

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid Groningen

Franciscus van der PAAUW

Anlage und Auswertung von Serienversuchen zwecks Prüfung der Bodenfruchtbarkeit

Das Zusammenspiel mehrerer Faktoren bestimmt den Wert der mittels der chemischen Bodenuntersuchung festgestellten Bodenzahlen. Die Kali-Versuchsfelder, welche angelegt worden sind, um den Kallgehalt des Bodens auszuwerten, sind beispielhaft für ein mehrfaktorielles Studium der Beziehung zwischen Boden und Pflanze (FERRARI, 1960).

Mit der chemischen Bodenuntersuchung für die Praxis wurde um 1930 in den Niederlanden angefangen. Bald entwickelte sich die Auffassung, daß die Anwendung dieser Methode nur dann zu verteidigen ist, wenn sie weitgehend in Feldversuchen unter den stark variierten Bedingungen der Praxis geprüft worden ist. Schon in der Mitte der dreißiger Jahre wurde diese Arbeit begonnen; sie ist noch nicht vollendet.

Ein 1950 durchgeführter Versuch, den Gehalt an austauschbarem Kali (bestimmt mittels Extraktion mit 0,1 n HCl-Lösung) auf marinen Tonböden zu prüfen, wird als Beispiel herangezogen. Ausgangspunkt war, daß der Wert der Methode nicht nur auf den kaliarmen, sondern auch auf den mittelmäßig und reichlich versorgten Äckern festgestellt werden muß. Notwendig ist also eine Auswahl der für den Versuch benutzten Bodenstücke.

Eine Auswahl an Hand des Kaligehalts genügt aber nicht, weil auch die weite Streuung anderer Faktoren, welche bekanntlich die Wirkung des Kalis beeinflussen, untersucht werden sollte. Diese Faktoren sind in diesem Fall der das Kali absorbierende Bodenkomplex, der als Ton- oder Humusgehalt annäherungsweise bestimmt werden kann, und der Kalkzustand des Bodens. Letzterer wird mittels des pH oder des CaCO_3 -Gehaltes bestimmt. Für die Kaliumaufnahme ist dieser wichtig, weil hiermit in der Hauptsache die Menge der zweiwertigen Ionen des Kalziums und Magnesiums angedeutet wird und diese einen wichtigen Einfluß auf die Verfügbarkeit des Kaliums für die Pflanze hat. Zu betonen ist, daß offenbar Faktoren in den Versuch einbezogen werden, welche nicht mittels eines Eingriffs zu verändern sind (FERRARI, 1960).

Eine Bodenuntersuchung zahlreicher Grundstücke, welche für die Anlage eines Versuchsfeldes in Betracht kommen könnten, geht den Versuchen voraus. Im vorliegenden Fall wurden etwa 200 Äcker untersucht. Außer dem austauschbaren Kali wurde der Gehalt an Tonteilchen ($< 16 \mu\text{m}$) und der Gehalt an CaCO_3 bzw. das pH bestimmt. Die bestimmten Faktoren wurden in Abbildung 1 einander gegenübergestellt. Es zeigt sich eine weite Streuung aller untersuchten Faktoren und auch eine relativ schwache Korrelation zwischen Kali- und Tongehalt. Die 30 Versuchspartzellen wurden nun derart gewählt, daß eine weite Streuung und rechteckige Verteilung aller Bodenfaktoren gewährleistet war. Dies ermöglicht die Feststellung der Kaliwirkung sowohl bei hohem als bei niedrigem Tongehalt und der Wechselwirkung zwischen den Faktoren.

Um die Untersuchung nicht allzusehr zu komplizieren, wurde sie in einem geographisch abgerundeten Gebiet durchgeführt, in den Poldern nördlich von Amsterdam, wo ein vor einigen Jahrtausenden gebildeter mariner Tonboden zu finden ist.

Weiter war es ratsam, die gleiche Pflanzenart, nämlich die Kartoffel, die bekanntlich gegen Kalimangel empfindlich ist, und auch die gleiche Sorte („Bevelander“) anzubauen. Die Versuchsserie war einjährig, die Versuche für sich

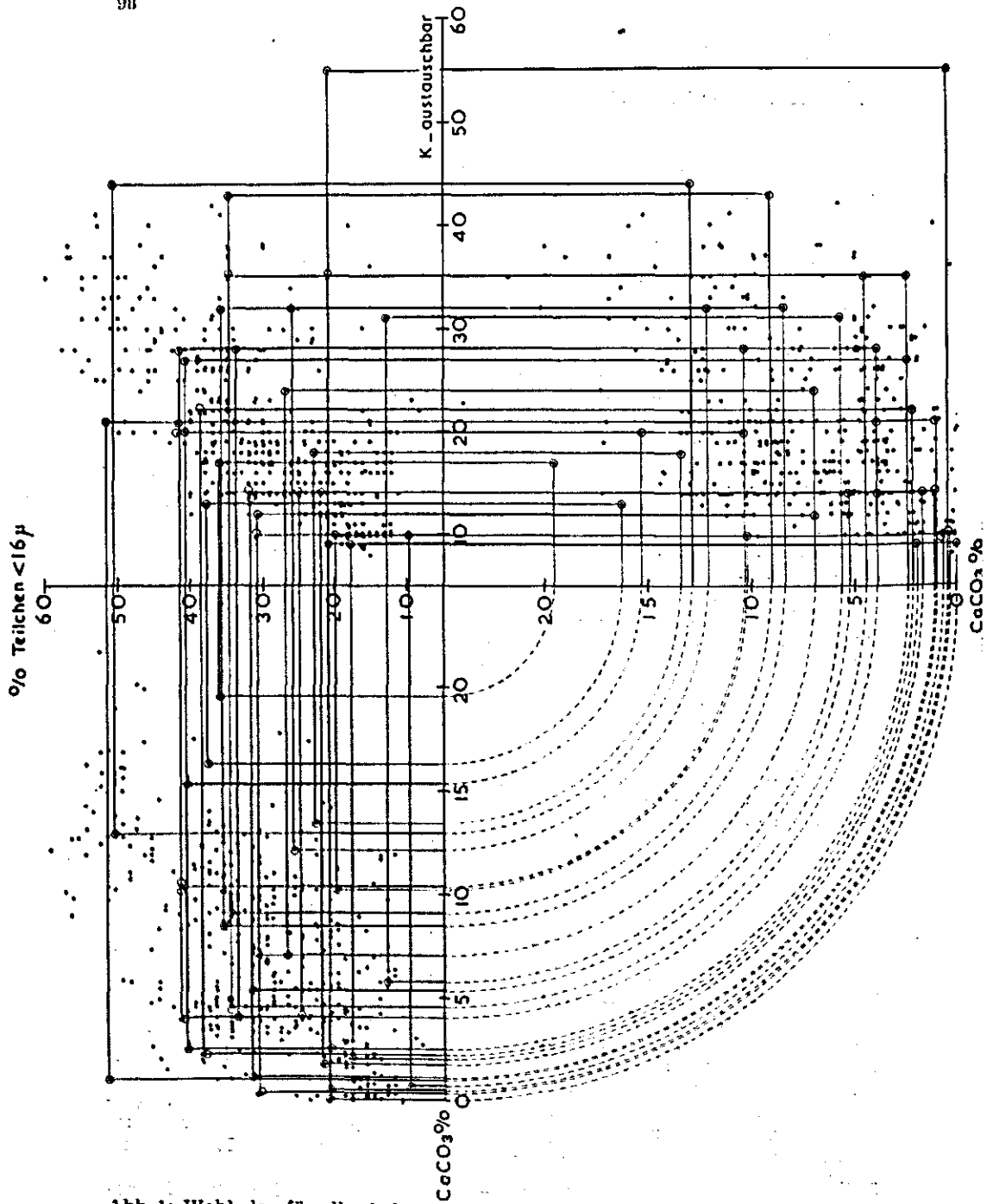


Abb. 1: Wahl der für die Anlage eines K-Versuchsfeldes geeigneten Äcker an Hand einer Voruntersuchung (umkreist: ausgewählte Grundstücke) in Hinsicht auf gleichmäßige Streuung von drei für die K-Aufnahme wichtigen Faktoren

waren alle gleich und in einfacher Weise geplant. Kali wurde verabreicht mit 0, 60, 150 und 300 kg/ha, in späteren Versuchen wurden noch 500 kg/ha hinzugefügt, weil die höchste Gabe nicht immer ausreichend gewesen ist. Die Variation der Kalidüngung dient dazu, um die Kalibedürftigkeit der Pflanze festzustellen. Die Versuche lagen in zweifacher, nur die wichtige Null-Variante in vierfacher Wiederholung.

Die Reaktion der Pflanze wurde auf verschiedene Weise gemessen. Aus praktischen Gründen interessieren an erster Stelle die Unterschiede zwischen den Erträgen. Es zeigte sich, daß die relativen Erträge, d. h. die ohne Kalidüngung bzw. mit niedrigen Kalimengen erhaltenen Erträge, ausgedrückt in Prozenten des Höchstertrages des betreffenden Versuchsfeldes, hierfür recht brauchbar sind. In bestimmten Fällen zeigen aber andere Eigenschaften der Pflanze einen noch besseren Zusammenhang mit den Bodenfaktoren und werden also für die Auswertung der Bodenuntersuchung mit herangezogen. Oft besteht ein guter Zusammenhang mit der chemischen Zusammensetzung der Pflanzenasche (von Kraut bzw. Knollen).

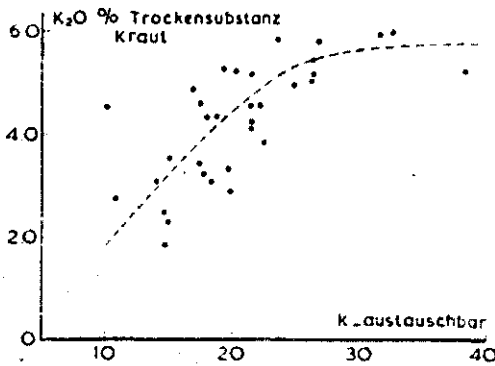
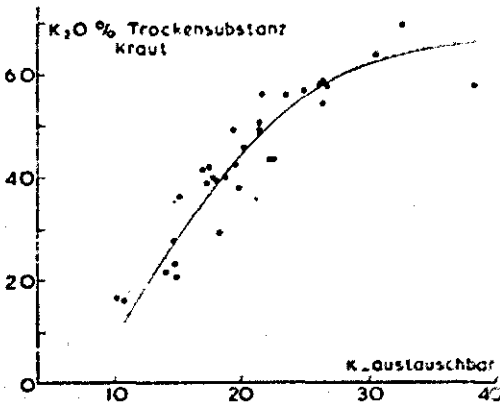


Abb. 2: Beziehung zwischen Gehalt an austauschbarem Kali des Bodens und K_2O % des Kartoffelkrautes auf Tonboden
 oben: gefunden
 unten: nach Korrektur auf Einflüsse von Kalkzustand und Tongehalt



Die Ergebnisse dieses Serienversuches werden in den Abbildungen 2–3 gezeigt. Der K-Gehalt des Bodens korrelierte deutlich mit dem auf den verschiedenen Versuchsfeldern gefundenen K_2O -Gehalt der gleichzeitig entnommenen Proben des Kartoffelkrautes (Abb. 2, oben). Die Streuung der Daten um die mittlere Kurve ist aber relativ groß. Es handelt sich nun darum, die Ursachen dieser Streuung zu unterscheiden. Damals wurde mit der graphischen Methode gearbeitet. Die senkrechten Abweichungen der Punkte von der mittleren Kurve wurden gegen die übrigen untersuchten Faktoren eingetragen. Es zeigt sich, daß sowohl der Kalkzustand als der Tongehalt die Kaliumaufnahme beeinflußt haben. Abbildung 3 (oben) zeigt den Zusammenhang zwischen einem Faktor lrb (Logarithmus des relativen Basengehaltes) (VISSER, 1942), der als Maß für den Kalkzustand genommen ist, und den gefundenen Abweichungen des Kaliumgehaltes. In dieser Abbildung ist also der Einfluß des Kaliumgehaltes eliminiert; das gleiche ist für den Einfluß des Tongehaltes (Abb. 3, unten) geschehen. In

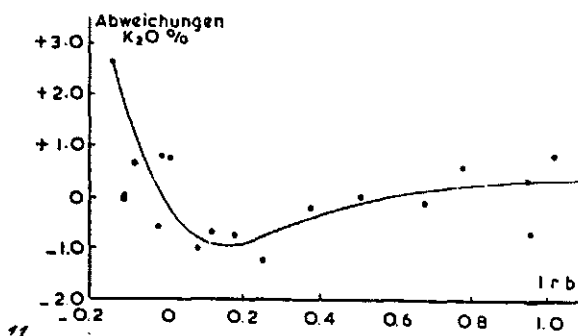
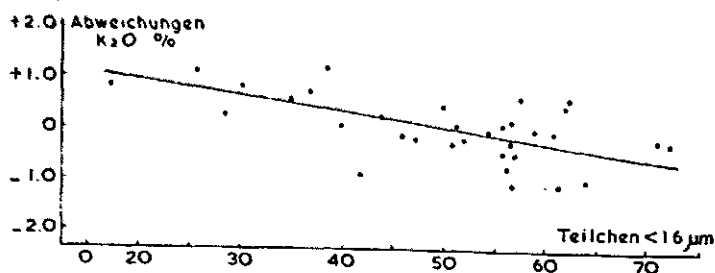


Abb. 3: Beziehungen zwischen Kalkzustand (lrb) und K_2O % des Kartoffelkrautes (gemessen als Abweichungen von der Kurve in Abb. 2, oben) für niedrigen K-Gehalt (oben) und zwischen Tongehalt und K_2O % des Krautes (unten). In diesen Fällen wurde auf Einflüsse der beiden übrigen Faktoren korrigiert.



diesem Fall wurden nur die bei niedrigem Kaliumgehalt erhaltenen Ergebnisse zusammengestellt; die bei höherem Gehalt erzielten zeigen den Einfluß des Kaliumzustandes auf die Kaliumwirkung nur schwach (nicht abgebildet). Auf die Bedeutung des Faktors lrb wird hier nicht eingegangen; er dient dazu, innerhalb einer

Skala den als pH-Wert gemessenen Kalkzustand der entkalkten Böden mit dem als CaCO_3 -Gehalt gemessenen Zustand der kalkhaltigen Böden zu kombinieren. Es zeigt sich, daß der Einfluß links von dem O-Punkt (saure Böden) groß ist und die Kaliumaufnahme offenbar um so besser ist, je niedriger das pH des Bodens ist. In diesem Fall beruht das Ergebnis nur auf wenigen Daten; es wurde aber in anderen Versuchen bestätigt. Die geringe Steigerung der K_2O -Gehalte bei den reichlich CaCO_3 enthaltenden Böden ist weniger wichtig und möglicherweise der damals (1950) nicht ganz einwandfreien Bestimmung des Kaliumgehalts in kalkreichen Böden zuzuschreiben.

Bei höherem Tongehalt erniedrigte sich der K_2O -Gehalt des Kartoffelkrautes (Abb. 3, unten). Auch in dieser Abbildung sind die Einflüsse des Kaliumgehalts und des Kalkzustandes eliminiert worden. Endlich zeigt Abbildung 2 (unten) den Zusammenhang zwischen Kaliumgehalt des Bodens und demjenigen des Kartoffelkrautes nach einer Eliminierung der Einflüsse von Ton- und Kalkgehalt. Es ist erstaunlich, daß bei auf verschiedenen Feldern angebauten Kartoffeln eine so starke Korrelation gefunden wurde!

Übereinstimmende Versuchsserien sind in anderen Jahren und in anderen Gegenden auf Tonböden durchgeführt worden. Teilweise wurden die Feldversuche durch Gefäßversuche ergänzt. Obwohl die Ergebnisse an anderen Orten selbstverständlich nicht völlig mit denen der genannten Serie übereinstimmten, zeigten sich im ganzen keine größeren Unterschiede als die zwischen den verschiedenen Versuchsjahren an gleicher Stelle gefundenen. Einer allgemeinen Bearbeitung aller erhaltenen Ergebnisse stand also nichts im Wege. An Hand dieser konnte eine Formel abgeleitet werden, welche die gemeinsame Wirkung der Faktoren Kaliumgehalt, pH und Tongehalt auf die Verfügbarkeit des Kalis für die Pflanze in einer einzigen „Kalizahl“ zum Ausdruck bringt. Die Formel für Tonböden lautet:

$$\text{K-Zahl} = \frac{\text{K-austauschbar} \times b}{0,15 \times \text{pH-KCl} - 0,05}$$

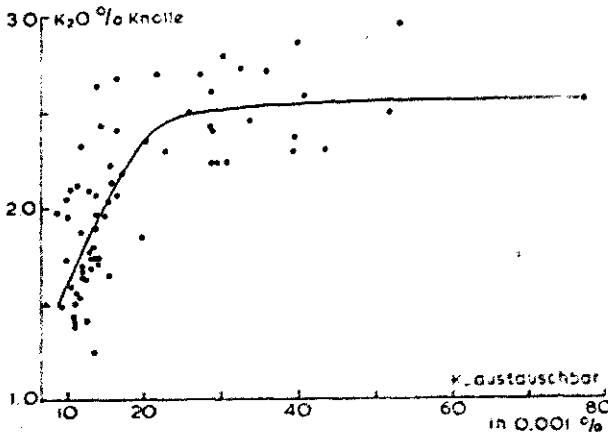


Abb. 4^a Beziehungen zwischen Gehalt an austauschbarem Kali sowie K-Zahl und K_2O % der Knollen

Hierin ist b eine Größe, die abhängig von dem Tongehalt ist. Aus den Daten wurde abgeleitet, daß z. B.

$$b = 1.407, \text{ wenn der Tongehalt} = 10 \%$$

$$b = 1.172, \text{ wenn der Tongehalt} = 20 \%$$

$$b = 0.965, \text{ wenn der Tongehalt} = 40 \%$$

$$b = 0.868, \text{ wenn der Tongehalt} = 60 \%$$

Es erfolgt weiter, daß der Nenner = 1 ist, wenn $\text{pH}(\text{KCl}) = 7$. In allen Fällen, wo $\text{pH} > 7$, wurde dieses auf 7 eingestellt. Dies bedeutet, daß eine Korrelation für das pH nur dann besteht, wenn es niedriger ist als 7. Der geringe und ziemlich fragliche Einfluß des Kalkzustandes bei den kohlenensäurekalkhaltigen Böden wird also vernachlässigt.

Die Brauchbarkeit der in dieser Weise abgeleiteten K-Zahl wurde später an Hand neuerer Ergebnisse nachgeprüft, die in einer kleinen Serie von Feldversuchen auf Flußtonböden erhalten wurden (VAN LUIT, 1960). Die betreffenden Versuche sind in verschiedenen Jahren durchgeführt worden (Abb. 4).

Der K_2O -Gehalt der Knollen wurde gegen den Gehalt an austauschbarem Kali (oben) und gegen die Kalizahl (unten) eingetragen. Es ist ohne weiteres deutlich, daß im letzteren Fall ein viel besserer und an sich schöner Zusammenhang gefunden wurde, was um so bedeutsamer ist, als die Ergebnisse in verschiedenen Jahren erhalten wurden.

Nach dieser Arbeitsweise wurden die üblichen Bodenuntersuchungsmethoden auf verschiedenen Bodenarten und mit verschiedenen Pflanzenarten geprüft, auch mehrjährige Düngungsversuche, in denen mehrere Pflanzen in der Fruchtfolge angebaut wurden. Für den Ausbau eines Beratungssystems an Hand der chemischen Bodenanalyse wurde nach diesem Verfahren eine zuverlässige Grundlage geschaffen. Selbstverständlich wurde hierbei auch die Reaktion des Pflanzenertrages auf die Düngungsmaßnahmen mit in Betracht gezogen.

Ausführlicher sind diese Arbeiten in mehreren Veröffentlichungen dargestellt worden (v. d. PAAUW, 1956b, 1959, 1950, 1952, 1956 a).

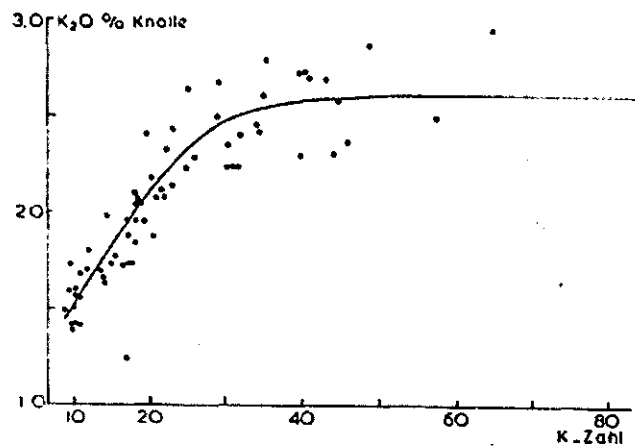


Abb. 4b

Zusammenfassung

Um die Aussagefähigkeit der Bodenuntersuchungsergebnisse zu verbessern, wurde ein mehrfaktorielles Studium angesetzt zur Klärung der Einflüsse des austauschbaren Kalis, der Kali absorbierenden Bodenkomplexe und des Kalkzustandes des Bodens auf die Düngerwirkung des Kali. Kalksteigerungsversuche wurden planmäßig so gestreut, daß die Versuchsserie Böden enthielt, die sich sowohl im Kaligehalt wie in Tongehalt und Kalkzustand genug unterschieden. Die Düngerwirkung wurde in % des Höchstertrages in jedem Versuch ausgedrückt und ihre Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften graphisch als Korrelation erfaßt. Dadurch gelang es, eine für die Düngerberatung nutzbare Kalizahl aus den drei in Wechselwirkung stehenden Komponenten abzuleiten.

Резюме

Для повышения доказательной силы почвенных исследований, изучалось в многофакторных опытах влияние поглощающих кали почвенных комплексов и обеспеченность почвы известью на удобрительное действие калия. Опыты с возрастающими дозами калия, распределялись по плану таким образом, что в опытной серии содержались почвы, которые в достаточной мере различались по содержанию калия, глины и извести. Действие удобрения обозначалось в каждом опыте в процентах максимального урожая, а его зависимость от свойств почвы изображалась в виде графика как корреляция. В связи с этим можно было из трех взаимодействующих компонентов получить пригодное для консультации по применению удобрений число калия.

Summary

A multi-factorial study was applied to clarify the influences of contents of exchangeable potassium, potassium-absorbing soil complexes and lime level of the soil on the fertilizing effect of potassium, in order to improve the informative reliability of soil testing results. Potassium increment experiments were planfully dispersed to include in the experiment series soils which sufficiently differed from each other in their potassium and clay contents as well as in their lime levels. The fertilizing effect for each of the experiments was expressed in per cent of the maximum yield, and its dependency on soil properties was graphically plotted as a correlation. This helped to derive from the three interacting components a potassium index which is useful for fertilization advice.

Literatur

- FERRARI, Th. B.: Versuchsauswertung nach dem Prinzip mehrdimensionaler Systeme, insbesondere in der Bodenfruchtbarkeitsforschung. Tag.-Ber. Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Berlin Nr. 86, 1966, S. 85-96
- LUIT, B. van: Bruikbaarheid van het kaligetal op rivierklei. Landbouwwoorl. 17 (1960), S. 482-494
- PAAUW, F. van der: Evaluation of soil testing in the Netherlands. Fourth Internat. Congr. Soil Sci. Amsterdam (1950). Soil Science in the Netherlands, Indonesia and Suriname, Groningen, S. 39-46
- PAAUW, F. van der: Evaluation of methods of soil testing by means of field experiments. Trans. Internat. Soc. Soil Sci., Comm. II and IV., Dublin 1 (1952), S. 207-221
- PAAUW, F. van der: Calibration of soil testing in the Netherlands by means of field experiments. The organisation and rationalisation of soil analysis. Project No. 156. OEEC Paris, 1956a, S. 165-176

- PAAUW, F. van der: Calibration of soil test methods for the determination of phosphate and potash status. *Plant and Soil* 8 (1956b), S. 105-125
- PAAUW, F. van der: De invoering van het kaligetal op klei-bouland. *Landbouwk. Tijdschr.* 70 (1958), S. 737-748
- PAAUW, F. van der: Die Auswertung der Bodenuntersuchung auf Phosphorsäure und Kall in den Niederlanden. *Landwirtsch. Forsch.* 12. S.-H., 1959, S. 86-94
- VISSER, W. C.: De kenschetsing van den kalktoestand door een combinatiecijfer: de lrb-waarde. *Verslag. landbouwk. onderzoek.* 48 (1) A (1942)

Anschrift des Verfassers

Franciscus van der PAAUW

Instituut voor Bodenvruchtbaarheid

van Hallstraat 3, Groningen, Nederlande