

## Wetterabhängigkeit der Bodenfruchtbarkeit

Von *F. van der Paauw*\*)

Aus dem Instituut voor Bodemvruchtbaarheid Groningen

(Eingegangen: 4. 3. 1964)

Das Klima bedingt die Bodenbildung und die Bodenfruchtbarkeit. In Studien über den Zusammenhang zwischen der Witterung und den Erträgen wird aber der Boden gewöhnlich außer Betracht gelassen. Der Grund hierfür muß sein, daß wohl über lange Reihen meteorologischer Daten und über die Erträge in der praktischen Landwirtschaft und auf Dauerversuchsfeldern verfügt wird, aber entsprechende Daten bezüglich des Bodens fehlen. Dies kann eine der Ursachen sein warum die Ergebnisse dieser Untersuchungen hinter den Erwartungen zurückgeblieben sind. Man hat diese Tatsache bisweilen den Schwierigkeiten der statistischen Behandlung zugeschrieben. Die Vernachlässigung des Bodenzustandes muß aber auch Schwierigkeiten aufrufen, weil dieser nicht allein den Einfluß der gleichzeitigen Witterung reflektiert, sondern auch denjenigen einer vergangenen meteorologischen Lage, welche kumulativ auf den Boden eingewirkt hat.

In den Niederlanden wurde schon vor etwa 40 Jahren mit der systematischen jährlichen Bodenuntersuchung auf den mehrjährigen Versuchsfeldern angefangen, so daß ein bedeutendes Tatsachen-Material über den Einfluß der Witterung auf den Verlauf des Bodenzustandes vorhanden ist. Die Witterung hat nun in dieser 40jährigen Periode merkwürdige Schwankungen gezeigt, welche für den Erfolg unserer Untersuchungen von großer Wichtigkeit gewesen sind. Mehrmals haben nämlich relativ nasse Perioden in regelmäßiger Weise abgewechselt mit relativ trockenen Perioden. Die Dauer solcher Perioden war ziemlich lange, nämlich oft ungefähr 2 oder 3 Jahre. In der Zeitspanne 1920—1940 sind die Fluktuationen der Niederschlagsverteilung auffallend gewesen (Abb. 1).

Es hat sich weiter gezeigt, daß Faktoren, welche für das Pflanzenwachstum von hervorragender Bedeutung sind, so wie der Gehalt des Bodens an austauschbarem Kali, wasserlöslicher Phosphorsäure und das pH, in ähnlicher Weise schwanken. Noch wichtiger sind die Änderungen in den Stickstoffmengen, über die die Pflanzen verfügen können. Weil diese Änderungen unter dem allmählichen Einfluß der Witterung langsam verlaufen, sich kumulativ verstärken, und die Länge der einwirkenden trockenen und nassen Perioden oft ungefähr gleich war, sind hieraus ganz merkwürdige rhythmische Schwankungen dieser Bodenfaktoren hervorgegangen, wovon im Folgenden einige Beispiele gegeben werden.

Die totalen Vorräte der pflanzenernährenden Bestandteile des Bodens wurden im allgemeinen weniger stark beeinflusst als der pflanzenverfügbare Anteil derselben. In drei aufeinanderfolgenden nassen Jahre wurde der totale Vor-

\*) Dr. F. van der Paauw, Groningen (Niederlande), van Hallstraat 3.

rat an Phosphorsäure eines humosen Sandbodens mit 9% erniedrigt. Der Abfall des wasserlöslichen Anteils, der für die Aufnahme von größerer Wichtigkeit ist, betrug aber 30%. Der Phosphatzustand des Bodens hatte sich also qualitativ verschlechtert.

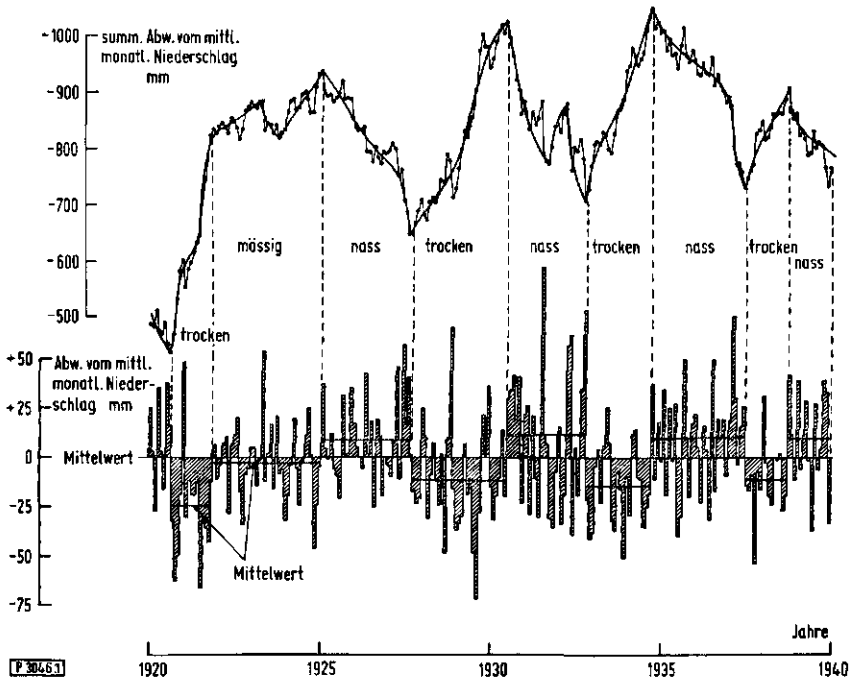


Abbildung 1

Abweichungen der mittleren monatlichen Niederschläge 1920—1940 (unten) und Summierung derselben (oben). Mittels der Summierungskurve können nasse und trockene Perioden unterschieden werden

The variation in average monthly precipitation, 1920—1940 (below) and total (above). Using the summation curve, wet and dry periods can be differentiated

Das Wachstum des Dauergraslands ist für einen wichtigen Teil durch in der Narbe angehäuften Kali bedingt. Der Gehalt an austauschbarem Kalium schwankte hierin offensichtlich parallel mit dem Verlauf des Niederschlags (Abb. 2).

Auf dem ältesten Dauerversuchsfelde in Holland wurde ähnliches für den Gehalt an wasserlöslicher Phosphorsäure gefunden (Abb. 3). Es konnte außerdem gezeigt werden, daß die ohne Phosphatdüngung erhaltenen Kartoffelerträge parallel mit diesen Schwankungen der P-Wasser Zahlen und der summierten Niederschlagsmengen fluktuierten. Nachdem die Phosphatdüngung während

46 Jahren unterlassen worden war, fiel der Ertrag 1927 bis auf 50% desjenigen der Volldüngungs-Parzelle und stieg dann wieder nach 3 überwiegend trockenen Jahren parallel mit der Steigerung des Gehaltes des Bodens an wasserlöslicher Phosphorsäure bis auf 96%.

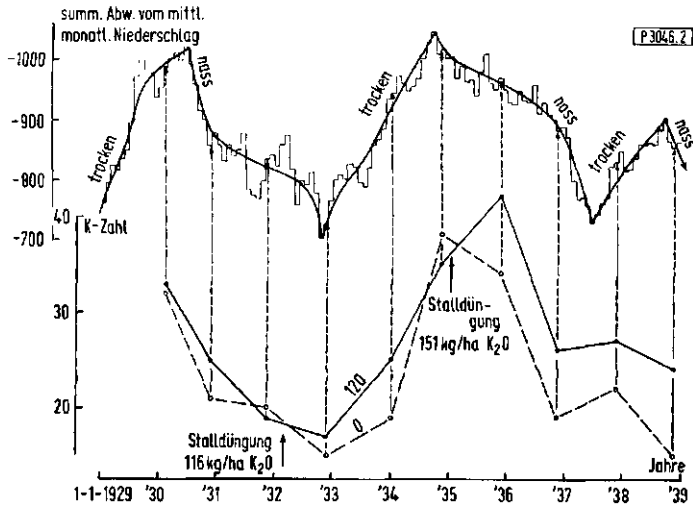


Abbildung 2

Paralleler Verlauf der Kaligehalte des Bodens (austauschbares Kali) und der Summierkurve der Niederschläge. Grünland auf Sandboden mit verschiedener Kalidüngung

The paralleling of exchangeable potassium and total precipitation curves. Meadow on sandy soil with various levels of potassium manuring

In Übereinstimmung mit Ergebnissen welche in England erhalten sind, konnte mittels unserer mehrjährigen Versuchsfelder gezeigt werden, daß die Stickstoffwirkung des Bodens stark vom Niederschlag während des vorangehenden Winters bedingt ist (Abb. 4). Diese statistische Feststellung wurde bestätigt auf Versuchsfeldern, welche teilweise während des Winters vorübergehend mit Glas abgedeckt wurden, so daß der Regen abgefangen wurde. Auf den vorübergehend abgedeckten und den nicht bedeckten Stellen wurden dann kleine Stickstoffversuchsfelder angelegt. Es zeigte sich daß relativ geringe Unterschiede in der Niederschlagsmenge eine bedeutende Wirkung hatten. Eine Erniedrigung der Niederschlagssumme in den Monaten November bis Februar von 224 auf 162 mm hatte eine Wirkung, welche derjenigen einer Düngergabe von 34 kg Stickstoff gleich kam. Nach dem Trockenjahre 1959 war diese Wirkung sogar noch größer (Abb. 5). Eine Erniedrigung der Niederschlagssumme von 205 auf 164 mm (20%) kam der Wirkung von 52 kg Stickstoff gleich.

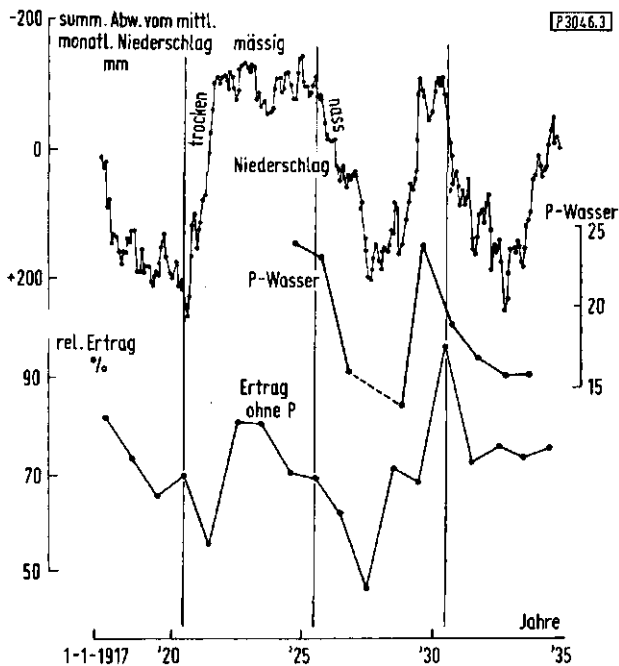


Abbildung 3

Summierte Abweichungen der mittleren monatlichen Niederschläge 1917—1935, Schwankungen des Gehalts an wasserlöslicher Phosphorsäure des Bodens (seit 1924) und die relativen, ohne Phosphorsäuredüngung erhaltenen Kartoffelerträge (in % der Volldüngung) auf einem Dauer-versuchsfeld (Anfang 1881). Der parallele Verlauf der Kurven ist auffallend

Summed variations of average monthly precipitation, 1917—1935, variation in water soluble phosphate since 1924 and the relative potato yield without phosphate manuring in percent of complete yield from long term field trials started in 1881. The correspondance of the curves is striking

Es konnten aber auch kumulative Wirkungen länger dauernder nasser und trockener Perioden nachgewiesen werden. Die ohne Stickstoff erhaltenen Erträge fielen in aufeinanderfolgenden nassen Jahren allmählich ab und stiegen wieder an in den trockensten (Abb. 6). Sehr bemerkenswert ist, daß die Ergebnisse der beiden immer gleichzeitig auf dem Versuchsfeld angebauten Spätkartoffeln und Roggen stark übereinstimmen, obwohl die Wachstumsperiode dieser beiden Pflanzenarten, wie bekannt, nur teilweise zusammenfällt. Dies verstärkt also die Folgerung, daß nicht der direkte Einfluß der Witterung für die Erträge maßgebend war, sondern der Fruchtbarkeitszustand des Bodens, welcher für beide Pflanzenarten fast ähnlich war.

Vielleicht kann die Annahme gemacht werden, daß ein Vorrat an leicht zersetzbarem Stickstoff in nassen Perioden allmählich durch Auswaschung minerali-

sierten Stickstoffs verloren geht, und daß dieser Vorrat wieder anwächst in trockenen Perioden. Auch ein allmählicher Rückgang der Bodenstruktur, welcher in dem Abfall der bei optimaler Stickstoffdüngung erhaltenen Erträge bemerkbar wird, beeinträchtigt wahrscheinlich die Stickstoffwirkung.

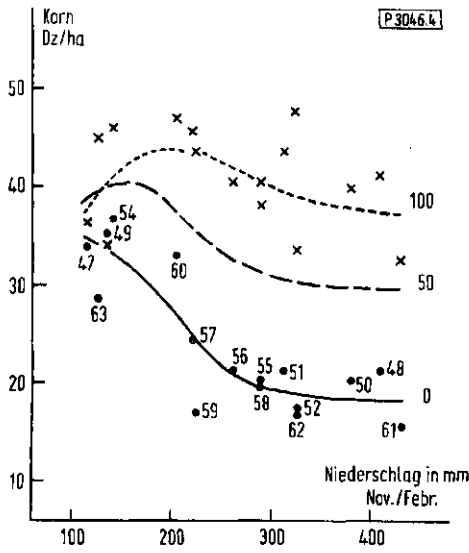


Abbildung 4

Roggenerträge auf einem Dauerstickstoffversuchsfeld bei verschiedener Stickstoffdüngung (0, 50, 100 kg/ha N) in Beziehung zum Winterniederschlag. Nach trockenen Wintern sind die Erträge ohne Stickstoff hoch; bei hoher Düngung tritt (infolge Lagerung) Ertragserniedrigung auf Rye yields in a longterm nitrogen field trial with different levels of nitrogen (0, 50, 100 kg/ha N) in relation to winter precipitation. After dry winters the yields without nitrogen are high. At high levels of application reductions in yield appear due to lodging

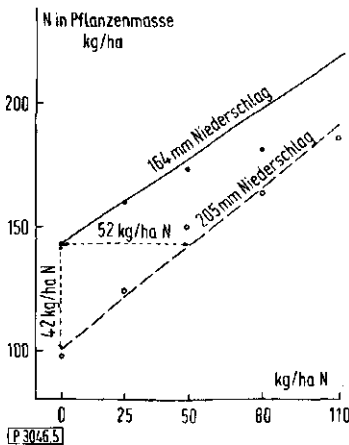


Abbildung 5

Stickstoffaufnahme von Roggenpflanzen bei variiertem Winterniederschlag und ansteigender Stickstoffdüngung Nitrogen uptake of rye plants with various levels of winter precipitation and nitrogen manuring

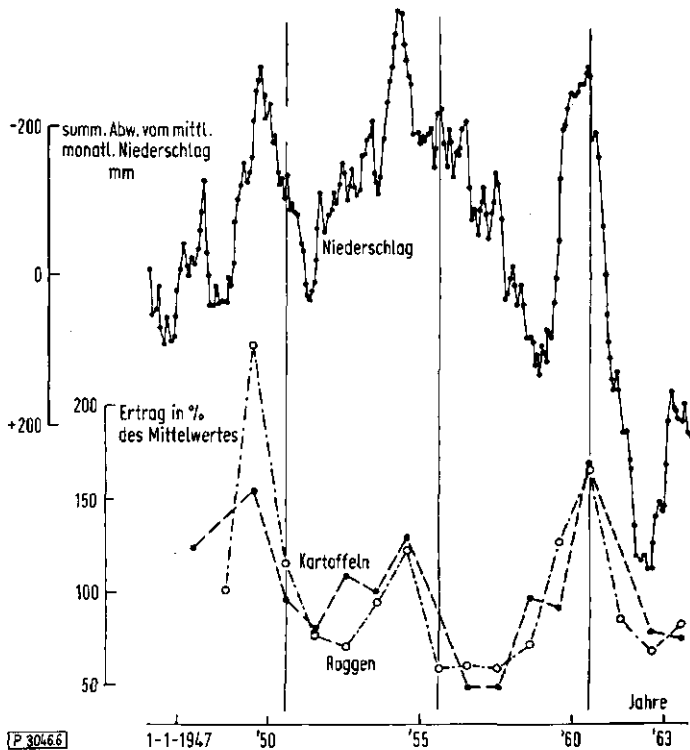


Abbildung 6

Summierte Abweichungen der mittleren monatlichen Niederschläge 1947—1963 und die ohne Stickstoffdüngung erhaltenen Erträge von Kartoffeln und Roggen in Prozenten der Jahresmittelwerte.

Summed variation of average monthly precipitation, 1947—1963, and the potato and rye yields, obtained without nitrogen in percent of yearly average value

Die zyklischen Ertragschwankungen werden nicht nur in Fällen stärkeren Mangels an Pflanzennährstoffen gefunden. Die Erträge der Ackerbaupflanzen in den verschiedenen Teilen der Niederlande zeigen nämlich ähnliche Schwankungen. Insbesondere zwischen 1919 und 1941, in welcher Zeitspanne trockene und nasse Perioden regelmäßig abgewechselt haben, wurden dergleiche Schwankungen gefunden (Abb. 7). Das Ergebnis ist insbesondere bemerkenswert, weil die abgebildeten Erträge mit mehreren Pflanzen, welche auf verschiedenen Bodenarten und in verschiedenen landwirtschaftlichen Gebieten gewachsen sind, erhalten wurden.

In Abb. 7 wurde auch der Verlauf des pH eingetragen. Diese Kurve zeigt die mittleren Abweichungen des pH von der durchschnittlichen Tendenz, welche auf 5 bis 7 Versuchsfeldern jede für sich festgestellt wurde. Diese Schwankun-

gen sind jenen der Weizenerträge sehr ähnlich, obwohl erstere auf Versuchsfeldern auf Sandböden, letztere in der Praxis auf Marschböden festgestellt wurden. Beide sind offenbar abhängig vom Niederschlag und eine direkte kausale Beziehung zwischen pH und Erträgen liegt offenbar nicht vor. Das pH ist aber ein Index der in dem Boden auftretenden Veränderungen.

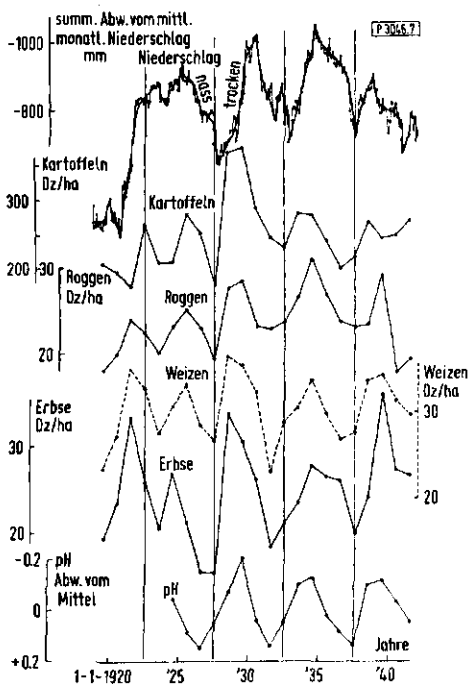


Abbildung 7

Summierte Niederschlagskurve in Vergleich mit den Erträgen in der Praxis von Industriekartoffeln (auf Sandböden, Groningen), Roggen (Sand- und Moorböden, Drente), Weizen und Erbse (Marschböden, Groningen) 1919—1941. Der mittlere Verlauf des pH auf den Versuchsfeldern ist ebenfalls angegeben.

Summed precipitation curve in comparison with commercial yields of potato on a sandy soil, Groningen, rye sand and fen soil, Drente, wheat and oats, marsh soil, Groningen, 1919—1941. The average variation in pH for the field trials is also shown

Zyklische Schwankungen wurden auch bei Volldüngung auf mehrjährigen Versuchsfeldern gefunden. Auch in diesen Fällen korrelieren die Erträge deutlich negativ mit dem pH.

Offenbar entstehen tief eingreifende Änderungen der Bodenfruchtbarkeit unter dem Einfluß kumulativer Einwirkungen der Witterung, welche die Erträge der Pflanzen in bedeutendem Maße beherrschen. Es ist unwahrscheinlich, daß diese

Änderungen sich nur beschränken würden auf die Faktoren, welche zufällig in unseren Versuchen untersucht worden sind. Auch andere chemische, physikalische und biologische Bodenfaktoren und der Wasserhaushalt sind vermutlich dem Einfluß der Witterung unterlegen.

Die zyklischen Schwankungen der Erträge, welche den Schwankungen der Bodenfruchtbarkeit zugeschrieben wurden, sind von großer Wichtigkeit. Weizen-erträge, erhalten nach einigen aufeinanderfolgenden Trockenjahren, sind etwa 50% höher als nach nassen Jahren. Mit den empfindlicheren Erbsen war der Mehrertrag ungefähr 200%. Diese Zahlen beziehen sich auf Mittelwerte aller Erträge in landwirtschaftlichen Kreisen; in Einzelfällen sind die Unterschiede oft größer.

Die Beziehungen zwischen Witterung, Bodenzustand und Erträgen sind auch darum so wichtig, weil hiermit sogar in einem kleinen Lande wie den Niederlanden bedeutende regionale Ertragsunterschiede erklärt werden können. Es hat besonders in der Nord-Östlichen Provinz Groningen, wo die Erträge früher an der Spitze lagen, Unruhe erweckt, daß die Erträge in den Nachkriegsjahren von denen der Provinz Zeeland im Süd-Westen des Landes übertroffen wurden. Es erschien fast übertrieben, hier im holländischen Deltaland nach Unterschieden im Klima zu suchen. Es zeigte sich aber, daß diese doch vorhanden sind. Zwischen 1919 und 1944 waren die Niederschläge in beiden Provinzen sehr ähnlich; seitdem ist aber Groningen bedeutend (durchschnittlich mehr als 100 mm jährlich) nasser gewesen, was den relativen Rückfall der Erträge erklären könnte.

Es wird deutlich, daß die Frage des Zusammenhanges zwischen meteorologischen Faktoren und Pflanzenerträgen nur dann in befriedigender Weise gelöst werden kann, wenn der intermediären Rolle der Bodenfruchtbarkeit vollständig Rechnung getragen wird.

Die Erkenntnis dieser vermittelnden Funktion des Bodens zeigt einen Weg, die nachteiligen Einflüsse der Witterung teilweise zu eliminieren. Weil der Boden in einer vorhergehenden Periode beeinflusst wurde, können Maßnahmen getroffen werden, um die zerstörte Fruchtbarkeit wiederherzustellen und in dieser Weise eine stabilere Produktion in der Landwirtschaft anzustreben.

Ein erster Schritt wurde dadurch gemacht, die Stickstoffgabe, welche den Bauern für die Getreide am Ende des Winters empfohlen wird, an die Niederschlagssumme im vergangenen Winter und an den Gehalt des Bodens an mineralischem Stickstoff anzupassen. Diese Methode wurde tatsächlich seit den letzten 6 Jahren in den Niederlanden mit Erfolg in Anwendung gebracht.

### Zusammenfassung

Die Witterung (Niederschlag) hat einen wichtigen, indirekten Einfluß auf die Pflanzenerträge, weil sie kumulativ und allmählich den Fruchtbarkeitszustand des Bodens ändert.



In Perioden mit übernormalem Niederschlag fällt die Fruchtbarkeit ab, um in subnormalen Perioden wieder anzusteigen. Dies konnte festgestellt werden für die Stickstofflieferung und die Gehalte an wasserlöslicher Phosphorsäure und austauschbarem Kali. Auch das pH (in Wasser) zeigte ähnliche Schwankungen.

Weil die Dauer der abwechselnden Perioden oft 2—3 Jahre betragen hat (in den vergangenen 50 Jahren), sind hieraus wellenartige Schwankungen der Bodenfruchtbarkeit hervorgegangen. Parallel hierzu variieren die Erträge der Kulturpflanzen. Dies konnte in der Praxis und auf Dauerversuchsfeldern festgestellt werden. Ebenso nehmen die Wirkungen der Düngestoffe wellenartig ab und zu.

Der Gehalt an leichtlöslichem Nitratstickstoff in den oberflächlichen Bodenschichten wird schon durch die Niederschlagssumme eines einzelnen Winters stark beeinflusst. Nach trockenen Wintern ist der Boden erheblich reicher an Stickstoff als nach nassen.

Es ist deshalb möglich die Stickstoffdüngung der vorhergehenden Witterung anzupassen. Diese Methode wird tatsächlich mit Erfolg zur Anwendung gebracht. Die intermediäre Rolle des Bodens in den Beziehungen zwischen Wetter und Pflanze ermöglicht ein zielgerechtes Eingreifen des Menschen.

#### Schrifttum

- (1) *Paauw, F. van der*: Periodiciteit in opbrengsten, vruchtbaarheid van de grond en klimaat (Periodicity of crop yields, soil fertility and climate). Landbk. Tijdschr. 60, 83—92 (1948). — (2) *Paauw, F. van der*: Periodical fluctuations of soil fertility and crop yields. Trans. Int. Congr. Soil Sci. Amsterdam 1950, II, 151—155. — (3) *Paauw, F. van der*: Anpassung der Düngung an die Witterungsverhältnisse. Verhandl. II. u. IV. Komm. Intern. Bodenkundl. Ges. Hamburg 1958, II, 78—82. — (4) *Paauw, F. van der*: Cyclical variations of crop yields induced by weather through the intermediary of the soil, 7<sup>th</sup> Intern. Congr. Soil Sci. Madison, Wisc., USA, Trans. III, 481—487 (1960). — (5) *Paauw, F. van der*: Effect of winter rainfall on the amount of nitrogen available to crops. Plant and Soil 16, 361—380 (1962). — (6) *Paauw, F. van der*: Periodic fluctuations of soil fertility, crop yields and of responses to fertilization effected by alternating periods of low or high rainfall. Plant and Soil 17, 155—182 (1962). [3046]

## The Dependence of Soil Fertility on Weather

by *F. van der Paauw*

Weather (precipitation) has an important indirect influence on crop yield, because of its gradual accumulative action on soil fertility status.

In periods with above normal precipitation, soil fertility declines, rising again in sub-normal periods. This effect is apparent with the supply of nitrogen, the amount of water soluble phosphoric acid and exchangeable potassium. Similar variations are shown by pH, determined in water. Since the duration of alternating periods has often amounted to 2/3 years in the last 50, wavelike variations in soil fertility have arisen, crop yields paralleling these variations and seen in both agricultural practice and long term field trials. In the same way fertiliser response has fluctuated.

Total precipitation in a single winter greatly influences the amount of readily soluble nitrate nitrogen existing in the topsoil, so that it is appreciably higher after dry winters than after wet.

It is thus possible to adjust nitrogen fertilising to past weather and the technique has been used with success. The intermediate role of soil in the relationship between weather and plant renders human intervention possible.

[3046]

(Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde 108, 129—137 [1965])