

Zeitschrift: Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Botanique Suisse
Herausgeber: Schweizerische Botanische Gesellschaft
Band: 53A (1943)

Artikel: Ergebnisse der Oerlikoner Lysimeterversuche
Autor: Geering, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-676346>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 15.01.2026

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

Ergebnisse der Oerlikoner Lysimeterversuche.

(Mitteilung aus der Eidg. Landw. Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon.)

Von J. Geering.

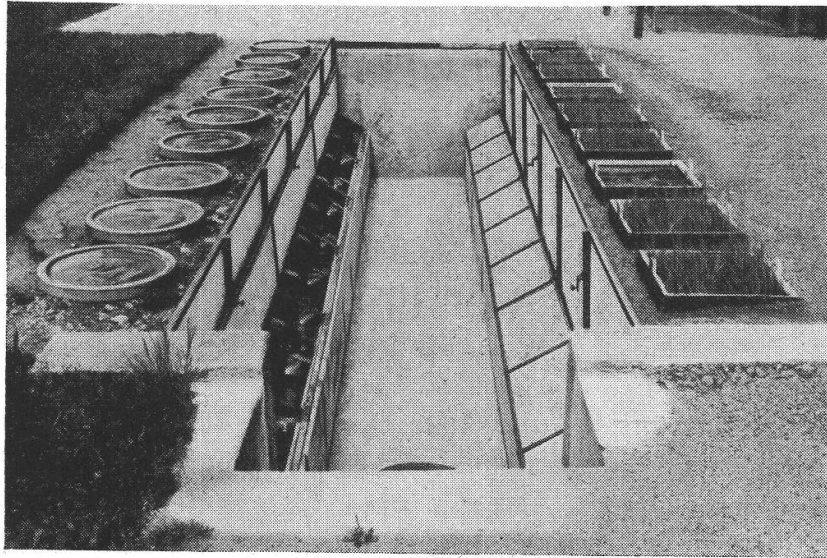
Eingegangen am 11. Dezember 1942.

Die rationelle Anwendung von Düngemitteln im Pflanzenbau hat u. a. die Kenntnis des Verhaltens der Pflanzennährstoffe im Boden zur Voraussetzung. Statische Betrachtungen über den Nährstoffhaushalt des Bodens sind nur möglich, soweit der Faktor Sickerverluste neben Düngung und Ernteentzug ebenfalls als annähernd bekannt mitberücksichtigt werden kann. Die ersten qualitativen Anhaltspunkte über die Sickerverluste an Pflanzennährstoffen lieferten Drainagewasseruntersuchungen mehr zufälliger Art. Quantitative Messungen wurden erst durchführbar mit der Einrichtung von geeigneten «Lysimeter»-Anlagen. Als Vorbild für solche können die um 1870 in Rothamsted errichteten Anlagen gelten, wo kleine Parzellen des Versuchsfeldes durch Zementwände von der umgebenden Erde abgetrennt und von unten mit Drainröhren durchzogen wurden, um das Drainagewasser eines genau bestimmten Areals sammeln und untersuchen zu können.

In der Schweiz war es Dr. A. Volkart vorbehalten, auf dem Gebiet der Sickerwasseruntersuchungen durch die Einrichtung einer Lysimeteranlage in Oerlikon im Jahre 1922 voranzugehen. Für unsere bescheideneren Verhältnisse konnten natürlich keine kostspieligen Bauten in Frage kommen, und man mußte sich mit der Aufstellung einer Serie von größeren Versuchsgefäßen begnügen. Obwohl solche Lysimeter nicht erlauben, die Sickerverhältnisse direkt unter den Bedingungen natürlicher Bodenlagerung zu verfolgen, bieten sie anderseits den Vorteil, daß sie in größerer Zahl verwendet werden können und damit schneller und ohne besonders große Aufwendungen doch eine Reihe von Fragen in befriedigender Annäherung abklären lassen. Figur 1 zeigt die Lysimeteranlage in Oerlikon im Jahre 1934.

Links auf dem Bilde befindet sich eine Gefäßreihe aus Spezialsteinzeug (Embrach), rechts eine Kastenreihe aus Grauguß (Oerlikon).

Die Gefäße besitzen einen lichten Querschnitt von $\frac{1}{6}$ bzw. $\frac{1}{4}$ m² bei einer Tiefe von 85 cm. Das durch Quarzsand und Glaswolle filtrierte Sickerwasser fließt durch eine Öffnung am Gefäßgrund in große Vorratsflaschen aus Glas, die nach Bedarf und in vorbestimmten Zeitabschnitten für die Untersuchungen im Laboratorium entleert werden.



Figur 1. Phot. Urs Pfenninger 1934.
Lysimeteranlage in Oerlikon.

In den vergangenen 20 Jahren des Bestehens von Lysimeteranlagen an der Eidg. Landw. Versuchsanstalt in Zürich-Oerlikon sind als Versuchsfragen in Bearbeitung genommen worden :

Nährstoffauswaschung aus unbewachsenem, bepflanzt und bepflanzt-gedüngtem Boden.

Verlauf der Chlorauswaschung nach Herbst- und Frühlingsdüngung.

Kalkauswaschung nach Kalkung eines sauren Bodens.

Stickstoffauswaschung nach Herbstdüngung mit Mineralstickstoff.

Nährstoffverluste nach Stallmistdüngung.

Beeinflussung der Stickstoffbindung und Nitrifikation im Boden.

Die Beobachtungen und Untersuchungen erstreckten sich auf die Feststellung der Sickerhältnisse und je nach der gestellten Versuchsfrage auf die Bestimmung von Phosphorsäure, Stickstoff in Ammoniak- und Salpeterform, Kali, Kalk, Magnesia, Chlor und Reaktion des Durchflußwassers. In der Regel erfolgte die analytische Verarbeitung des Sickerwassers monatlich einmal. Wurden Bepflanzungen vorgenommen, so wurden natürlich auch in den Erntesubstanzen die entzogenen Pflanzennährstoffe mitbestimmt.

Es dürfte nicht leicht möglich sein, im Rahmen eines kurzen Aufsatzes das seit Beginn der Untersuchungen zusammengetragene Material einigermaßen erschöpfend und gebührend zur Geltung zu bringen. Es muß dies daher einem ausführlicheren Bericht überlassen bleiben, dessen Veröffentlichung im « Landwirtschaftlichen Jahrbuch der Schweiz » demnächst erfolgen soll. Hier kann es sich nur darum handeln, einen mehr oder weniger zusammenfassenden Überblick über die unter der

persönlichen Leitung von Dr. A. V o l k a r t und seinem Nachfolger als Anstaltsvorstand, Dr. F. T. W a h l e n , zur Durchführung gelangten Versuchsreihen zu geben.

Bei der Diskussion der Versuchsergebnisse sind die durch die Art der Versuchsanstellung bedingten Eingriffe in die Verhältnisse des natürlich gewachsenen Bodens selbstverständlich im Auge zu behalten. Es darf aber ohne Zweifel vorausgesetzt werden, daß zwischen den Lysimeterergebnissen und den wirklichen Verhältnissen keine weitgehenden grundsätzlichen Unterschiede bestehen können. In der ersten Zeit nach der Beschickung der Gefäße mit der Versuchserde wurden allerdings wiederholt außergewöhnlich hohe Sickerverluste besonders an Stickstoff und Kalk festgestellt, die auf die vorausgegangene Bodenvorbehandlung zurückgeführt werden müssen. Es scheint daher unerlässlich, die frischgefüllten Lysimetergefäße vor dem eigentlichen Versuchsbeginn genügend lange sich selbst zu überlassen, bis die Bodentätigkeit wieder mehr oder weniger normal verläuft. Dieser Zustand wurde als erreicht betrachtet, wenn die Sickerverluste ohne weitere Eingriffe einen stetigeren Verlauf annahmen.

I. Die Sickerverhältnisse des Wassers.

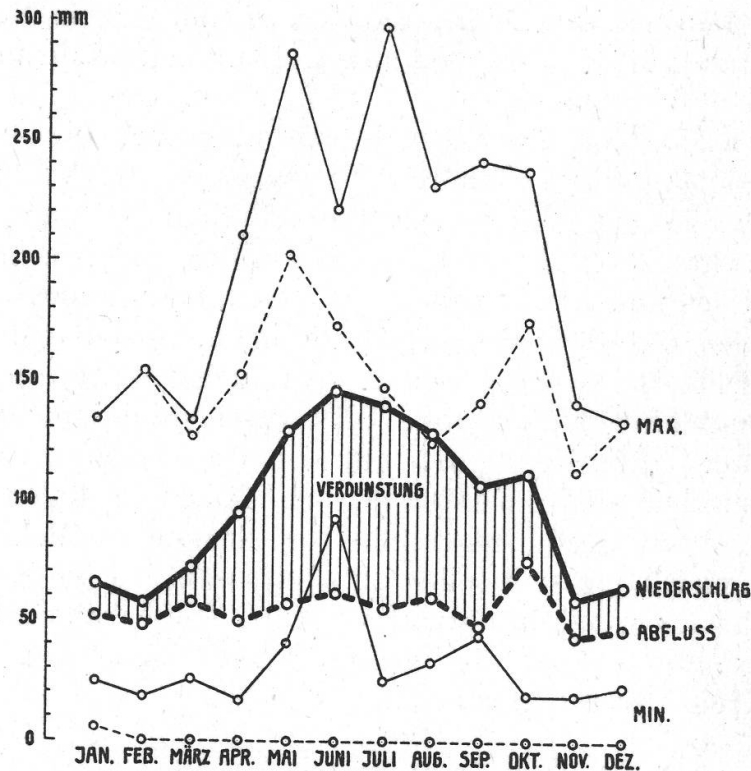
Über die zum Abfluß mit der Drainage gelangenden Sickerwassermengen entscheiden auf einigermaßen durchlässigen Böden als überwiegende Hauptfaktoren Niederschlag und Verdunstung (Temperatur). Für die Mehrzahl der Versuche in Oerlikon wurde ein toniger Lehm Boden verwendet, als leichtester ein toniger Sand und als schwerster ein strenger Tonboden. Die Vergleichbarkeit mit normalen, schweizerischen Sickerverhältnissen dürfte damit annähernd vorhanden gewesen sein. Aus den verschiedenen durchgeführten Versuchsreihen standen im ganzen für die Ermittlung von Durchschnittsangaben über die Sickerverhältnisse im unbepflanzten Boden 17 ganze Beobachtungsjahre zur Verfügung. Die mittleren Niederschlags-, Abfluß- und Verdunstungsverhältnisse im Jahresverlauf sind in Figur 2 zur Darstellung gebracht.

Die gleichzeitig angedeuteten Maximal- und Minimalwerte zeigen die relativ großen Schwankungen, mit denen fortwährend zu rechnen ist. Der durchschnittlich zur Versickerung gelangende relative Anteil der Niederschläge betrug in den Monaten

Januar ¹ . 79 %	April . . . 52 %	Juli . . . 39 %	Oktober . . 68 %
Februar ¹ . 84 %	Mai . . . 44 %	August . . 47 %	November . 74 %
März . . . 79 %	Juni . . . 42 %	September 45 %	Dezember ¹ 72 %

im Sommerhalbjahr 44 %, im Winterhalbjahr 75 % und im Jahresdurchschnitt 56 %.

¹ In den Wintermonaten zeigten sich öfters Unstimmigkeiten dahingehend, daß die Sickerwassermengen größer waren als die Niederschlagsmengen. Bisweilen



Figur 2.

Durchschnittliche monatliche Niederschlags- und Sickerwassermengen während 17 Jahren.

Wie Figur 2 zeigt, blieben die absolut zur Versickerung gelangenden Wassermengen während des ganzen Jahres durchschnittlich auf fast gleicher Höhe. Sind die Niederschlagsmengen überdurchschnittlich, so steigt auch der Sickerwasseranteil, und zwar sowohl absolut als relativ. Bei unterdurchschnittlichen Regenmengen fällt der Sickerwasseranteil absolut und relativ noch rascher, um bei monatlichen Niederschlagsmengen von 20—40 mm in der Regel ganz zu verschwinden. Die zur Verdunstung gelangende Wassermenge zeigt in ihrer monatlichen Durchschnittsmenge die erwartete Übereinstimmung mit der Kurve der mittleren Monatstemperatur.

Unter bepflanzttem Boden hängt der Anteil des Sickerwassers während der Hauptwachstumszeit Mai—Oktober mit der Üppigkeit des Pflanzenwuchses zusammen. Bei den beplantzten Lysimetern war der Sickerwasserabfluß während dieser Zeit in der Regel ungefähr halb so

war der Überschuß so erheblich, daß dafür eine Verzögerung des Wasserablaufes infolge Gefrierens des Bodens oder Schneefall allein nicht ausreichen konnte, sondern eine Erklärung in Schneeüberwehungen oder der Bildung oberflächlicher Rinnsale nach einzelnen Gefäßen gesucht werden mußte. Die Sickerzahlen wurden in solchen Fällen maximal gleich der in Oerlikon gemessenen Niederschlagsmenge des betreffenden Monats angesetzt.

groß wie bei den unbepflanzten Verfahren. Die damit meßbare Mehrverdunstung an Wasser aus den bepflanzten Gefäßen gab Anlaß, nebenbei einige Anhaltspunkte über Wasserverbrauch und Pflanzenertrag zu suchen. (Vgl. Abschnitt IX.)

II. Die Sickerverluste an Pflanzennährstoffen.

Die ersten beiden Versuchsreihen wurden mit der Absicht angelegt, einen Einblick in die Sickerverluste an wichtigen Pflanzennährstoffen unter dem Einfluß unseres relativ regenreichen Klimas zu gewinnen. Es wurden dazu nacheinander je ein kalkhaltiger und ein saurer Boden für einen Lysimeterversuch mit je 9 Gefäßen herangezogen. Folgende drei Versuchsverfahren konnten damit je in dreifacher Wiederholung zum Vergleich gelangen :

- a) Boden unbepflanzt und ungedüngt,
- b) Boden mit Gräsern bepflanzt, ungedüngt,
- c) Boden mit Gräsern bepflanzt, begüllt.

Die Bepflanzung geschah durch eine Mischsaat von 10 Grasarten (je 10 % Fromental, italienisches Raigras, Timothe, Knautgras, Wiesen-schwingel, Goldhafer, Wiesenfuchsschwanz, Wiesenrispengras, Kamm-gras und Rotschwingel). Die Güllegabe auf die begüllten Gefäße entsprach in Menge und Häufigkeit einer landesüblichen intensiven Güllendüngung : Mit der Einzelgabe wurden je 100 kg Stickstoff pro ha verabfolgt (die ungedüngten Gefäße erhielten zum Ausgleich das entsprechende Wasserquantum), die Gesamtmenge betrug pro Jahr 175 bzw. rund 150 m³. Die Summe der mit der Gülle zugeführten Nährstoffe ist in Tabelle 1 mit den aus den Sickerwasseruntersuchungen sich ergebenden Sickerverlusten in kg/ha angegeben.

Tabelle 1.

Jährliche Sickerverluste (Durchschnitt je zweier Beobachtungsjahre).

Bodenart	Mergeliger, sandiger Lehm			Saurer, toniger Lehm		
	unbe- pflanzt unge- düngt	Gras unge- düngt	Gras begüllt	unbe- pflanzt unge- düngt	Gras unge- düngt	Gras begüllt
Sickerverluste an						
Phosphorsäure . . .	1,0	0,8	0,9 (39)*	Spuren	Spuren	Spuren (23)*
Stickstoff	117	16,4	45,3 (300)	85,8	29,2	23,8 (350)
Kali	44,8	33,8	101 (850)	8,9	5,2	10,6 (968)
Kalk	518	553	666 (87)	252	125	191 (147)
Magnesia	200	214	242 (67)	15,6	10,5	14,8 (80)

* Die eingeklammerten Zahlen geben die Nährstoffzufuhr durch die Gülle an.

Ein erheblicher Unterschied in den Sickerverlusten zwischen dem alkalischen und dem sauren Boden besteht erwartungsgemäß in erster Linie bei den basischen Bestandteilen Kalk, Magnesia und Kali. Abgesehen von der unterschiedlichen Einwirkung der Bepflanzung auf die Kalk- und Magnesiaverluste, scheinen keine weiteren wichtigen prinzipiellen Unterschiede zwischen den beiden Böden aufzutreten. Das Bild bleibt im wesentlichen dasselbe, wenn auch noch der Nährstoffentzug durch die Grasernte einbezogen wird, um daraus die in Tabelle 2 aufgestellten Nährstoffbilanzen zu berechnen.

Tabelle 2.

Trockensubstanzerträge und Nährstoffbilanzen im zweijährigen Durchschnitt.

Bodenart	Mergeliger, sandiger Lehm			Saurer, toniger Lehm		
Kulturart	unbe- pflanzt unge- düngt	Gras unge- düngt	Gras begüßt	unbe- pflanzt unge- düngt	Gras unge- düngt	Gras begüßt
Trockensubstanzertr. q/ha	—	24,0	80,5	—	17,0	101,6
Nährstoffbilanz kg/ha						
Phosphorsäure	— 1,0	— 23,4	— 26,0	— 0	— 10,5	— 31,8
Stickstoff	— 117	— 57,3	+107	— 85,8	— 55,2	+171
Kali	— 44,8	— 109	+474	— 8,9	— 60,3	+577
Kalk	— 518	— 597	— 678	— 252	— 142	— 127
Magnesia	— 200	— 230	— 224	— 15,6	— 16,6	+ 11,4

Auf Grund der vorstehenden Untersuchungsergebnisse sind im einzelnen die nachfolgenden Feststellungen gemacht :

1. Phosphorsäure.

Die Auswaschverluste an Phosphorsäure waren in jedem Fall so gering, daß praktisch von einer vollkommenen Zurückhaltung im Boden gesprochen werden kann (auch eine anfänglich gegebene Düngergabe an leichtlöslicher Phosphorsäure ließ sich im Sickerwasser beider Böden nicht erkennen).

Bei reichlicher Zufuhr leichtlöslicher Phosphorsäure ist nach den Untersuchungen von L. Gisiger¹ und F. v. Grünigen² zwar mit einer langsamen Wanderung in vertikaler Richtung zu rechnen. Bei der für die Lysimetergefäße gewählten Schichttiefe von 50 und 85 cm sind solche praktisch unbedeutenden Nährstoffwanderungen nicht erfaßbar. Die bei uns unter normalen Verhältnissen eingebürgerte Praxis

¹ Landw. Jahrbuch d. Schweiz 47, 491, 1933.

² Landw. Jahrbuch d. Schweiz 52, 663, 1938.

der Vorratsdüngung mit Phosphorsäure steht mit diesen Versuchsergebnissen in gutem Einklang. Während bei den Untersuchungsverfahren « ungedüngt » notwendigerweise nur negative Nährstoffbilanzen zu verzeichnen sind, ist dies bei den begülten Kulturen von den drei Hauptnährstoffen Phosphorsäure, Stickstoff und Kali nur für die erstere der Fall. Aus Tabelle 2 geht damit hervor, daß bei fortgesetzter starker Gülledüngung, die um so einseitiger ausfällt, je kotärmer und gleichzeitig phosphorsäureärmer die verwendete Gülle ist, die Ausnutzung der wertvollen Nährstoffe Stickstoff und Kali mangels ergänzender Phosphorsäure sich ständig verschlechtern muß.

2. Stickstoff.

Die Verfolgung der Vorgänge, die den Stickstoffhaushalt des Bodens beschlagen, ist im Vergleich zu den übrigen aus dem Boden aufnehmbaren Pflanzennährstoffen weitaus am kompliziertesten, weil hier die Bodenlebewelt in besonders ausschlaggebender Weise mitbeteiligt ist. Ihre Empfindlichkeit gegenüber kleinen Veränderungen der Umweltsbedingungen erschwert die Erkennbarkeit der maßgebenden Zusammenhänge außerordentlich. Allein die Vorbereitung der Böden für die Beschickung der Lysimetergefäße bewirkte mit bis zu 500 kg/ha eine so abnormale unmittelbare Stickstoffmobilisierung und Auswaschung, daß, wie bereits erwähnt, ein Vorliegen normaler Verhältnisse ohne weiteres ausgeschlossen werden mußte.

Eine unzweifelhaft starke Förderung der Stickstoffmobilisierung kommt der Brache zu (unbepflanzte Lysimeter). Die pro Jahr aus den unbepflanzten Böden versickernde Stickstoffmenge betrug auch in späteren Versuchsjahren meist noch um 100 kg/ha, während bei den bepflanzten, ungedüngten Böden Sickerverlust und Ernteentzug zusammen nur $\frac{1}{2}$ — $\frac{2}{3}$ des Stickstoffverlustes des unbewachsenen Bodens erreichten. Es muß also in der Gegenwart höherer Pflanzen ein stark hemmender Faktor für das Freiwerden von mineralischem Stickstoff im Boden vorliegen. Es dürfte sich hierbei weniger um eine direkte Konkurrenzierung der Mikroorganismen durch die höhere Pflanze bei der Nährstoffaufnahme handeln, als mehr um eine indirekte Wirkung der Pflanzendecke auf die Umweltbedingungen für die Mikroorganismen. Die ungehemmte Einwirkung von Wärme und Trockenheit auf den brachliegenden Böden muß dort einen beschleunigenden Einfluß auf den Umsatz auch der lebenden organischen Substanz ausüben. Die Abbauprozesse treten in ihrer Bedeutung stärker hervor. Auf der andern Seite wird im bepflanzten Boden durch die Verarbeitung der ständig frisch anfallenden Pflanzenreste durch die Mikrobenvelt eine entsprechende Stickstoffmenge wieder neu immobilisiert und auch eine gewisse Menge Stickstoff in den lebenden Pflanzenwurzeln selbst festgelegt. Endlich kommt auch noch eine direkte Beeinflussung der Bodentätigkeit durch

die Ausscheidungen der höheren Pflanzen in Frage. Nicht zuletzt bleibt zu berücksichtigen, daß die Bildung von freibleibendem Nitratstickstoff im Boden nicht ein unter allen Umständen einfach ablaufender Vorgang ist, sondern eine ganze Kette ineinandergreifender Lebensprozesse zur Voraussetzung hat.

Nicht ohne weiteres verständlich ist bei dem großen bilanzmäßigen Stickstoffüberschuß der relativ kleine Sickerverlust aus den begüllten Lysimetern. Da die Gülle in stark verdünntem Zustande zur Anwendung gelangte, sollten größere Verluste durch Ammoniakverdunstung nicht in Betracht gezogen werden müssen. Der eigentliche Verbleib dieser großen, im Überschuß zugeführten Stickstoffmengen war im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen nicht näher festzustellen.

3. Kali.

Von den drei in die Untersuchung einbezogenen Basen sind die Auswaschverluste beim Kali durchwegs am geringsten. Nach dem Ausfall der chemischen Analyse der beiden Versuchsböden ist allerdings ihr Kaligehalt mit 0,12 % und 0,07 % (im Salzsäureauszug) auch für mäßig bis arm zu bezeichnen. Gegenüber dem 10 kg/ha und Jahr kaum übersteigenden, unbedeutenden Kaliverlust beim sauren Boden ist dieser beim kalkhaltigen Versuchsboden mit über 40 kg/ha schon merklicher, wird aber in späteren Versuchen nicht wieder erreicht. Interessant ist, daß, im Vergleich zur starken Kaliaufnahme durch die Gräser, mit der Bepflanzung nur ein fast unmerklicher Rückgang der Kali-sickerverluste eintrat. Daraus wäre zu schließen, daß die Pflanzenwurzel das notwendige Kali wie auch die Phosphorsäure durchaus nicht allein aus der vorhandenen Bodenlösung bezieht, sondern sich in aktiver Weise an die ungelösten Bodenvorräte an Pflanzennährstoffen heranzumachen in der Lage ist.

Recht beträchtlich erscheint das Aufnahmevermögen beider Böden für die mit der Gülle zugeführten großen Kaliüberschüsse. Im kalkhaltigen Boden stieg der Sickerverlust allerdings gleichzeitig erheblich an und erreichte rund $\frac{1}{2}$ des bilanzmäßigen Kaliüberschusses. Vom sauren Boden wurde der ganze Kaliüberschuß praktisch restlos aufgenommen, was natürlich auf die Dauer auch hier nicht erwartet werden könnte. Die gute Adsorption des Güllekalis durch den Boden kann auf die Karbonatform zurückgeführt werden, aus welcher ein Baseneintausch viel weitgehender stattfinden kann als aus den neutralen Kalisalzen, wie sie in den gewöhnlichen Kalidüngern vorliegen. F. v. Grünigen konnte eindeutig zeigen, daß bei der Anwendung gleicher Kalimengen in Form von Gülle einerseits und Kalisalz andererseits die Auswaschverluste im zweiten Fall beträchtlich größer sind.

Die starke Aufnahmefähigkeit des Bodens für Kali ist der Grund für den durch die dauernde Anwendung starker Güllegaben erzwunge-

nen, ungesunden Luxuskonsum der Pflanzen an Kali. Abhilfe kann deshalb nicht durch eine bloße Ergänzung der einseitigen Düngung geschaffen werden, sondern sie muß durch eine bessere Verteilung der anfallenden Kalimengen auf dem ganzen Kulturland eines Betriebes gesucht werden.

4. Kalk.

Die Kalkverluste stehen gewichtsmäßig stets weitaus an erster Stelle. Wenn das Sickerwasser aus dem sauren Boden auch nur $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ der Kalkmenge aus dem kalkreichen Boden entführt, so ist doch die absolute Höhe der Kalkauswaschung aus dem sauren Boden mit einem salzsäurelöslichen Kalkanteil von nur 0,2 % überraschend hoch. Der Hauptgrund für den hohen Kalkverbrauch muß besonders beim unbepflanzten Boden in der dort ebenfalls starken Salpeterbildung gesucht werden. Ebenfalls mit der Nitrifikation in Zusammenhang zu bringen ist die unterschiedliche Auswirkung der Bepflanzung auf die Kalksickerverluste (vgl. dazu Abschnitt VIII und Figur 5).

Von besonderem Interesse ist die Feststellung des Einflusses der Gülledüngung auf den Kalkhaushalt. Wie steht es mit der « entkalkenden und bodenversauernden Wirkung der Gülle »? Nach Tabelle 1 steigt der Kalkverlust durch Auswaschung mit der Gülledüngung. Nach Tabelle 2 ist die Kalkbilanz nach Gülledüngung beim kalkreichen Boden ungünstiger als ohne Gülleanwendung (—678 gegen —597 kg/ha), beim sauren Boden dagegen günstiger (—127 gegen —142 kg/ha). Beim kalkreichen Boden hat aber auch die bloße Bepflanzung eine Erhöhung der Kalkauswaschung gebracht, die auf die lösende Wirkung der von den Wurzeln stammenden Säuren (Kohlensäure usw.) zurückgeführt werden muß. Mit der Produktion eines Ertrages von 24 kg/ha Grastrockensubstanz ging eine Zunahme der Kalkauswaschung um rund 35 kg/ha Hand in Hand. Da diese Zunahme trotz einem gleichzeitigen Rückgang der Salpeterbildung um rund 100 kg/ha erfolgen konnte, muß dem Wurzeinfluß zweifellos eine angemessen stärkere Wirkung, d. h. etwa einer Kalkmenge von 235 kg entsprechend, zugeschrieben werden. Wenn die Gülledüngung eine Steigerung des Pflanzenwachstums zu einem Ertrag von 80 q/ha Grastrockensubstanz bewirkte, so ist auch mit einer ebenfalls gesteigerten Wurzeltätigkeit zu rechnen. Mit der Kalkmenge von 235 kg und 24 q Trockensubstanz in Vergleich käme eine solche von rund 290 kg auf 80 q Trockensubstanzertrag. Ein unmittelbarer Zusammenhang der erhöhten Kalkauswaschung mit der Gülledüngung ist damit für eine hinreichende Erklärung durchaus nicht erforderlich, sondern es genügt zweifellos der nur mittelbare Zusammenhang mit dem durch die Gülledüngung geförderten Pflanzenwachstum. Dieser Umstand trifft aber in Wirklichkeit für jede wachstumsfördernde Kulturmaßnahme zu, und die entkalkende Wirkung ist daher absolut

keine mit der Gülledüngung verbundene Besonderheit. Im Gegenteil ist zu sagen, daß die Gülledüngung im Vergleich zu andern Düngern, wie z. B. Kalisalzen (ein Vergleich mit kalkhaltigen Düngern ist nicht an­gängig), sogar eine kalksparende Wirkung zeigt, weil diese starke Säurereste übriglassen, die unbedingt eine zusätzliche Kalkauswaschung auslösen müssen. Da der Kalk des Futters sich zur Hauptsache im Kot wiederfindet, hat man es mit der Verwendung kotreicher Gülle in der Hand, nicht nur das Nährstoffverhältnis in bezug auf Phosphorsäure, sondern auch die Kalkbilanz des Bodens in merklicher Weise zu verbessern.

Magnesia kann in ihrem Verhalten als Kalkbegleiter betrachtet werden. Wo sie nicht mit dem Kalk zusammen in kohlensaurer Form in größerer Menge vorliegt, sind die Sickerverluste geringfügig.

III. Verlauf der Chlorauswaschung nach Herbst- und Frühljarsdüngung.

Drei weitere Versuchsreihen dienten dem Studium der Chlorauswaschung nach der Anwendung chloridhaltiger Kalisalze mit Rücksicht auf die bekannte Chlorempfindlichkeit der Kartoffel (die Gegenwart größerer Chlormengen im Boden bedingt einen Rückgang des Ertrages und der Qualität in bezug auf den Stärkegehalt). Die Unterschiede verschieden chlorhaltiger Kalidünger verschwinden in der Regel, wenn solche nicht im Frühjahr, sondern bereits im Herbst auf den vorgesehenen Kartoffelfeldern ausgebracht werden.

Die Versuche wurden sowohl mit kalkreichen als mit kalkarmen Böden durchgeführt. Als Vergleichsverfahren wurden gewählt :

- a) keine Düngung,
- b) Herbstdüngung mit 30 % Kalisalz (I. XII.),
- c) Frühljarsdüngung mit 30 % Kalisalz (1. IV.).

Die mit der Kalidüngung (180 kg/ha) verabfolgte Chlorgabe betrug bei zwei Versuchsreihen je 314 kg/ha und bei der dritten 265 kg/ha. Eine Bepflanzung wurde nicht vorgenommen. Aus dem im Sickerwasser in monatlichen Abständen bestimmten Chlorgehalt ließen sich die in Tabelle 3 zusammengestellten, im Boden jeweils noch vorhandenen Chlorrückstände berechnen.

Zu Tabelle 3 ist ergänzend zu bemerken, daß sich die Geschwindigkeit der Chlorauswaschung mehr oder weniger ausschließlich nach den auf die Düngung folgenden Niederschlagsmengen richtet. Bei uns reichen die normalerweise fallenden Niederschläge aus, um die Chlorgabe einer Herbstdüngung bis zum Frühjahr bis auf einen unschädlichen Rest verschwinden zu lassen (vgl. Tab. 3). In Figur 3 sind die im Durchschnitt festgestellten Chlorgehalte des Sickerwassers zur Darstellung gebracht. Im Einzelfall ist je nach den Niederschlagsverhältnissen mit größeren Abweichungen zu rechnen, wobei natürlich geringe Wassermengen

Tabelle 3.

Chlorrückstände im Boden nach Herbst- und Frühlingsdüngung
(Zufuhr durch Düngung = 100).

Zeitpunkt der Beobachtung	Relativer Chlorrückstand im Boden nach Düngung am									
	1. Dezember					1. April				
	Serie III (kalk- reich)	Serie III (sauer)	Serie V (kalk- reich)	Serie VII (sauer)	Mittel	Serie III (kalk- reich)	Serie III (sauer)	Serie V (kalk- reich)	Serie VII (sauer)	Mittel
1. Dez. . .	100	100	100	100	100					
1. Januar .	34	57	100*	98	72					
1. Februar .	28	52	100*	65	61					
1. März . .	18	45	79	49	48					
1. April .	5	24	57	32	30	100	100	100	100	100
1. Mai . .		22	34	31	23	96	99	100	100	99
1. Juni . .		12	26	26	17	67	90	99	94	88
1. Juli . .		0	11	?	4	13	32	66	?	37
1. Aug. . .			9	?		12	21	25	?	19
1. Sept. . .			8	?			18	16	?	15

* Kein Sickerwasser, weil zu geringe Niederschläge.

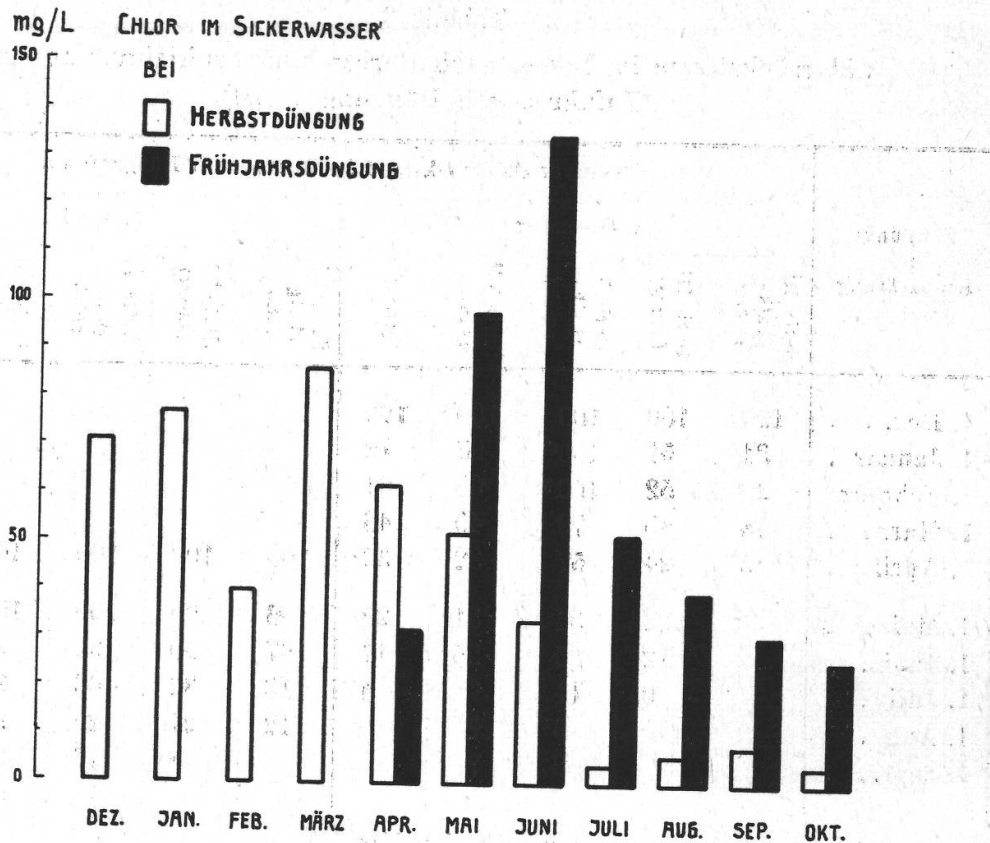
höhere Konzentration zur Folge haben als starke Regenfälle. Bei den verwendeten sauren Versuchsböden schien die Auswaschung namentlich der restlichen Chlormenge schleppender zu verlaufen als bei den kalkreichen Böden. Dieses Verhalten kann mit einem höheren Adsorptionsvermögen des sauren Bodens für Chlor in Zusammenhang gebracht werden, ist aber andererseits mindestens zum Teil auch auf die etwas schlechtere Durchlässigkeit der sauren Versuchsböden zurückzuführen.

Kali konnte bei diesen Versuchen kaum mehr als spurenweise im Sickerwasser festgestellt werden. Gegen eine möglichst frühzeitige Ausbringung von chlorhaltigen Kalisalzen, falls solche unbedingt zu Kartoffeln Verwendung finden sollen, besteht damit in dieser Hinsicht auf nicht zu leichten Böden kein Hinderungsgrund.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß bei einer Frühlingsdüngung mit chlorhaltigen Düngern zu Kartoffeln sicher mit einer Schädigung zu rechnen ist, während eine solche bei einer Herbstdüngung unter unsern Niederschlagsverhältnissen unwahrscheinlich ist.

IV. Kalkauswaschung nach erfolgter Kalkung.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde bei einem stark sauren Boden ($\text{pH} = 4,8$) die Kalkauswaschung unmittelbar nach der Vor-
nahme einer Kalkung untersucht. Die Versuchsvorfahren waren :



Figur 3.

Mittlerer Chlorgehalt des Sickerwassers nach Herbst- und Frühlingsdüngung.

- a) unbehandelt,
- b) Kalkung mit Ätzkalk ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$),
- c) Kalkung mit gewöhnlichem Kalkstein (CaCO_3).

Die Kalkgabe erfolgte am 1. X. auf die Bodenoberfläche in einer Menge von 3000 kg/ha in feingemahlener Form. Nach einer Beobachtungszeit von 16 Monaten ergab sich das in Tabelle 4 verzeichnete Gesamtergebnis.

Die zugeführte Kalkmenge gab nach Tabelle 4 wohl Anlaß zu einer gerade merklichen Steigerung der Sickerverluste an Kalk, gemessen an der Höhe der Kalkgabe blieb sie aber praktisch belanglos. Eine nachträgliche Bestimmung des Kalkbedarfes des Versuchsbodens zur Neutralisation (nach Kappen) ergab das vierfache der angewendeten Kalkmenge. Die weitgehende Festlegung der verabreichten Kalkmenge ist daher nicht weiter auffallend und spricht für ein noch stärkeres Kalkbedürfnis des Versuchsbodens.

Eine kleine Verbesserung durch die Kalkung erfuhr die relativ schlechte Durchlässigkeit des Versuchsbodens, wie aus den um 2—3 % erhöhten Sickerraten zu entnehmen ist. Ein bemerkenswerter Unter-

Tabelle 4.
Kalkauswaschungsverhältnisse.

Verfahren	Ungekalkt	Gekalkt mit 3000 kg/ha	
		Ätzkalk	Kalkstein
Sickerwasser in % der Regenmenge	58,5	60,6	61,4
Ausgewaschene Kalkmenge in kg/ha	214	251	235
%-Zunahme der Kalkverluste . . .	—	17	10
Mehrauswaschung in % der Kalkzufuhr	—	1,2	0,7

schied in der Wirkung der beiden verwendeten Kalkarten war bei diesem Versuch nicht festzustellen.

V. Stickstoffverluste bei Herstdüngung von Wintergetreide mit mineralischem Stickstoff.

Zur Beantwortung der Frage, ob und in welchem Umfange eine Stickstoffdüngung im Herbst zu Wintergetreide verlorengehe, wurde eine Versuchsreihe mit folgenden Versuchsvorfahren durchgeführt :

- a) unbepflanzt, ungedüngt,
- b) bepflanzt, ungedüngt,
- c) unbepflanzt, gedüngt mit Chilesalpeter,
- d) bepflanzt, gedüngt mit Chilesalpeter,
- e) bepflanzt, gedüngt mit Ammonsulfat.

Der verwendete Versuchsboden war ein mergeliger, toniger Lehm. Als Versuchspflanze wurde am 25. X. Oberkulmer Rotkorn ausgesät und am 1. XI. die Düngung in der Höhe von 20 kg/ha Stickstoff verabfolgt. Die Beobachtungszeit erstreckte sich vom Oktober bis zum Juli des folgenden Jahres. Tabelle 5 zeigt die während dieser Zeit zur Auswaschung gelangten Stickstoffmengen sowie den Stickstoffentzug durch die Kornernte am 27. VII.

Als erfreuliches Resultat für den Analytiker erscheint die innerhalb der Versuchszeit erfolgte fast quantitative Filtration der gegebenen Salpetermenge durch die unbepflanzten Lysimeter. Als Ausnahme hat sich hier die früher festgestellte starke Hemmung der Nitratbildung unter einer Grasnarbe nicht bemerkbar gemacht; denn der Gesamtverlust des Bodens an Stickstoff ist hier bei den Versuchsvorfahren mit Bepflanzung durchgehend höher als ohne Bepflanzung. Unter den bepflanzten Lysimetern zeigen die gedüngten gegenüber den ungedüngten einen Mehrverlust an Stickstoff durch Versickerung in der Höhe von rund $\frac{1}{2}$ der verabfolgten Düngergabe. Gleichzeitig erreicht der Mehrentzug mit der Kornernte etwas höhere Werte, als dem errechneten

Tabelle 5.

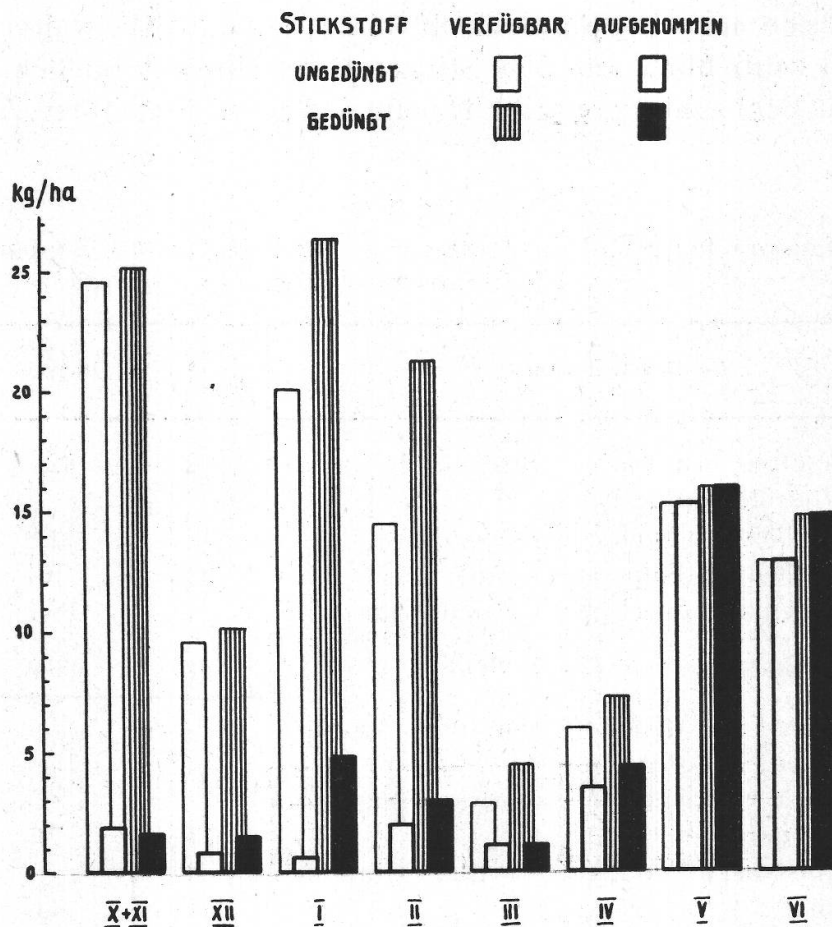
Stickstoffauswaschung und -Ernteentzug in der Zeit vom 1. Oktober 1927 bis 30. Juni 1928.

Versuchungsverfahren	Unbepflanzt		Bepflanzt mit Korn		
	Ungedüngt	Chile-salpeter	Ungedüngt	Chile-salpeter	Ammon-sulfat
Sickerverlust N kg/ha . . .	105,9	125,5	67,8	81,8	80,9
Ernteentzug	—	—	41,4	49,7	54,0
Gesamtverlust des Bodens .	105,9	125,5	109,2	131,5	134,9
Nach der Düngung mit 20 kg/ha Stickstoff					
Mehrauswaschung	—	19,6	—	14,0	13,1
Mehrernte	—	—	—	8,3	12,6
Gesamt-Mehrentzug	—	19,6	—	22,3	25,7

Düngerverlust entsprechen würde. Da die Ernteergebnisse der Parallelversuche beträchtlich voneinander abweichen, lohnt es sich nicht, auf diese Differenz näher einzugehen. Ein Unterschied aus der Anwendung von Chilesalpeter oder Ammonsulfat ist nicht ersichtlich. Es ist bekannt, daß im Boden eine rasche Nitrifizierung von Ammonsalzen stattfindet.

Bei einer weiteren Betrachtung der absoluten Zahlenwerte fallen wieder die 100 kg/ha übersteigenden Stickstoffentzüge aus den ungedüngten Lysimetern auf, denen gegenüber die verabfolgte Düngung von 20 kg/ha nur als unbedeutender Zustupf erscheint. Aus diesem Versuch wäre damit der Schluß zu ziehen, daß in einem frisch bestellten Saatbeet für die Bedürfnisse der keimenden Saat genügend mineralisierter Stickstoff vorhanden ist, sofern nicht besonders ungünstige Verhältnisse vorliegen.

Über die zeitliche Verteilung der verfügbaren Stickstoffmengen gibt Figur 4 Aufschluß. Als « verfügbar » wurde dort die aus den unbepflanzten Lysimetern abfließende Stickstoffmenge dargestellt, während als « aufgenommen » die Minderauswaschung aus den bepflanzten gegenüber den unbepflanzten Lysimetern angenommen wurde (gemäß Tabelle 5 liegt genau genommen die vom Korn aufgenommene Stickstoffmenge etwas über der Gehaltsdifferenz der Sickerwasser). Mit aller Deutlichkeit zeichnet sich hier eine im Herbst in großem Überfluß zur Verfügung stehende Stickstoffmenge ab. Ein Bedarf an zusätzlichem Stickstoff läßt sich erst mit dem Eintritt der Periode des starken Wachstums ab Monat April vermuten, von wo ab sämtlicher verfügbare Stickstoff von der Pflanze beansprucht wird, d. h. im Sickerwasser der bepflanzten Lysimeter fand sich kein Stickstoff mehr vor.



Figur 4.

Stickstoffgehalt des Sickerwassers (= verfügbar) und Stickstoffaufnahme durch Korn.

Nach dem Ausfall dieser Versuchsreihe wäre das Augenmerk im Herbst mehr auf die Vermeidung unnötiger Stickstoffverluste zu richten als auf die Zufuhr weiterer Mengen leichtlöslichen Stickstoffes.

VI. Nährstoffverluste nach Stallmistdüngung.

1. Stallmistdüngung im Herbst zu Wintergetreide.

Dieser Versuch gelangte auf dem nährstoffarmen und immer noch als sauer zu bezeichnenden Boden, der die unter Abschnitt IV beschriebene Kalkung erhalten hatte, nach einer Umarbeitung zur Durchführung. Der Stallmist wurde anfangs September in einer 200 q/ha entsprechenden Menge « untergepflügt ». Die Versuchsverfahren waren :

- a) unbepflanzt b) Roggen c) Korn.

Die Untersuchung des Sickerwassers sollte sich vorgesehenermaßen neben der Bestimmung von Ammoniak und Salpeter auch auf Phosphorsäure und Kali erstrecken. Die letzten beiden ließen sich jedoch wäh-

rend Monaten nur in Spuren nachweisen, so daß die weiteren Untersuchungen schließlich auf den Stickstoff beschränkt blieben. Über die gemachten Beobachtungen gibt Tabelle 6 eine zahlenmäßige Zusammenfassung.

Tabelle 6.

Stickstoffauswaschung und Ernteentzug in der Zeit vom 10. September 1931 bis 1. November 1932.

Versuchsverfahren	Un- bepflanzt	Roggen	Korn
Stickstoffzufuhr in Form von Stallmist in kg/ha	92	92	92
Bis zur Getreideernte :			
Sickerverlust an Ammoniakstickstoff	12,1	11,8	12,6
Sickerverlust an Salpeterstickstoff	92,7	15,4	36,5
Stickstoffentzug durch die Getreideernte . .	—	36,7	40,1
Gesamt-Stickstoffverlust des Bodens	104,8	63,9	89,2
Sickerverlust an Stickstoff vor dem Haupt- wachstum (7 Monate)	30,3	19,5	27,6
Sickerverlust während der Hauptwachstumszeit (3½ Monate)	74,5	7,7	21,5
Sickerverlust nach der Ernte bis Ende Oktober (3 Monate)	64,6	54,0	55,1

Für die zutreffende Beurteilung der Stallmistwirkung wäre mindestens ein weiteres Versuchsverfahren « ohne Stallmist » notwendig gewesen. Die dafür erforderliche Erweiterung der Versuchsanlage konnte jedoch erst in einem späteren Zeitpunkt vorgenommen werden. Die Antwort auf die Frage nach den Stickstoffverlusten, die im übrigen je nach dem Rottezustand des ausgebrachten Stallmistes verschieden ausfallen dürfte, kann hier trotzdem mit großer Wahrscheinlichkeit dahin gegeben werden, daß diese nicht hoch angesetzt werden müssen, wie aus den am Fuße der Tabelle 6 angegebenen Verlustzahlen vor, während und nach der Hauptwachstumszeit entnommen werden kann. Recht erheblich sind dagegen die Stickstoffverluste in kurzer Zeit nach der Aberntung des Getreides. Sie sprechen für die Zweckmäßigkeit des Anbaues von Nach- und Zwischenfrüchten.

Der früher festgestellte Rückgang der « sichtbaren » Nitrifikation mit der Bepflanzung tritt in dieser Versuchsreihe, besonders beim Roggen, wieder stärker hervor. Der auf kaum 20 % der oberirdisch entzogenen Stickstoffmenge zu schätzende Gehalt der Wurzeln reicht auch hier lange nicht aus, um die Differenz zu erklären. Das Korn scheint in dieser Hinsicht in Bestätigung des Ergebnisses der unter Abschnitt V

beschriebenen Versuchsreihe merkwürdigerweise eine Sonderstellung einzunehmen. Eine nähere Abklärung dieses abweichenden Verhaltens verschiedener Pflanzen dürfte nicht ohne weitere Versuche möglich sein.

Ein prinzipieller Unterschied ist im Verhalten der Sickerverluste an Ammoniak- und Salpeterstickstoff gegenüber der Bepflanzung festzustellen. (Der an und für sich hohe Anteil des Ammoniakstickstoffes dürfte in einem sauren Boden nichts Besonderes bedeuten, weil die Nitrifikation im sauren Boden gehemmt ist, wie J. W o j c z y n s k i in unveröffentlichten Versuchen nachweisen konnte.) Die auffallende Konstanz der Ammoniaksickerverluste in allen drei Versuchsverfahren kann als Bestätigung dafür angesehen werden, daß zumindest Roggen und Korn den Stickstoff in Salpeterform bevorzugen.

2. Stallmistdüngung auf Rasen im Herbst.

Mit Rücksicht auf die nur allmähliche Ausnutzbarkeit einer Stallmistdüngung wurde der vorgehend beschriebene Versuch durch Verwendung einer Gräsermischung als Versuchspflanze auf eine mehrjährige Zeitspanne ausgedehnt. Als Versuchsverfahren wurden gewählt :

- a) Boden unbepflanzt und ungedüngt,
- b) Rasen mit 150 q/ha Stallmist im Herbst,
- c) Rasen mit 300 q/ha Stallmist im Herbst.

Der verwendete Versuchsboden war ebenfalls sauer und relativ nährstoffarm. Die Aussaat der Gräsermischung wurde anfangs August vorgenommen, die Überdüngung mit frischem, strohigem Stallmist erfolgte Mitte Oktober des gleichen Jahres. Die Sickerwasseruntersuchungen sollten auch hier auf Phosphorsäure und Kali ausgedehnt werden, wurden aber aus dem gleichen Grunde wie bei der vorgängig beschriebenen Versuchsreihe wieder aufgegeben.

Tabelle 7

Stickstoffauswaschung und -entzug in 4½ Jahren.

Versuchsverfahren	un- bepflanzt ungedüngt	Rasen mit Stallmist	
		150 q/ha	300 q/ha
Zufuhr mit dem Stallmist kg/ha	—	90	180
Sickerverlust in Form von Ammoniak	17,3	15,7	15,2
Sickerverlust in Form von Salpeter	492,9	64,5	64,1
Entzug durch die Ernte (total 12 Schnitte) .	—	182,8	198,3
Gesamtentzug	510,2	263,0	277,3
Stickstoffbilanz	—510,2	—173,0	— 97,3

Nach anfänglich ziemlich ausgeglichenen Sickerverlusten trat schon mit dem ersten vollen Versuchsjahr wieder der ausgesprochene Rückgang des Gesamtentzuges an Stickstoff unter dem berasteten Boden ein. Die im Sickerwasser der unbepflanzten und ungedüngten Lysimeter im ersten Jahr weggeführte Stickstoffmenge erreichte rund 150 kg/ha und im vierten Versuchsjahr noch rund die Hälfte davon. Die nach 4½-jähriger Versuchsdauer dem Boden insgesamt entzogene Stickstoffmenge war bei der Brache rund doppelt so hoch wie durch den gedüngten Gräserbestand. Die Unterschiede waren im trockensten Versuchsjahr am größten, im niederschlagreichsten am kleinsten. Es drängt sich hier eine Parallele mit früheren Vegetationsversuchen von Dr. A. Volkart auf, die ebenfalls in Oerlikon durchgeführt worden sind und bei denen die Wirkung einer vorausgegangenen Bodenaustrocknung auf den Pflanzenertrag untersucht wurde. Dabei lieferte der vorgetrocknete Boden den doppelten Ertrag an Trockensubstanz und Stickstoff wie der gleiche, aber nicht vorgetrocknete Boden. Gleichzeitig mit der Versuchsanlage wieder befeuchtete und in Flaschen verschlossene Bodenproben zeigten bei einer Untersuchung nach zwei Monaten einen rund doppelt so hohen Nitratgehalt wie die Kontrollprobe. Diese Resultate lassen den gemachten Hinweis auf die Bedeutung einer mit der Brache ermöglichten starken und wiederholten oberflächlichen Bodenaustrocknung für die Stickstoffmobilisierung als durchaus berechtigt erscheinen. Hand in Hand mit der Austrocknung und Wiederbefeuchtung geht ein Absterben und Wiederaufleben eines empfindlicheren Teiles der Bodenlebewelt und ruft einem beschleunigten Stoffumsatz mit vermehrter Stickstoffmobilisierung. Ob es sich dabei im besonderen um Nematoden handle oder nicht, kann dahingestellt bleiben, der Effekt muß derselbe sein.

Für die Beurteilung des Erfolges der Stallmistdüngung wäre auch hier wieder die Möglichkeit der Einbeziehung weiterer Versuchsvorfahren wertvoll gewesen (z. B. bepflanzt ungedüngt und unbepflanzt gedüngt). Aus der Tatsache, daß die höhere Stallmistgabe in den vier aufeinanderfolgenden Versuchsjahren Mehrerträge von 18, 13, 5 und 9 % erbrachte, wäre auf eine sehr nachhaltige Wirkung der Stallmistdüngung zu schließen. Was die Stickstoffwirkung im besonderen anbetrifft, so steht einer Mehrgabe von 90 kg Stallmiststickstoff in vier Jahren nur ein Mehrentzug von 15 kg Stickstoff gegenüber, während die restlichen 75 kg gemäß der Stickstoffbilanz im Boden verblieben wären oder eventuell auf eine nicht kontrollierte Art verlorengegangen sein müßten. Die Ertragssteigerung durch die Stallmistgabe gründet sich damit in diesem Fall erst in letzter Linie auf seinen Stickstoffgehalt.

Die Stallmistdüngung gab in den beiden Lysimeterversuchsreihen weder Anlaß zu einer vermehrten Phosphorsäure oder Kaliauswaschung, noch ließ sich eine Erhöhung der Stickstoffverluste erkennen.

VII. Einfluß einer Nährstoffzufuhr auf die Stickstoffbindung bzw. Salpeterbildung im Boden.

Die bekannten mikrobiologischen Methoden zur Bestimmung der Düngebedürftigkeit der Böden lassen erwarten, daß durch die Zufuhr unentbehrlicher und wichtiger Nährstoffe (außer Stickstoff) in nährstoffarmen Böden eine Belebung der Mikrowelt und insbesondere des stickstoffbindenden Azotobaktors erreicht werden könnte und damit eine vermehrte Produktion von mineralischem Stickstoff zu erreichen wäre.

Ein phosphorsäure- und kaliarmer, schwach saurer Tonboden fand Verwendung für diese Versuchsreihe. Als Vergleichsverfahren wurden gewählt (alle unbepflanzt) :

- a) ungedüngt,
- b) gedüngt mit Phosphorsäure (80 kg/ha in Form von Thomasmehl),
- c) gedüngt mit Kali (120 kg/ha als 30 % Kalisalz),
- d) gedüngt mit Phosphorsäure und Kali (wie b und c).

Im Verlaufe der ersten 12 Monate gelangten in jedem der 4 Fälle je über 250 kg/ha Stickstoff zur Auswaschung. Die Unterschiede zwischen den vier Verfahren blieben jedoch unbedeutend.

Nach einer Wiederholung der gleichen Düngung, verbunden mit einer gleichzeitigen *Kalkung* (1000 kg/ha CaO) aller Gefäße blieben die Unterschiede in der Stickstoffergiebigkeit weiterhin so geringfügig, daß sie kein Interesse beanspruchen können. Die Menge betrug in den ersten 12 Monaten nach der Kalkung rund 200 kg/ha. Die in diesem Versuchsabschnitt auf die Feststellung des Phosphorsäure- und Kaligehaltes ausgedehnten Sickerwasseruntersuchungen ergaben Phosphorsäureverluste um 4 kg/ha und Jahr. Die Kaliverluste lagen um 35 kg/ha. Ein Zusammenhang mit der Düngung der Gefäße zeigte sich aber in keinem Falle.

Der bisherige Verlauf dieser Versuchsreihe bestätigte die eingangs ausgesprochene Erwartung nicht. Es muß vielmehr angenommen werden, daß bei dem zur Salpeterbildung führenden Abbau organischer Substanz im Boden fortlaufend genügend Mineralstoffe frei werden, um den Bedarf der beteiligten Mikroben zu decken.

Um die Frage zu beantworten, ob bei Gegenwart unzersetzter organischer Substanz pflanzlicher Herkunft andere Verhältnisse Platz greifen, wurde in einem weiteren Versuchsabschnitt die Wirkung einer Zugabe von *Stroh* untersucht. 50 q/ha ausgewaschenes und kurzgehäckseltes Stallmiststroh wurde bei allen Verfahren mit der obersten Bodenschicht von 20 cm vermischt. Die Weiterverfolgung der Stickstoffsickerverluste ergab in den folgenden vier Versuchsjahren sowohl bei den mit Phosphorsäure als mit Kali gedüngten Lysimetern eine Erhöhung um durch-

schnittlich rund 10 % oder im Durchschnitt der vier Jahre um rund 10—15 kg/ha bei einer Durchschnittsleistung der ungedüngten Lysimeter von rund 145 kg/ha. Die stimulierende Wirkung der zusätzlichen Versorgung mit Phosphorsäure und Kali bewegt sich damit immer noch in relativ recht bescheidenen Grenzen. Es wäre natürlich trotzdem denkbar, daß unter noch ungünstigeren Verhältnissen doch eine bessere Wirkung gefunden werden könnte als hier, wo im Verlauf von 6 Jahren ohnehin 1000 kg Stickstoff je ha mobilisiert wurden.

Nachdem der Versuchsboden in den Gefäßen während 5 Jahren ungestört wieder einigermaßen festzulagern vermocht hatte, bot sich Gelegenheit, im Anschluß auch den Einfluß einer rein mechanischen Bodenlockerung auf die Stickstoffmobilisierung zu studieren. Zu diesem Zweck wurde eine Gefäßgruppe am 1. IV. einer gründlichen Lockerung unterzogen und mit der unbehandelten Gruppe weiter beobachtet. Die Untersuchung des Sickerwassers vom folgenden Monat Mai (im April selbst floß wegen zu geringer Niederschläge kein Sickerwasser ab) ergab bei den gelockerten Gefäßen eine doppelt so hohe Salpetermenge wie bei den ungelockerten, nämlich 44,3 kg/ha gegen 21,9 kg/ha. Die Nachwirkung der Lockerung erstreckte sich auf 4—5 Monate und erbrachte insgesamt ein Plus von rund 40 kg Stickstoff pro ha oder praktisch 2—3 q Handelssalpeter.

Eingriffen, die Veränderungen der Luft- und Wasserverhältnisse des Bodens zur Folge haben, müßte demnach eine erheblich größere Bedeutung für die Stickstoffmobilisierung im Boden zugeschrieben werden als einer bloßen Verbesserung der Mineralstoffversorgung durch eine Mineralstoffdüngung. In dieser Hinsicht aufschlußreich ist die Abnahme der Abbaugeschwindigkeit mit der Bodentiefe, wie sie angenähert durch die Untersuchung verschiedener Bodenhorizonte auf ihren Stickstoffgehalt nach Ablauf von 5 Versuchsjahren festgestellt werden konnte. Wenn die Abnahme des Stickstoffgehaltes gegenüber dem ursprünglichen Gehalt bei Versuchsbeginn in der obersten untersuchten Schicht = 100 gesetzt wird, so ergeben sich für die folgenden Schichten die nachstehenden Zahlenverhältnisse, die zu der Zersetzungsgeschwindigkeit in einer nahen Beziehung stehen müssen.

Schichttiefe in cm	0—5	5—10	10—20	20—40	40—60
Relative Abbaugeschwindigkeit	100	68	55	23	5

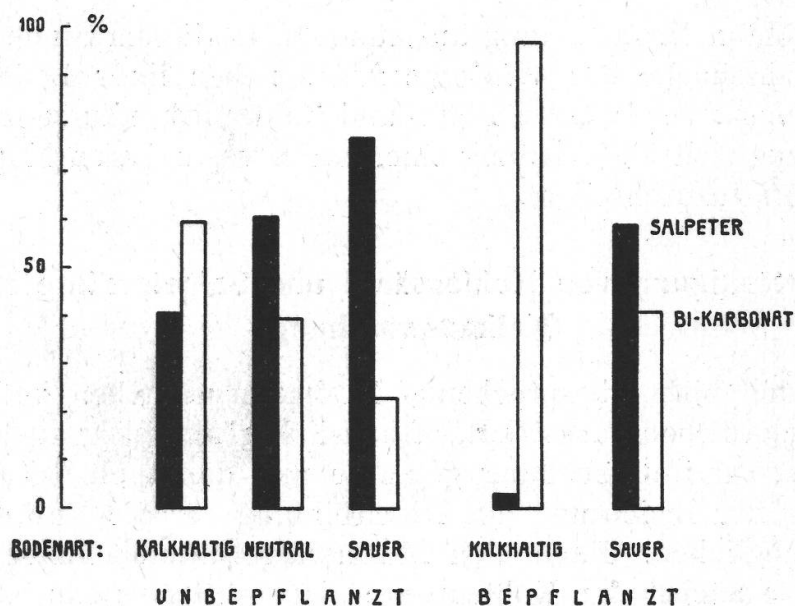
Wenn somit durch eine Bodenlockerung für größere Schichttiefen oberflächenähnlichere Umweltbedingungen geschaffen werden können, so dürfte sie einen beschleunigenden Einfluß auf den Stoffumsatz durch die Mikroorganismen ausüben, der im Falle unseres Lysimeterversuches

in einer erhöhten Nitratbildung ausmündete. In diesem Sinne wäre z. B. einer Frühjahrshacke des Wintergetreides neben ihrer Bedeutung für die Beseitigung einer lästigen Platz- und Nährstoffkonkurrenz durch die Unkräuter zugleich die Wirkung einer rasch verfügbaren Kopfdüngung mit Stickstoff zuzuschreiben.

VIII. Beteiligung von Kohlensäure und Salpetersäure an der Kalkauswaschung.

Unter den bisher besprochenen Lysimeterversuchen befinden sich drei, bei denen neben dem Stickstoffhaushalt gleichzeitig auch die Kalkauswaschung zur Untersuchung gelangte und damit eine etwas nähere Betrachtung der Bedeutung der Nitratbildung für die Entkalkung des Bodens ermöglichen. Nach den Sickerwasseruntersuchungen ist die Salpetersäure nächst der Kohlensäure als wichtigstes saures Ausscheidungsprodukt der Lebensvorgänge im Boden zu betrachten. Da erstere eine starke, letztere aber nur eine sehr schwache Säure repräsentiert, müssen beide in verschiedener Intensität an der Kalkauswaschung beteiligt sein. Die Salpetersäure ist als solche im Boden frei nicht denkbar, solange noch Basen für eine Salzbildung verfügbar sind. Gegenüber der Kohlensäure (worunter der Einfachheit halber hier auch die übrigen löslichen und nicht genannten sauren Stoffwechselprodukte des Pflanzen- und Bodenlebens eingeschlossen sein sollen) stellt sich dagegen bald ein Gleichgewicht mit dem als « Bodensäure » zu betrachtenden basenadsorbierenden Kolloidkomplex des Bodens ein, wenn dieser selbst auf einer entsprechenden Entbasungsstufe angelangt ist. Als Base kommt dabei praktisch fast ausschließlich nur das Kalzium in Frage, da es auch in Böden, die keinen Vorrat an kohlen-saurem Kalk aufweisen, doch immer den überwiegenden Anteil der austauschbaren Basen ausmacht. In praktischer Hinsicht darf daher ohne weiteres die Annahme gemacht werden, daß die durch den Nitrifikationsprozeß gebildete Salpetersäure unter gewöhnlichen Bedingungen stets die ihr äquivalente Kalkmenge mit zur Auswaschung bringt, die Kohlensäure dagegen nur einen je nach Umständen verschieden ausfallenden, die Äquivalenz nur im günstigsten Falle erreichenden Anteil. Für die relative Höhe dieses Anteils im Vergleich zur Gesamtmenge der gebildeten Kohlensäure sind maßgebend: die beschränkte Löslichkeit der Kohlensäure selbst im Bodenvasser, das Vorhandensein eines Bodenvorrates an kohlen-saurem Kalk, das Vorliegen eines mehr oder weniger gesättigten neutralen Bodens oder eines basenärmeren sauren Bodens.

Die drei erwähnten Lysimeterversuche betreffen zufälligerweise je einen Vertreter der drei obgenannten Gruppen: einen kohlen-sauren Kalk enthaltenden, einen neutralen und einen sauren Boden. Zu erwarten war also eine Abnahme des relativen Anteils des als Bikarbonat



Figur 5.

Bodenentkalkung durch Salpeter- und Kohlensäure.

gelösten Kalkes vom ersten zum dritten Boden. Nicht zum vorneherein bekannt ist dagegen das gegenseitige Verhältnis der Beteiligung von Kohlensäure und Salpetersäure an der gesamten Kalkauswaschung. Diese relativen Anteile, wie sie in den drei Lysimeterversuchen zutage treten, sind in Figur 5 zur Darstellung gebracht. Beim unbepflanzten, karbonathaltigen Boden überwiegt der durch Kohlensäure gelöste Kalkanteil den als Nitrat gelösten um rund 50 %. Beim gleichen, aber bepflanzen Boden, wo die Nitratauswaschung stark unterdrückt ist, dagegen eine größere Kohlensäuremenge produziert wird, ist praktisch fast nur noch die Kohlensäure für die Kalkauswaschung verantwortlich. Diese Verhältnisse verschieben sich mit abnehmendem Basenvorrat über den neutralen zum sauren Boden in eindrucklicher Weise zu einer vorherrschenden Bedeutung der Kalkauswaschung durch die Salpetersäure. Wie stark die Salpetersäure als Kalkverbraucher auftritt, hängt natürlich im Einzelfall stets von der Intensität der Nitrifikation bzw. von dem zur Versickerung gelangenden Nitratüberschuß im betreffenden Boden ab. Im allgemeinen dürfte als wesentlich festzuhalten sein, daß an der eigentlichen Bodenversauerung, die da beginnt, wo jeder Vorrat an kohlensaurem Kalk aufgebraucht ist, nicht unbedingt die Kohlensäure die Hauptrolle spielt, sondern zusehends die Wirkung der Salpetersäure in den Vordergrund tritt.

Da nach den Ergebnissen der Oerlikoner Lysimeterversuche durch die im brachliegenden Boden gesteigerte Nitrifikation bedeutende Verluste an wertvollem Stickstoff verursacht werden, liegt es im doppelten Interesse des Ackerbauers, durch die Verkürzung aller Teilbrachen mit

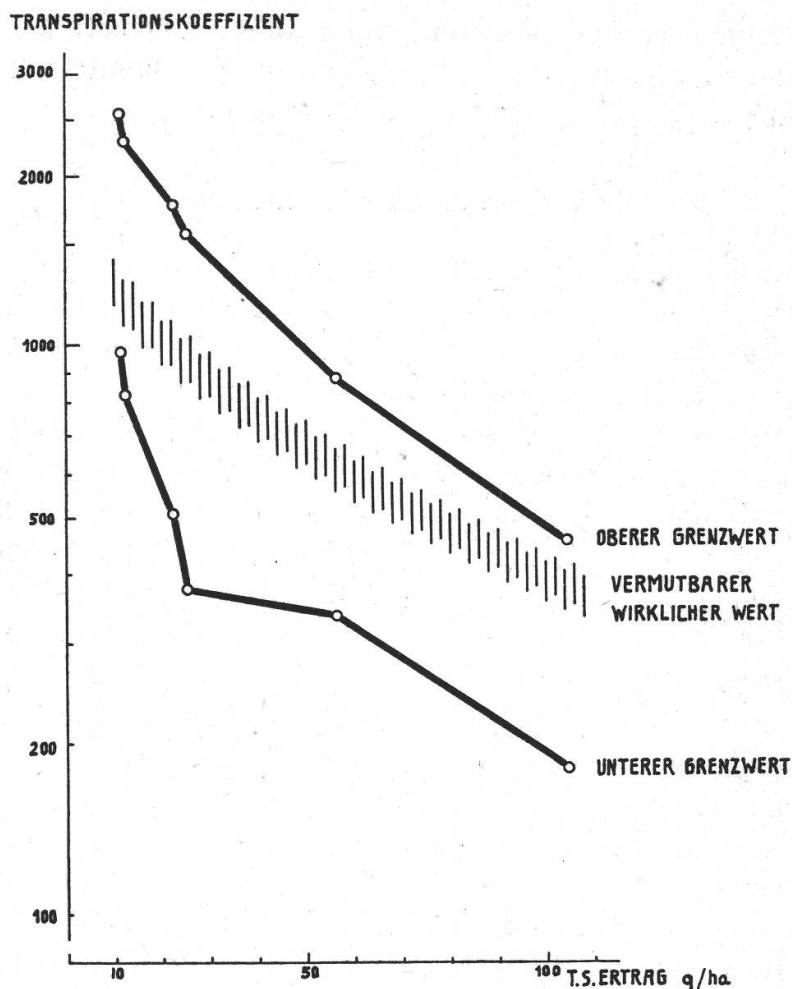
Hilfe des Zwischenfruchtbaues nicht nur größere Verluste an mehr oder weniger lösungsbereitem Stickstoff zu verhindern, sondern gleichzeitig auch den Kalkvorrat seiner Böden zu schonen.

IX. Transpirationsverhältnisse.

Mit Rücksicht auf die der Hauptversuchsfrage der Sickerverluste angepaßten Versuchsbedingungen ist es zwar nicht möglich, gleichzeitig auch auf die im weiteren interessante Frage nach dem Transpirationskoeffizienten, d. h. die Angabe der auf je einen Teil produzierter Pflanzentrockensubstanz verbrauchten Teile Wasser, eine eindeutige Antwort zu finden. Die von den Pflanzen verdunstete Wassermenge kann nicht einfach der gegenüber dem unbepflanzten Boden weniger zur Versickerung gelangenden Wassermenge gleichgesetzt werden. In den zu untersuchenden Beziehungen bleibt die Beeinflussung der direkten Wasserverdunstung aus dem Boden durch die Pflanzendecke ein unbekannter Faktor. Möglich ist damit nur die Angabe eines unteren Grenzwertes für den Transpirationskoeffizienten aus der Mehrverdunstung des bepflanzten Lysimeters gegenüber dem unbepflanzten bzw. der Sickerwasserdifferenz einerseits und einer oberen Grenze, wo das gesamte verdunstete Wasser in Betracht gezogen wird. Dabei wäre zu erwarten, daß bei geringer Pflanzendichte der wahre Wert näher an der unteren Grenzzahl (die direkte Verdunstung aus dem Boden ist weniger gehemmt), bei starker Bodenbeschattung durch einen dichten Pflanzenbestand dagegen eher näher an der oberen Grenzzahl liegen würde. In Figur 6 sind diese oberen und unteren Grenzwerte der Transpirationskoeffizienten für Gräser im Zusammenhang mit dem jährlichen Trockensubstanzertrag, als angenähertem Maß für die Bodenbedeckung, unter Beschränkung auf die hierfür bestgeeignete Versuchsreihe I aufgezeichnet.

Über die Höhe des Wasserverbrauches zur Bildung von 1 g Trockensubstanz kann ausgesagt werden, daß dieser bei einer geringen Ertragshöhe von rund 10 q/ha *über* 1000 cm³/g beträgt, bei einem hohen Ertrag von rund 100 q/ha aber *unter* 500 cm³/g fällt. Briggs und Shantz¹ geben für Gräser als den größten Wasserverbrauchern einen mittleren Transpirationskoeffizienten von 861 an, was auch nach den vorstehenden Angaben für mittlere Erträge die zutreffende Größenordnung sein dürfte. Die hier verzeichneten niedrigen Erträge stammen von den ungedüngten Lysimetern, die hohen von stark gegüllten Gefäßen. Die Pflanzen zeigen also, wie nicht anders zu erwarten, einen um so höheren Wasserverbrauch, je spärlicher die Nährstoffe im Boden zu finden sind oder je geringer die Nährstoffkonzentration in der Bodenlösung ist.

¹ Cit. nach E. J. Russell, Boden und Pflanze. Berlin 1936, S. 28.



Figur 6.

Wasserverbrauch zur Bildung eines Teiles Pflanzen-Trockensubstanz.
(Zu beachten : Logarithm. Maßstab f. Ordinate.)

Nicht berücksichtigt ist bei der vorstehenden Betrachtung das durch Taubildung den Pflanzen zur Verfügung gestellte Wasser. Für Getreide standen aus den Lysimeterversuchen nur vereinzelte Beobachtungen zur Verfügung. Die Transpirationswerte scheinen dort niedriger als bei den Gräsern (nach Briggs und Shantz für Weizen 513, Mais 368).

X. Die Ergebnisse in praktischer Hinsicht.

Die Oerlikoner Lysimeterversuche erbrachten in guter Übereinstimmung mit vielen anderen und fremden Beobachtungen bezüglich des Verhaltens der wichtigen Pflanzennährstoffe im Boden folgende wesentlichen Ergebnisse grundsätzlicher Art :

1. *Phosphorsäure* unterliegt praktisch *keiner Auswaschung*. Sie kann unter normalen Verhältnissen unbedenklich für längere Zeit auf Vorrat gedüngt werden.

2. *Stickstoff* in mineralischer oder leicht mineralisierbarer Form (Salpeter, Ammoniak, Harnstoff usw.) wird vom Boden ohne besondere Vorsichtsmaßnahmen *nicht festgehalten*. Löslicher Stickstoff wird daher ausschließlich als Kopfdünger verwendet. In unlöslicher, organisch gebundener Form (Stallmist, Humus usw.) bleibt der Stickstoff länger im Boden und kommt entsprechend langsam zur Wirkung und Ausnutzung.

Bodenlockerung fördert die Mobilisierung von gebundenem Stickstoff. In Bracheperioden ist die Nitrifikation und mit ihr die Gefahr erheblicher Stickstoffverluste besonders groß. Diese Verlustquellen können durch den Anbau von Nach- und Zwischenfrüchten nutzbar gemacht werden.

3. *Kali* wird vom Boden, in normalen Gaben gegeben, *gut zurückgehalten*. Bei fortgesetzter Überdüngung mit Kali (übertriebene Güllewirtschaft) muß dagegen mit größeren Verlusten gerechnet werden.
 4. *Kalk* spielt die Rolle eines wichtigen Regulators im Säure-Basen-Haushalt des Bodens. Je intensiver die Bodenbearbeitung und Bodennutzung, um so höher sind in der Regel die Kalkverluste. Die Mehrzahl unserer Böden besitzt im Vergleich zum Verbrauch einen großen Kalkvorrat.
-