Schrumpfens, welche das Charakteristikum der Pelosole darstellt. Sie werden daher vorläufig mit dem neutralen Begriff „Ortböden aus Seeton“ bezeichnet, sofern nicht tatsächlich tonige Sedimente ohne Anzeichen einer bestimmten Dynamik, wie etwa der Wechselfeuchtigkeit, vorliegen.

Tabelle 9: Korngrößenanalyse zweier Sektone

	2000 – 60 μ	60 – 20 μ	20 – 2 μ	< 2 μ
Weitwörth	1	13	65	21
Ostermiething	4	4	61	30

Die Weiterfahrt geht am Westrand des Haunsberges vorbei. An dieser Erhebung (von der aus ein herrlicher Blick auf Salzburg und seine Gebirgsumrahmung möglich ist) kann noch einmal eindringlich die Mächtigkeit der eiszeitlichen Vergletscherungen demonstriert werden: Zur Zeit der größten Vergletscherung, während der Günz- und Mindelzeit, war der Gipfel des Haunsberges (833 m) vom Eis überflossen und noch in der letzten Eiszeit (Würm) hat das Eis bis 780 m Höhe emporgereicht — er bildete somit einen Nunatakr inmitten eines gewaltigen Gletscherkörpers, der über dem heutigen Stadtgebiet von Salzburg ca. 1000 m mächtig war!

In Salzburg endete der fachliche Teil der Exkursion, in touristischer Art via Autobahn ging es nach Linz und damit zum Ausgangspunkt zurück.

Exkursion der Österr. Bodenkundlichen Gesellschaft am 12. 6. 1965 zum Donaukraftwerk Ybbs-Persenbeug und in das Machland (Nieder- und Oberösterreich)

Die unter Führung von F. BLÜMEL stehende Exkursion begann in Ybbs und führte zuerst zum Donaukraftwerk Ybbs-Persenbeug. Nach Besichtigung des Kraftwerkes wurde den Teilnehmern das Modell des geplanten und derzeit im Bau befindlichen Donaukraftwerkes Wallsee erläutert. In dieses Modell ist nicht nur die Donau, sondern auch die umgebende Flußlandschaft einbezogen und es werden die Hochwasserabflüsse mit und ohne Kraftwerkseinbau dargestellt.

Da sich der Wasserhaushalt dieses Gebietes auf die Böden, ihre Entwicklung und ihren Wert für die Landeskultur besonders auswirkt, sind die Untersuchungen an diesem Modell für Bodenkundler — besonders Bodenschätzer und Bodenkartierer — von Bedeutung. Im Kraftwerk wurden auch die Grundwasserverhältnisse im Rückstaubereich des Donaukraftwerkes Ybbs-Persenbeug und die Problematik der Auböden im Machland dargelegt. Besonders hervorgehoben wurde die für den Bodenkundler und Techniker wichtige Tatsache, daß die Grauen aber auch die Braunen Auböden durch künstliche Veränderung des Profiles (z. B. Abheben des Oberbodens) im allgemeinen kaum ihren Wert verändern. Diese Tatsache läßt sich durch den schichtigen Aufbau, die wiederholte Humusbildung und neuerliche Ablagerung durch Hochwasser erklären. Auch über die vermutlichen Veränderungen der Böden durch den Aufstau wurde diskutiert.

Vom Kraftwerk Ybbs-Persenbeug sollten die Exkursionsteilnehmer zu 2 Bodenprofilen nach Hofkirchen und Unterpitzing, die im nördl. Teil des Machlandes liegen, geführt werden. Leider konnten die geöffneten Schürfruben wegen des Hochwassers

Profil Hofkirehen

Horizont	Bereich Tiefe	Korngrößen in mm			Bodenart	pH	Ver-schlamm-barkeit	CaCO ₃ %	qualitat. Humus Fe (II) % Best.		
		>2,0	2,0-0,2	0,2-0,02							
A	0-25 10-20	2 (2)	44 (36)	43 (38)	11 (24)	1 (tl)	7,5	mäßig ver-schlamm-bar	8,5	-	3,4
A/B ₁	25-60 40-50	2 (2)	35 (29)	46 (36)	17 (33)	zel 1 (t)	7,6	mäßig ver-schlamm-bar	2,7	-	1,4
B ₂	60-110 90-100	0 (0)	38 (32)	47 (37)	15 (31)	zel 1 (t)	7,7	-	6,5	-	0,9
G ₀	110-180 160-170	2 (1)	93 (87)	5 (9)	1 (3)	If f (ff)	8,4	-	30,9	-	-
G ₁	180-210 200-210	< 1	86 (80)	8 (10)	1 (5)	If If (ff)	8,4	-	28,0	-	-

Profil Rohrbrunnen 9a, Leitziug

Horizont	Bereich Tiefe	Korngrößen in mm			Bodenart	pH	Ver-schlamm-barkeit	CaCO ₃ %	Fe (II) qualitat. quant. (ppm)	Humus %		
		>2,0	2,0-0,2	0,2-0,02								
A/G ₀	0-20 0-10	2 (6)	56 (47)	34 (35)	4 (12)	1 fl (1)	7,3	krümel-beständig	5,6	undeutl.	14	6,0
G ₀	20-120 50-60	<1	2 (2)	71 (62)	22 (21)	fl fl (tl)	7,7	mäßig ver-schlamm-bar	8,4	mittlere	13	1,7
G ₁	120-170 100-110	17	11 (11)	57 (48)	25 (23)	7 fl fl (tl)	7,8	-	10,4	starke	21	1,7
G ₀	170-(250) 190-200	2	3 (3)	65 (56)	26 (24)	6 fl fl (tl)	7,8	-	8,4	geringe	9	0,5

Profil Grener Arm

Horizont	Bereich Tiefe	Korngrößen in mm			Bodenart	pH	Ver-schlamm-barkeit	CaCO ₃ %	qualitat. Humus Fe (II) % Best.		
		>2,0	2,0-0,2	0,2-0,02							
A/C	0-10 0-10	<1	2 (2)	87 (80)	10 (13)	1 If If (ff)	8,1	mäßig ver-schlamm-bar	21,3	-	3,0
C	10-70 50-60		43 (43)	55 (52)	2 (3)	0 s s (fs)	8,5	-	19,2	-	0,8
D ₁ /G ₀	70-110 80-90		7 (7)	81 (74)	10 (13)	2 (6) If If (ff)	8,3	-	27,1	-	1,3

eingeklammerte Werte = Korngrößenbestimmung bei Vorbereitung mit Natriumhydrophosphat (Dreieck nach Tomnerup).

Kreuze = Korngrößenbestimmung bei Vorbereitung mit Natriumhydrophosphat (Dreieck nach Kuron).

nicht eingeklammerte Werte = Korngrößenbestimmung bei Vorbereitung nach der internationalen Methode B, ohne Aufkochen, (Dreieck nach Tomnerup).

nicht besichtigt werden. In der Nähe der Schürfgrube bei Hofkirchen wurden Bohrungen durchgeführt, um das Profil zu zeigen. Auch im Machland Süd mußten unweit der Schürfgrube bei Leitzing Bohrprofile statt der Schürfgruben herangezogen werden.

Die Bodenprofile in Hofkirchen und in Leitzing haben folgenden Aufbau:

Profilbeschreibung:

Profil: Hofkirchen, Machland-Nord, OÖ.

Niederterrasse mit alluvialen Feinsedimenten – tiefliegender Grundwasserspiegel – am Rande des Überschwemmungsbereiches; Brauner Auboden.

- A 0–25 cm; graubrauner, humoser (Mull) toniger Lehm; karbonatreich; stark alkalisch; in scharfrandige Krümel zerfallend; locker gelagert; stark durchwurzelt; biologisch tätig; Stichboden; verlaufend übergehend in den
- A/B₁ 25–60 cm; brauner, humusarmer leichter Ton; karbonathaltig; schwach alkalisch; in scharfrandige Aggregate aufbrechend; mitteldicht gelagert; mittelgut durchwurzelt; biologisch tätig; Stichboden; verlaufend übergehend in den
- B₂ 60–110 cm; brauner, humusarmer (humusfleckig) leichter Ton; karbonatreich; schwach alkalisch; in scharfrandige Aggregate aufbrechend; dicht gelagert; geringe Durchwurzlung; schwach rostfleckig; Stichboden; verlaufend übergehend in den
- G₀ 110–180 cm; grauer und rostfleckiger, lehmiger Feinsand; karbonatreich; stark alkalisch; locker gelagert; in scharfrandige Aggregate aufbrechend; Schaufelboden.
- G_{r1} 180–210 cm; grauer, schwach rostfleckiger, feinsandiger Lehm; karbonatreich; stark alkalisch; deutliche Aggregatbildung; locker gelagert; schwimmsandgefährdet; Schaufelboden;
- G_{r2} ab 210 cm; Kies und Schotter.

Analysendaten siehe Tabelle 10 oben.

Profilbeschreibung:

Profil: Rohrbrunnen 9a, Leitzing; Machland-Süd; NÖ.

Rand des Machlandes; Hangfuß; Kolluvium aus Schlier (Tonmergel).

Hangley mit oberflächennahem Wasserstau.

- A/G₀ 0–20 cm; graubrauner humusreicher (Mull-Anmoor) Lehm; karbonatreich; neutral; krümelig; Wurzelfilz; zäher Stichboden; verlaufender Übergang in den
- G₀ 20–120 cm; rostfleckiger, schwach graufleckiger, toniger Lehm; Humuscinlagerungen; karbonatreich; schwach alkalisch; kohärent; undeutliche Aggregatablösung; dicht gelagert; mit Wurzeln von Sauergräsern durchzogen; wasserstauend; Schottereinlagerungen in 30–35 cm und 75–85 cm; schwerer Stichboden.
- G_r 120–170 cm; grauer, toniger Lehm; karbonatreich; alkalisch; mitteldicht gelagert; Humuscinlagerungen; Kies- und Schottereinlagerungen; wasserführend; mit Wurzeln von Sauergräsern durchzogen; schwerer Stichboden.
- G₀ 170–(250) cm; brauner, stark rostfleckiger toniger Lehm; karbonatreich; alkalisch; kohärentes Gefüge; sehr dicht gelagert; wasserstauend; schwerer Stichboden.

Aus der Profilmorphologie sind die wasserführenden und wasserstauenden Horizonte sowie der kolluviale Einfluß (begrabene Humushorizonte) zu erkennen.

Analysendaten siehe Tabelle 10 Mitte.

Als Beispiel eines Grauen Aubodens wird das zur Besichtigung vorgesehene Profil, welches am sogenannten „Grener Arm“ gelegen ist, nachstehend beschrieben:

Profilbeschreibung :

Profil: Grener Arm; Machland-Süd, NÖ.

Niederterrasse mit alluvialen Feinsedimenten als Deckschichte; tiefliegender Grundwasserspiegel; (örtlich höhere Lage des Reliefs); Grauer, im Untergrund vergleyter Auboden.

- A/C 0–10 cm; grauer humoser (zum Teil wenig zersetzt) feinsandiger Lehm; karbonatreich; stark alkalisch; schwach krümelig; locker gelagert; wenig durchwurzelt; Schaufelboden.
- C 10–70 cm; grauer, schwach lehmiger Sand; karbonatreich; stark alkalisch; Einzelkorngefüge; lose; wenig durchwurzelt; Schaufelboden.
- D₁/G₀ 70–110 cm; graubrauner, schwach rostfleckiger, humusarmer, feinsandiger Lehm; karbonatreich; stark alkalisch; locker gelagert; undeutliche Aggregatablösung; feinporös; leichter Stichboden.
- D₂/G_{0r} 110–(140) cm; grauer, schwach lehmiger Sand; lose gelagert; Einzelkorngefüge; Schaufelboden. Schichten und Streifen in allen Horizonten.

Die Analysen sind in Tabelle 10 unten enthalten.

Den Exkursionsteilnehmern bot sich bei der Rundfahrt um das Machland (Grein – Mauthausen – Ardagger) die Möglichkeit, das Ausmaß der Überschwemmungen, die auch die Räume mit älteren, Braunen Auböden betroffen hatte, kennenzulernen. In Ybbs wurde die Exkursion beendet.