

526
0

Sonderdruck aus
der Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde.
43. Band, Heft 1/2, Seite 83—93, 1936.
Verlag Chemie, G. m. b. H., Berlin W 35, Corneliusstraße 3.

BIBLIOTHEK
INSTITUUT VOOR
BODEMVRUCHTBAARHEID
GRONINGEN

DEPARTEMENT
No. 14559

634.421:634.8

6. Das Serienprinzip in Feldversuchen.

Von Prof. Dr. O. de Vries.

Rijkslandbouwproefstation, Groningen, Niederlande.

Die Unzuverlässigkeit der Resultate von einer Versuchsparzelle (Ertrag, chemische Zusammensetzung, Qualität usw.), welche durch Ungleichmäßigkeit des Bodens, zufällige Abweichungen im Wachstum, und andere Beobachtungsfehler verursacht wird, sucht man bekannterweise zu beseitigen durch folgende Maßnahmen:

- a) Wiederholung in Form von Parallelen.
- b) Sachgemäße Verteilung der Parallelen über das Feld.
- c) Wiederholung des Versuches an verschiedenen Stellen und in verschiedenen Jahren.

Die erste Maßregel ist jetzt allgemein gebräuchlich und so selbstverständlich, daß man nicht mehr über deren Notwendigkeit redet. Ungeachtet der vielen Studien und der zahlreichen Daten über die Größe des Versuchsfehlers in Abhängigkeit von der Zahl der Wiederholungen, findet man aber noch große Unter-

schiede in dieser Zahl, welche wechselt von zwei bis drei in den einfachsten Fällen bis zwölf, welche letztere Zahl allgemein gebräuchlich ist in den Feldversuchen der Zuckerplantagenindustrie auf Java, wo zehn Parallelen seit Jahren die Mindestforderung bilden. Aber auch wo die Zahl nur von vier oder fünf bis acht schwankt, kann man diesen Punkt nicht als praktisch erledigt betrachten, denn die Größe des Feldes, die Menge an Arbeit usw. werden damit ungefähr verdoppelt.

Punkt b) hat, nach den längst gebräuchlichen Anordnungen mit regelmäßiger Verschiebung, Pferdesprung usw., in den letzten Jahren eine Vertiefung gefunden durch die von R. A. Fisher befürwortete Anordnung nach dem Latin Square, und durch die zufallsgemäße (randomised) Verteilung der Objekte.

Punkt c), an sich wichtiger als Punkte a) und b) (indem man sich nur in dieser Weise von dem Einfluß von Bodenverschiedenheiten innerhalb eines Bodentyps, von den Wetterumständen usw. unabhängig machen kann), wird den anderen gegenüber oft stiefmütterlich behandelt, indem man die Mühe scheut, ein neues Feld zu suchen und einen neuen Versuch anzulegen, indem man den einjährigen Versuch gegenüber dem mehrjährigen vernachlässigt, oder indem man — wenn man schon eine größere Anzahl Versuchsfelder anlegte — nicht die richtige Organisation in die Pläne brachte und eine systematische Verarbeitung der Resultate unterließ. Die Java-Zuckerindustrie hat mit ihren 40000 großen Versuchsfeldern in zwanzig Jahren¹⁾ in dieser Hinsicht Muster-gültiges geleistet, das vorbildlich wirken sollte.

Wir möchten, neben den obigen drei wichtigen und gewiß nicht zu vernachlässigenden Maßnahmen, besondere Aufmerksamkeit lenken auf ein weiteres Prinzip, das zwar bekannt ist und vielfach angewandt wird, aber unseres Erachtens bewußt mehr in den Vordergrund geschoben werden sollte und bei der Anlage von Feldversuchen eine erste Stelle einzunehmen hätte. Wir meinen eine Wahl der Objekte, wobei mehrere eine zusammenhängende Serie bilden in der ein (meist physiologischer) Zusammenhang besteht, so daß man im voraus weiß, daß diese Objekte irgend einem Gesetz (auszudrücken in eine Kurve) gehorchen müssen.

Der einfachste Plan „gedüngt gegenüber ungedüngt“, der natürlich nur wenig Auskunft über den Nährstoffhaushalt gibt, kann als zu simpel zur Seite gelassen werden. Bei mehr umfassenden Plänen ist es ohne Weiteres klar, daß Kurve A in Abb. 1, mit sechs Punkten aus drei Parallelen, oder auch Kurve A, mit sechs Punkten aus zwei Parallelen, ein besseres Bild der Sachlage (hier: Stärkeertrag bei Kartoffeln bei steigender Kaligabe) geben als Kurve B, die einem dritten Versuchsfeld entstammt und wo drei Gaben verglichen wurden mit fünf Parallelen, oder

¹⁾ Die Ernährung der Pflanze, 30, 380 (1934); Transactions Third International Congress of Soil Science, Vol. II p. 121 (1935).

Kurve B_1 mit drei Punkten aus neun Parallelen. Bei drei Punkten ist das Ertragsmaximum nur sehr annähernd zu bestimmen; je mehr Punkte bestimmt werden, um so deutlicher zeichnet sich die Lage des Maximums ab; und zu gleicher Zeit tritt deutlicher hervor, daß etwaige abweichende Resultate mit einem Fehler behaftet sind.

Vergrößerung der Zahl der Staffeln mit entsprechender Verkleinerung der Zahl der Parallelen kann in manchen Fällen das Resultat wertvoller machen; auch ohne mathematische Aus-

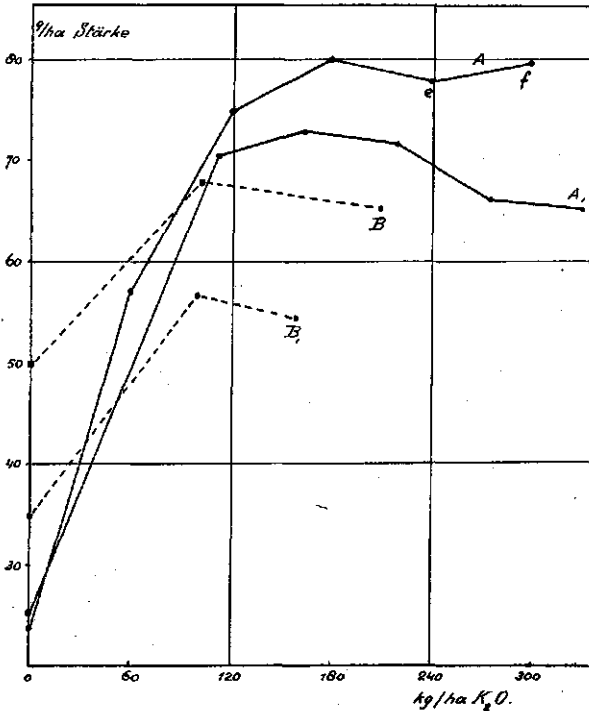


Abb. 1.
Kalidüngung und Stärke-Ertrag von Kartoffeln bei vier verschiedenen Versuchsfeldern.

einandersetzung ist es klar, daß eine Staffelnung der Objekte in Serie in gewissem Sinne eine Wiederholung bedeutet und die Rolle von einer oder mehr Parallelen übernimmt, so daß bei Objekten in Serie die für den gewünschten Genauigkeitsgrad benötigte Anzahl Parallelen sich verringert. Um wieviel man die Anzahl Parallelen verringern kann, wenn Objekte in Serie genommen werden, wird von verschiedenen Umständen abhängen, die hier nur kurz angedeutet werden können. Wenn der Zusammenhang zwischen den zu studierenden Variablen nahezu gradlinig ist, kann man die Anzahl Parallelen kleiner nehmen und dafür die Kurve mit einem oder mehr Objekten verlängern. In

der Mitte — meist der wichtigste Trajekt — bringt der Zusammenhang in der Serie uns weiter als an den Enden: so tritt in Abb. 1, Kurve A, das Maximum ziemlich sicher zum Vorschein, aber wie das obere Ende verläuft — ob Punkt e) etwas höher, oder Punkt f) etwas niedriger liegen sollte — würde nur herausgekommen sein, wenn man die Serie Objekte erweitert und größere Mengen Kali hinzugezogen hätte.

Während also bei einer Variablen die Wahl der Objekte in zusammenhängender Serie empfehlenswert und einer Vergrößerung

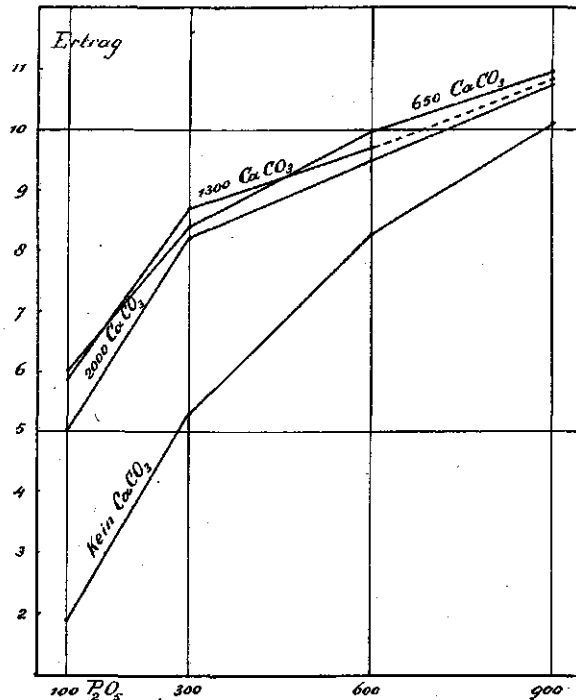


Abb. 2.

Stärke-Ertrag von Kartoffeln auf neu urbar gemachtem Heideboden, bei steigenden Phosphatgaben und vier verschiedenen Kalkstufen.

der Anzahl Parallelen vorzuziehen ist, gilt dies um so mehr, wenn man das Problem in etwas allgemeinerer Fassung betrachtet. Jedermann ist sich heutzutage wohl darüber klar, daß jeder Faktor nicht einzeln das Resultat bestimmt, sondern daß dies zusammenhängt mit einer ganzen Reihe von anderen Faktoren; z. B. Stickstoff- und Phosphorsäuredüngung, mit den Wasserverhältnissen im Boden und dem Regenfall, mit Stallmistgaben usw. Ein Resultat, wie in Abb. 1 wiedergegeben, bildet gewissermaßen nur einen Querschnitt durch einen komplizierten Körper; Düngungs-

fragen sind immer als polydimensionales Problem aufzufassen⁹⁾, und wir sollten nie vergessen, daß ein Versuch uns von der komplizierten Wirklichkeit nur ein vereinfachtes Bild, einen Querschnitt oder einen Anblick unter einem bestimmten Gesichtswinkel gibt.

Erhält man beim Studium von einer Eigenschaft nach einer Variablen (sagen wir Ertrag nach Menge Kali, wie in Abb. 1) ein zweidimensionales Bild, also eine Kurve, so bekommt man, wenn

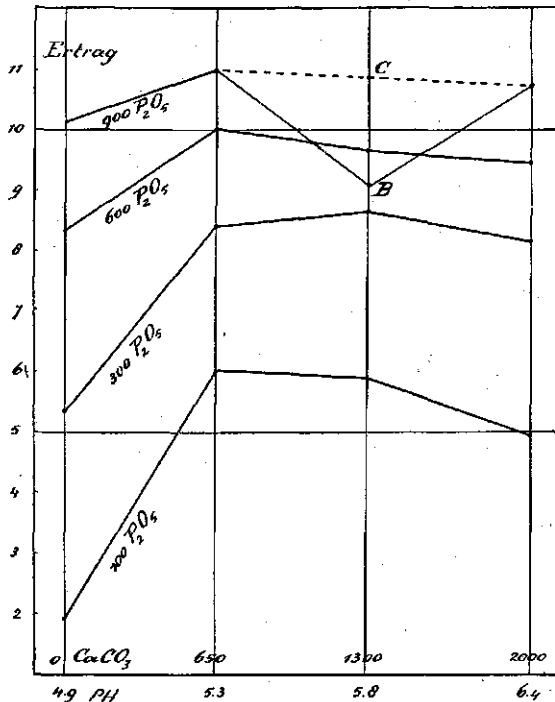


Abb. 3.
Dasselbe wie in Abbildung 2, anders geordnet.

man eine zweite Variable hinzuzieht, eine Serie Querschnitte, die zusammen eine Fläche bilden. Als Beispiel wählen wir aus einem demnächst zu publizierenden Versuch auf neu urbar gemachtem Heideboden den Kartoffelertrag bei verschiedenen Kalkstufen und steigenden Phosphatgaben (Abb. 2 u. 3). Der Boden ist sehr phosphatbedürftig; Abb. 2 zeigt, daß bei allen vier Kalkstufen, sogar bei einer so großen Gabe wie 900 kg/ha P_2O_5 , der maximale Ertrag noch nicht erreicht ist. Eine Kalkung nach 650 kg/ha $CaCO_3$, welche das pH von 4,9 auf 5,3 brachte, erscheint auf diesem Boden für Kartoffeln genügend; eine Kalkung

⁹⁾ Siehe: „Düngungsfragen in ihren gegenseitigen Beziehungen als polydimensionales Problem“; Die Ernährung der Pflanze, 30, 373 (1934).

nach 2000 kg (bis p_H 6,4) setzt den Ertrag etwas herab. Die (mit wenigen Ausnahmen) regelmäßige Form der Kurven zeigt, daß die Resultate ein genügend zuverlässiges Bild geben, obschon die Parzellen klein (4 m^2) und nur in duplo angelegt waren.

Betrachten wir jetzt den Zusammenhang von der anderen Seite, so erhalten wir die Kurven (Querschnitte) in Abb. 3. Wenn man den regelmäßigen Verlauf dieser Kurven und die regelmäßige Formveränderung bei steigenden Phosphatgaben betrachtet, ist es ohne weiteres klar, daß Punkt B durch irgendeinen Versuchsfehler aus seiner richtigen Lage herausgerückt wurde, und daß man mit großer Wahrscheinlichkeit einen Punkt

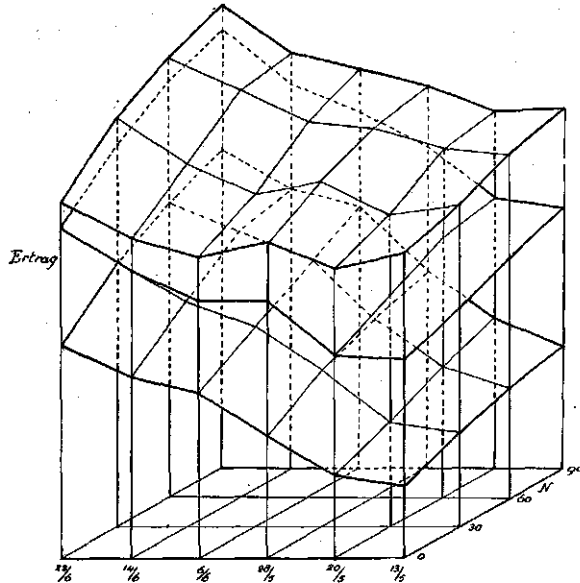


Abb. 4.

Heu-Ertrag von drei Schnitten auf einem Versuchsfeld, wo vier Stickstoffstufen bei sechs Mähzeiten verglichen wurden.

in der Nähe von C als das Richtige annehmen darf. Der große Einfluß, den die Versuchsfehler bei dieser kleinen Zahl der Parallelen auf das Resultat von dem einen Objekt haben, wird weggenommen durch den Zusammenhang, der im ganzen Bild zum Vorschein kommt, und man ist besser unterrichtet aus dem Bild, gewonnen mit sechzehn Punkten, die hier mit einer ziemlichen Ungenauigkeit bestimmt wurden, als wenn man mit achtfacher Wiederholung und zugehöriger großer Genauigkeit nur vier Punkte (etwa vier Phosphatgaben bei einer Kalkstufe oder vier Kalkgaben bei einer Phosphatmenge) bestimmt hätte.

Seit verschiedenen Jahren haben wir die Versuchsfelder unserer Station bewußt entwickelt in der Richtung von mehr Objekten bei beschränkter Anzahl Parallelen (vier oder fünf, bisweilen drei),

indem die Objekte stets in Serien — am liebsten in ziemlich großen Serien — genommen wurden und vorzugsweise in Serien nach zwei Richtungen, die ein zusammenhängendes Bild (eine Fläche) geben.

Abb. 4 gibt das Bild für ein Graslandversuchsfeld (Pr 132 in 1933), wo vier verschiedene Stickstoffmengen bei sechs Mähzeiten (jedes Objekt in vier Parallelen) verglichen wurden. Der Zusammenhang wird durch eine Fläche vorgestellt, die in diesem Falle einfacher Natur ist, indem der Ertrag nach beiden Variablen regelmäßig ansteigt, ohne daß bei den gewählten Objekten ein Maximum erreicht wird.

Abb. 4 gibt als untere Fläche das Resultat des ersten Schnittes an den in der Abszisse angegebenen Daten. Der Abstand zwischen der ersten und zweiten Fläche gibt den Ertrag des zweiten Schnittes; die zweite Fläche gibt also die Summe von erstem und zweitem Schnitt. Der zweite Schnitt ist nicht für alle Objekte eingetragen, um die Figur nicht zu überladen. Bei der oberen Fläche, die in ihrem Abstand zur zweiten Fläche das Resultat des dritten Schnittes — für alle Objekte am 29. September — angibt und so die Totalernte veranschaulicht, sind wieder die Zahlen für alle Objekte verbildlicht. Man sieht, wie die größere Ernte bei spätem erstem Schnitt größtenteils durch einen geringeren dritten Schnitt neutralisiert wird. Zu gleicher Zeit ist erkenntlich, wie sehr der Zusammenhang zwischen den Punkten, die zusammen eine regelmäßig verlaufende Fläche bilden müssen, eine Kompensation der Versuchsfehler ermöglicht, während die größere Anzahl Objekte die allgemeine Einsicht in die Zusammenhänge sehr erleichtert.

Stickstoffmenge und Mähzeit haben beide so großen Einfluß auf den Grasertrag, daß Stickstoffversuche auf Grasland — und mehr allgemein Düngungsversuche auf Grasland — nicht nur nach gestaffelten Düngermengen, sondern immer auch bei verschiedenen Mähzeiten genommen werden sollten; dabei sollte womöglich nicht nur der erste, sondern auch weitere Schnitte berücksichtigt werden. Nur mehrdimensionale Versuche mit Objekten in Serie können uns richtige Einsicht in das Graslandproblem bringen.

Spätere Versuchsfelder (Pr 193 und 194) umfaßten vier Stickstoffformen in je drei Gaben bei drei Mähzeiten, also 36 Objekte in 4 Parzellen macht 144 Parzellen; oder dasselbe mit drei Stallmiststufen, also 432 Parzellen — sehr differenzierte Versuchsfelder also, worüber H. J. Frankena demnächst berichten wird, und welche dank einer speziell ausgearbeiteten Methodik flott und ohne Mißerfolge behandelt werden konnten. In solchen Fällen kann es sich herausstellen, daß z. B. der Einfluß der Form des Stickstoffdüngers (Chilesalpeter, Kalksalpeter, Ammonsalpeter oder schwefelsaures Ammoniak) nicht viel ausmacht, so daß man diese Variablen zusammennehmen darf und so die Objektkombi-

nationen nach Stickstoffmenge, Mähzeit und Stallmistgabe in zwölfacher Wiederholung, also mit großer Genauigkeit, erhält.

Das Serienprinzip verdient besondere Beachtung bei dem Vergleich von ungleichartigen Objekten, z. B. von verschiedenen Stickstoff- oder Phosphatformen. Der althergebrachte Plan war um die verschiedenen Düngerformen bei gleicher Gabe des Hauptbestandteils (N , P_2O_5) zu vergleichen, also z. B. Objekte mit keinem Stickstoff, 300 kg schwefelsaurem Ammoniak, 400 kg Chilesalpeter resp. 150 kg Harnstoff. Aber den relativen Wirkungswert dieser Düngemittel konnte man dann nicht vergleichen; nur wenn durch Hinzunahme von steigenden Gaben Ertragskurven bestimmt werden, kann man zu richtigen Vergleichen kommen. Je nachdem

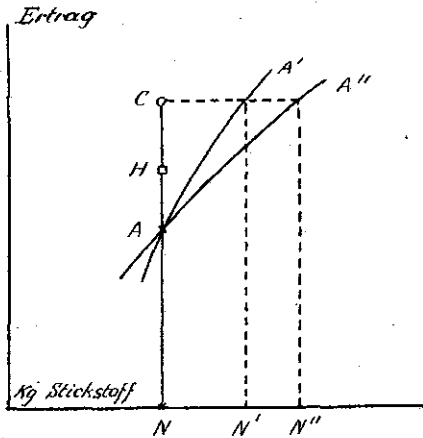


Abb. 5.
Vergleich von drei verschiedenen Stickstoffdüngern mit Hilfe der Ertragskurven.

bei einer gleichen Menge an zugegebenem Stickstoff durch Dünger C erhalten wird.

Der Fall wurde hier einfach und schematisch behandelt; in Wirklichkeit wird man auch für C und H Ertragskurven bestimmen müssen und aus der gegenseitigen Lage dieser Kurven auf die ökonomischen Verhältnisse schließen. Es sind dann in zweiter Linie natürlich noch andere Effekte hinzuzuziehen, wie Nachwirkung, Wirkung der Nebenbestandteile, Einfluß auf Qualität usw.

Ein Beispiel liefert uns das schon oben erwähnte Versuchsfeld Pr 193 auf Grasland, wo gestaffelte Stickstoffmengen und Stallmistmengen verglichen wurden. In Abb. 6 geben für die erste Schnittzeit die Parzellen mit ansteigender Stickstoffmenge (0, 30, 60, 90 kg/ha N) die Kurve N, diejenigen mit ansteigenden Mengen Stallmist (0, 200, 400 dz/ha) nach der oberen Abszissenskala die Kurve Stm. Die horizontalen Linien zeigen, daß 200 dz Stallmist etwa 10 kg N in Form von Kunstdünger gleichwertig waren, 400 dz etwa 20 kg N. Ähnliches finden wir für die Schnitte, welche am

die Ertragskurve steiler verläuft, wird der Überschuß, der von einem Stickstoffdünger A (Abb. 5) nötig ist, um den gleichen Ertrag zu geben, als N kg/ha von Dünger C, kleiner sein; im Falle AA' werden (in einfachster Vorstellung) N' kg genügen, während bei einer Ertragskurve AA'' der Überschuß NN'' kg wird betragen müssen. Es ist für die Ökonomie der Stickstoffdüngung wichtiger, zu wissen, welche Mengen der verschiedenen Düngemittel einen gleichen Ertrag geben, als wie groß der Mehrertrag CA ist, der

3. Juni und am 19. Juni genommen wurden; wenn die Resultate durch weitere Versuche bestätigt werden, würde die größere Stallmistgabe (400 dz) bei späterem Schnitt etwas bessere Stickstoffwirkung zeigen als die kleinere, und wäre der wirksame Stickstoff in diesem Stallmist 0,05 bis 0,1%.

Versuche, worin ein Problem bei verschiedenen Stallmiststufen studiert wird — wie z. B. im oben besprochenen Beispiel von einem Stickstoffquantitäten-Mähzeit-Versuchsfeld — können uns den Einfluß dieses so äußerst wichtigen Unterteils der Betriebsführung lehren, dessen puffernde Wirkung so oft die Effekte abschwächt, die festgestellt

waren in Versuchen, welche einfachheitshalber stallmistlos angelegt wurden.

In Übereinstimmung mit den obigen Gesichtspunkten haben einige von unseren neueren Phosphatsorten-Versuchsfeldern z. B. zwei Phosphatsorten, je in vier Mengen und je bei vier p_H , also 32 Objekte. Es zeigt sich, daß bei so einer geschlossenen Anordnung der Objekte schon ein Versuch in duplo überraschend befriedigende Resultate bringt, indem einzelne Abweichungen von der erhaltenen Fläche deutlich als solche hervortreten. Für einen Teil eines solchen Versuches (eine Phosphatform) wurde dies oben in Abb. 2 und 3

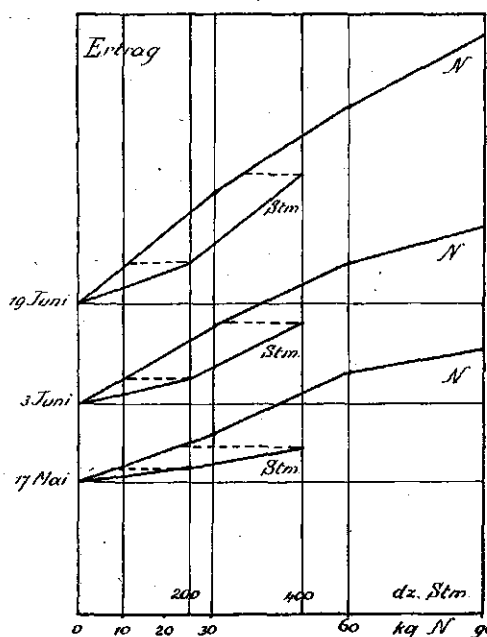


Abb. 6.
Vergleich von Stickstoff in Form von Kunstdünger und von Stallmist mittels Ertragskurven.

dem Problem des Phosphathaushalts wirklich näher treten, so sollten solche Versuchsfelder auf verschiedenen Bodentypen, in genügender Anzahl und in verschiedenen Jahren (Wetterumständen) genommen werden, nach einem systematischen Plan, der sowohl den erstjährigen als den mehrjährigen Effekt umfaßt, und so daß neben der eigenen Wirkung des düngenden Bestandteils auch die Wirkung der sich anhäufenden Vorräte und der sich kumulierenden Nebenbestandteile oder Nebeneffekte zutage tritt. Ein präventioser Plan also, von dem aber mehr allgemeine Schlußfolgerungen und klarere Einsichten zu erwarten sind, als von tausenden Feldversuchen, welche in vergangenen Jahren planlos genommen wurden.

Wiederholt wurde die Frage aufgeworfen³⁾, nach welchem Maßstabe, bei einem Vergleich von verschiedenen Phosphatdüngern, die Phosphorsäure abgemessen werden sollte: gleiche Mengen an wasserlöslicher, zitronensäurelöslicher oder mineral-säurelöslicher P_2O_5 ? Die Antwort kann nur sein: keins von diesen dreien bringt die Lösung, nur Versuche, worin jedes Düngemittel in ansteigenden Mengen untersucht wird und für jedes Düngemittel eine Ertragskurve festgestellt wird, wie in Abb. 6, können Aufschluß bringen. Es ist dann gleichgültig, nach welchem Maßstab man die ansteigenden Mengen wählt; in bestimmten Fällen kann man sogar einfach ansteigende Mengen an Düngemitteln nehmen, nur so gewählt, daß die zu erwartenden Ertragskurven ungefähr denselben Trajekt umfassen. Z. B. 100, 200, 300, 400, 500 kg Thomasschlackenmehl und in diesem Falle dieselben Mengen Superphosphat, Rhenaniaphosphat usw. Man erhält entsprechende Ertragskurven und kann nun je nach Belieben feststellen, welche Mengen äquivalent sind, gerechnet nach wasserlöslicher Phosphorsäure, welche nach zitronensäurelöslicher usw.

Zwar wird die Zahl der Objekte größer, aber weil man die Parallelen zurückbringen kann von fünf oder sechs auf vier oder vielleicht drei, steigt die Anzahl Parzellen nicht so stark, und übrigens gibt so ein etwas größeres Versuchsfeld so viel mehr Einsicht in die Verhältnisse, als wenn man nur eine Menge von den verschiedenen Düngemitteln vergleicht, daß die Mühe mehrfach belohnt wird. Unseres Erachtens sollten Versuche, in denen ungleichartige Objekte verglichen werden, immer in der Weise angeordnet werden, daß jedes Objekt in einer Serie, z. B. nach ansteigenden Mengen, genommen wird, so daß nicht ein Punkt sondern eine Ertragskurve erhalten wird und zum vergleichenden Studium benutzt werden kann. Die alte, noch ziemlich übliche Form von z. B. vier verschiedenen Düngemitteln, je in einer Quantität, abgemessen nach gleichen Quantitäten des Hauptbestandteils, sollte gänzlich verworfen werden, ebenso wie keiner jetzt mehr daran denkt, einen seriösen Feldversuch ohne Parallelen anzulegen.

Es wurde schon oben hervorgehoben, daß man beim Vergleich verschiedener Düngerarten, neben der verschiedenen Löslichkeit und Bindungsform des Hauptbestandteils, auch zu rechnen hat mit der direkten Wirkung und der Nachwirkung der Nebenbestandteile. Auch diese werden erst einigermaßen richtig erfaßt, wenn man Ertragskurven bestimmt; gewünschtenfalles kann man bestimmte Faktoren bewußt hinzuziehen, indem man z. B. ein gekalktes und ein ungekalktes Versuchsfeld nebeneinander anlegt, oder besser noch mehrere Kalkstufen mit einbezieht.

³⁾ Neuerdings z. B. wieder in „Die Phosphorsäure“, 5 (1935), 260.

Zusammenfassung.

Es wird auseinandergesetzt, daß bei Feldversuchen Pläne, in denen die Objekte in Serien gewählt werden, so daß als Resultat eine Kurve erhalten wird, bessere Einsicht geben, als wenn nur ein oder einzelne Punkte bestimmt werden. Objekte in Serien übernehmen die Rolle von einer oder mehr Parallelen; dem Serienprinzip sollte die größere Genauigkeit einzelner Punkte durch eine große Anzahl Parallelen bis zu gewissem Grade aufgeopfert werden.

Bei Versuchen, in denen verschiedenartige Objekte (z. B. verschiedene Stickstoffformen oder Phosphatformen) miteinander verglichen werden, sollten immer ansteigende Mengen von diesen Formen genommen werden, so daß Kurven miteinander verglichen werden und nicht einzelne Punkte. Versuche mit nur einer Menge sollten als ebenso vorläufig und unvollwertig betrachtet werden wie Versuche ohne Parallelen.

Wo möglich sollten mehrere Variablen, jede in Serie, in einem Versuch kombiniert werden, so daß der Zusammenhang in einer oder mehreren Flächen (Serien von Kurven) studiert werden kann. Dies sollte sicher nicht unterlassen werden, wenn die betreffenden Variablen einen wichtigen zusammenhängenden Einfluß haben, sagen wir Stickstoffmenge auf Grasland und Mähzeit, wie im gegebenen Beispiel, aber auch Stickstoffform und pH , Magnesiumhaushalt zusammen mit Kalk und Kali usw.

Die Technik der Ausführung der Feldversuche hat sich der aus dem obigen folgenden Forderung vielparzelliger Versuche anzupassen.
