

Voraussage des Düngerbedarfs und des Ertrags auf Grund von Witterung und Bodenfruchtbarkeit

F. VAN DER PAAUW

(Instituut voor Bodemvruchtbaarheid Groningen)

Die moderne Landwirtschaft ist in mancher Hinsicht einer Industrie vergleichbar. Sie unterscheidet sich jedoch hiervon wesentlich in dem Unvermögen, das Ausmaß der Produktion vorher bestimmen zu können. Sie ist von der unbeständigen Witterung und der Bodenfruchtbarkeit abhängig. Diese Tatsache setzt die Landwirtschaft immer wieder in die Lage des Schwächeren.

Verstärkte Düngung hat, wie im folgenden noch gezeigt wird, nicht allein zu einer wesentlichen Erhöhung der Erträge beigetragen, sondern auch die Jahresschwankungen der Erträge erniedrigt. Dennoch sind diese Schwankungen noch immer sehr groß.

Eine Verbesserung dieser Lage erscheint vielen als ein Zukunftstraum, der nur dann zu verwirklichen ist, wenn eine detaillierte Witterungsvoraussage auf längere Sicht möglich wird. Übersehen wird dabei, daß nicht nur die Witterung, sondern auch die Schwankungen der Bodenfruchtbarkeit, die unter dem Einfluß der Witterung entstehen, für die große Variation der Erträge verantwortlich zu machen sind, und daß diese in vielen Fällen bedeutsamer sind als die direkten Einflüsse der Witterung auf die Pflanzen selbst. Es ist nicht zu leugnen, daß die Witterung einen katastrophalen Einfluß auf die Erträge haben kann, wie in Fällen von extremer Trockenheit, Wasserübersättigung, Frost, Hagel usw. Bezweifelt wird aber, ob die Einflüsse der normalen Witterungsfaktoren, wie Temperatur, Lichtintensität, Feuchte, wirklich ausreichen, um die großen Schwankungen der Erträge, die auch jetzt noch im gemäßigten, meeresnahen Klima der Niederlande und des westlichen Deutschlands auf fruchtbaren Böden und bei ökologisch gut angepaßten Fruchtarten gefunden werden, zu erklären.

Der Ertrag ist bedingt vom Wechselspiel zwischen den Wachstumsfaktoren der Atmosphäre und des Bodens. In diesem Spiel sind die letzteren die wichtigsten und die stabileren, obwohl sie selbst auch der Einwirkung der Witterung unterliegen. Die Erträge von Pflanzen, die an der Grenze ihrer ökologischen Möglichkeiten angebaut werden, sind jedoch viel mehr von den direkten Wirkungen der atmosphärischen Faktoren abhängig. Dies gilt auch für die im extremeren kontinentalen Klima angebauten Pflanzen.

Unter den Bodenfaktoren, die der Einwirkung der Witterung unterliegen, gibt es solche, die verhältnismäßig schnell, und andere, die erst nach längerer Zeit geändert werden. Auch im ersten Fall braucht diese Änderung eine gewisse Zeit, so daß ein atmosphärischer Faktor, der auf den Boden einwirkt und mittels der Änderung des Bodens das Pflanzenwachstum beeinflußt, eine stark verzögerte Wirkung bzw. Nachwirkung zeigt.

Ein Bodenfaktor, der sich in kurzer Frist unter dem Einfluß der Witterung ändern kann, ist der Gehalt an Nitrat-Stickstoff im Bodenwasser. Bei überschüssigem Niederschlag bewegt sich der gelöste Nitratstickstoff in die Tiefe und kann leicht aus der durchwurzelten Zone herausgeraten; bei Trockenheit erfolgt wieder kapillarer Aufstieg. Der Verlust an Stickstoff durch Auswaschung ist während des Winters besonders hoch. Normalerweise haben die oberen Schichten des Bodens im Spätsommer Stickstoff angereichert. In welchem Um-

fang dieser Stickstoff den Pflanzen im nächsten Jahre zur Verfügung steht, ist von der Durchlässigkeit des Bodens und der Menge des Niederschlags im Winter abhängig (Abbildung 1). Die Summe der Niederschlagsmengen von November bis Februar wurde hierfür als Maß genommen.

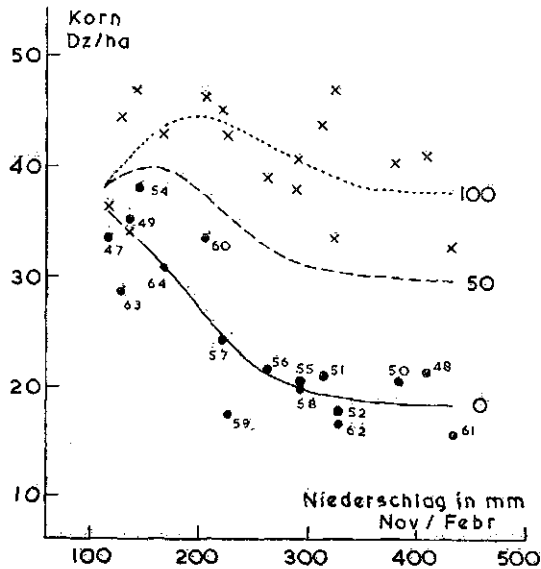


Abb. 1

Roggenerträge auf einem Dauerstickstoffversuchsfeld bei verschiedener Stickstoffdüngung (0, 50, 100 kg/ha N) in Beziehung zum Winterniederschlag (Summe Nov. — Februar). Nach trockenen Wintern sind die Erträge auch ohne Stickstoffdüngung hoch. Die mittleren Schwankungen unter dem Einfluß der Niederschläge sind bei mit N gedüngtem Boden bedeutend geringer als bei ungedüngtem.

Es zeigt sich, daß die nach trockenen Wintern ohne Stickstoffdüngung erhaltenen Erträge denen mit reichlicher Düngung fast gleich kommen. Festgestellt wurde, daß die zusätzliche Wirkung dieses „überwinterten“ Stickstoffs einer Düngung mit etwa 70 kg/ha N gleichwertig ist. Nach nassen Wintern dagegen ist der Boden bis zu 1 Meter Tiefe fast völlig stickstofffrei. Der Niederschlag hat sogar bei einer N-Düngung mit 50 kg/ha den mittleren Ertrag noch stark beeinflusst; bei Düngung mit 100 kg N ist die Wirkung des Winterniederschlags deutlich geringer.

In früheren Zeiten, als die Düngung weit niedriger war als heutzutage, muß der Winterniederschlag und der hierdurch bedingte Stickstoffzustand des Bodens im Frühjahr einer der wichtigsten ertragsbestimmenden Faktoren gewesen sein.

Aus diesen Ergebnissen, die auf anderen Versuchsfeldern bestätigt wurden, kann geschlossen werden, daß eine Voraussage der benötigten Stickstoffmenge in Prinzip möglich ist. Ab 1959 wird der Praxis im Februar geraten, die vorgesehene Stickstoffmenge um 10—30 kg/ha zu steigern bzw. herabzusetzen. Diese Mengen werden an Hand des Winterniederschlags geschätzt und weiter kontrolliert durch in den verschiedenen Bodenschichten durchgeführte Bestimmungen des Gehaltes an wasserlöslichem Stickstoff. So wurde 1960 ein stärkerer Abzug empfohlen, als auf Grund der Niederschlagsmenge richtig erschien. Das

Jahr 1959 war nämlich außerordentlich trocken gewesen, so daß ein Teil der Winterfeuchtigkeit zur Anfeuchtung des völlig eingetrockneten Bodens benötigt wurde und nicht ausgewaschen war. Ohne N-Düngung wurde dann auch ein höherer Ertrag erhalten, als im Hinblick auf die Niederschlagssumme erwartet werden konnte. Im Jahre 1963 sind die Verhältnisse umgekehrt gewesen.

In den Jahren seit 1959 wurde immer richtig beraten. Dies mag die Statistiker vielleicht nicht überzeugen; anders ist es mit den Praktikern bestellt. Besonders beeindruckt war man von der Richtigkeit der 1960 gegebenen Beratung. Der vorhergehende trockene Sommer hatte für manchen Bauern eine Mißernte gebracht, wobei die Wirkung des Stickstoffs ungewöhnlich gering gewesen war. In einem solchen Falle besteht die Neigung, die Düngung im nächsten Jahre zu erhöhen. Der Rat, diese um 30 kg/ha zu vermindern, widerstrebte also dem allgemeinen Empfinden. Die Bauern, die trotzdem den Rat befolgt hatten, ernteten maximale Erträge, während sich das Getreide sonst allgemein schwer gelagert hatte.

Die Möglichkeit, die Lagerung zu mildern, wird von der Praxis für wichtiger gehalten als eine Erhöhung der Ernte. Die Bedeutung der Ertragserhöhung soll nicht überschätzt, aber auch nicht unterschätzt werden. Im Mittel von 18 Versuchsjahren betrug die mögliche Ertragserhöhung von Roggen 160 kg/ha Körner, oder gut 4%, verbesserte aber zugleich die Lagerungsfestigkeit, obwohl die mittlere N-Gabe um 10 kg/ha erhöht worden war. Von einem wirtschaftlich bedeutsamen Ausgleich der Jahresschwankungen der Erträge mittels dieser Maßnahme kann aber bei der heutzutage nahe am Optimum gelegenen Stickstoffgabe nicht mehr die Rede sein. Dies konnte jedenfalls in 18 Versuchsjahren nicht einwandfrei nachgewiesen werden. Hierfür sind zu viele andere Faktoren mit im Spiel.

Die Auswaschung des Stickstoffs ist nicht auf die Winterzeit beschränkt. Der starke Niederschlag im vergangenen Frühjahr (1965) war für unser Institut Anlaß, Anfang Mai auf den früh gedüngten Parzellen eine zusätzliche Düngung von 20—40 kg/ha N zu empfehlen.

Um zu verdeutlichen, wie im folgenden der Verlauf des Niederschlags dargestellt wird, wird in Abbildung 2 eine Übersicht gegeben über die Variationen, die in der Zeitspanne 1880—1961 vorgekommen sind (im Nordosten der Niederlande). Für eine Periode von 79 Jahren (1880—1958) wurden die mittleren Niederschläge aller Monate berechnet. Die in jedem Monate auftretenden Abweichungen wurden dann summiert und als Summenkurve abgebildet. In dieser Abbildung deutet eine Steigung der Kurve eine Periode mit unternormalem Niederschlag an, ein Sinken das Gegenteil.

Änderungen des Kaliumzustandes erfolgen wesentlich langsamer als jene des Stickstoffgehaltes. Bei Grünland auf Sandboden konnte eine deutliche Parallelität zum Niederschlag im Laufe der Jahre nachgewiesen werden (Abbildung 3). Ähnliches konnte, obwohl schwächer ausgeprägt, auch auf Ackerland nachgewiesen werden. In drei aufeinanderfolgenden übernormal feuchten Jahren sank der Gehalt der Grasnarbe an austauschbarem Kalium, um nachher in den folgenden trockenen Jahren wieder stark anzusteigen. In den feuchten Jahren war der Kaliumgehalt so stark gesunken, daß eine ausreichende Kaliumernährung gefährdet war. Andererseits war der Kaliumgehalt nach den trockenen Jahren so hoch, daß die Qualität des Grases im Hinblick auf eine richtige mineralische

Ernährung der Tiere in Gefahr war. Eine Möglichkeit, derartige unerwünschte Entwicklungen vorauszusehen und an Hand der chemischen Bodenuntersuchung zu kontrollieren, ist also gegeben.

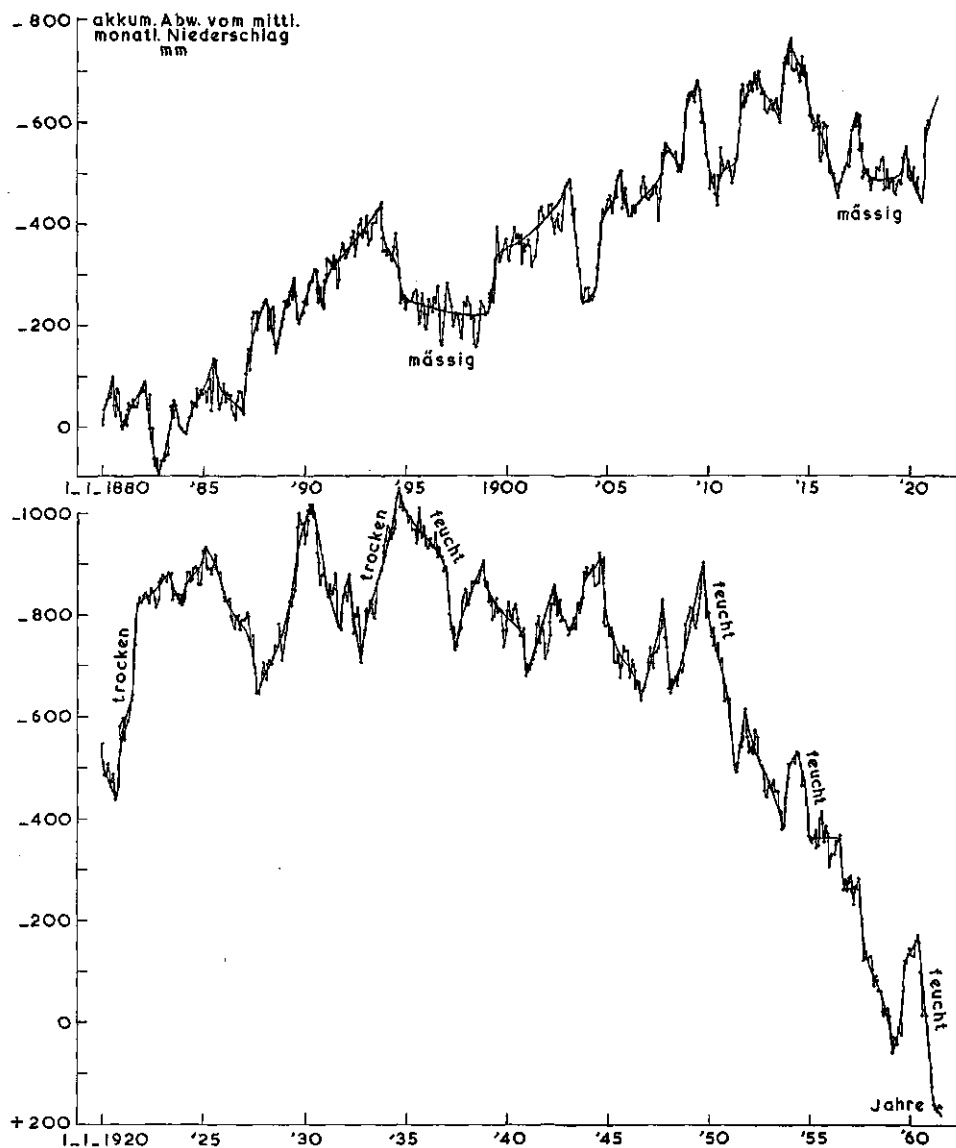


Abb. 2

Summierte Abweichungen von den mittleren monatlichen Niederschlägen (für jeden einzelnen Monat berechnet) im Nordosten der Niederlande von 1880 bis 1961. Eine Steigung der Kurve deutet auf eine trockene Periode.

Eine ähnliche Schwankung der Gehalte an wasserlöslichen Phosphaten*) wird auf vielen Sandböden gefunden. Der Gehalt schwankte auf einem 1881 angeleg-

*) Bestimmt bei einem Verhältnis Boden: Wasser = 1 : 10 bei 50°C.

ten Dauerversuchsfeld in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge (Abbildung 4). In einem anderen Fall zeigte sich, daß der Totalgehalt an Phosphor relativ weniger schwankte als der des wasserlöslichen Anteils. In den feuchten Jahren sind also leichtlösliche Teile des Bodenphosphats verlorengegangen.

Es ist interessant, den Verlauf der P-Wasser-Zahlen mit den Erträgen der jährlich auf dem Versuchsfeld in Fruchtwechsel mit Getreide angebauten Kartoffeln zu vergleichen. Die ohne P-Düngung erhaltenen relativen Erträge (in % von denen mit Volldüngung) verlaufen parallel zu den Schwankungen der wasserlöslichen Phosphate und der akkumulierten Niederschläge.

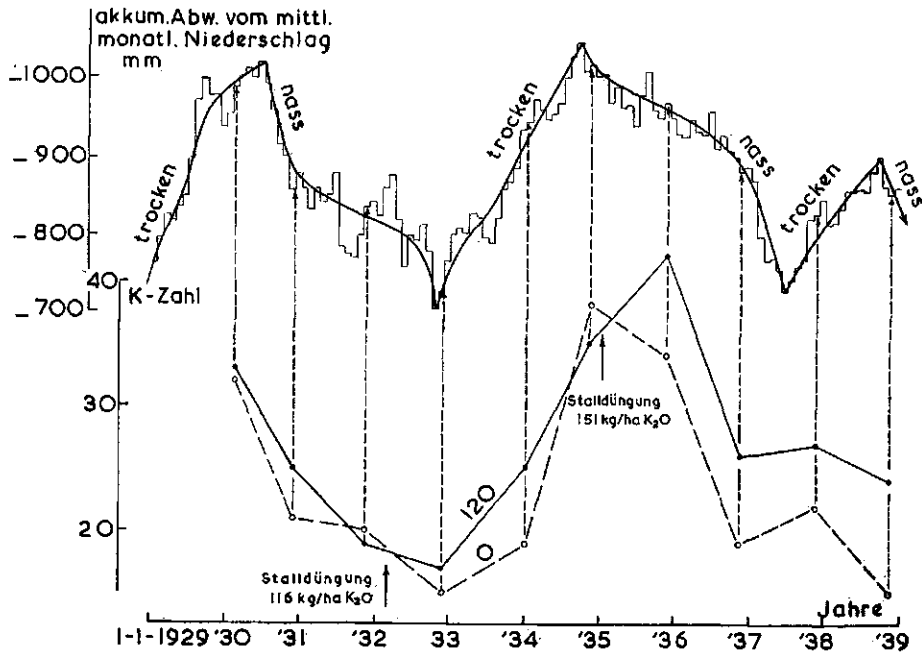


Abb. 3

Paralleler Verlauf der Kaliumgehalte (durch 0.1 n — HCl austauschbares Kalium) und der Summierungskurve der Niederschläge. Grünland auf Sandboden mit verschiedener Kaliumdüngung (0 und 120 kg/ha K_2O).

Ebenso wie bei Stickstoff kann geschlossen werden, daß die Niederschläge, diesmal in längeren Zeiträumen gerechnet, auf unseren ehemals phosphatarmen Sandböden in starkem Maße für die Schwankungen der Jahreserträge verantwortlich gewesen sein müssen. Bezeichnend ist, daß der Ertrag ohne Phosphat in dem soeben genannten Versuch im dritten Trockenjahr doppelt so hoch war, als nach drei anschließenden feuchten Jahren.

In den westeuropäischen Ländern ist die Bedeutung von Phosphat als begrenzender Faktor des Pflanzenwachstums in Folge der Düngung zur Zeit stark vermindert worden. Es ist also wenig wahrscheinlich, daß eine der Witterung angepaßte Phosphatdüngung heutzutage noch viel dazu beitragen könnte, die Jahreschwankungen der Erträge weiter auszugleichen.

Wie ist es dann, kann man fragen, eigentlich mit der Gleichmäßigkeit der Ernteerträge in einem landwirtschaftlich hoch entwickelten Land bestellt? Diese

Frage wird an Hand der Erträge einiger wichtiger Fruchtarten in einigen schon zwischen den beiden Weltkriegen fortgeschrittenen Ackerbaugebieten im Nordosten der Niederlande untersucht (Abbildung 5). Es zeigt sich, daß die Durchschnittswerte ganzer Ackerbaugebiete in guten Jahren bei Getreide rund 50 %, bei Kartoffeln 100 % und bei Erbsen 200 % höher waren als in den schlechtesten Jahren. Es versteht sich, daß die Schwankungen für einzelne Betriebe, und noch mehr für die einzelnen Flächen, weit größer gewesen sind.

Es ist besonders auffallend, daß die Schwankungen der Erträge dieser ökologisch verschiedenen Fruchtarten, welche auch teilweise auf verschiedenen Bodenarten angebaut werden und nicht zu gleicher Jahreszeit auf dem Feld wachsen

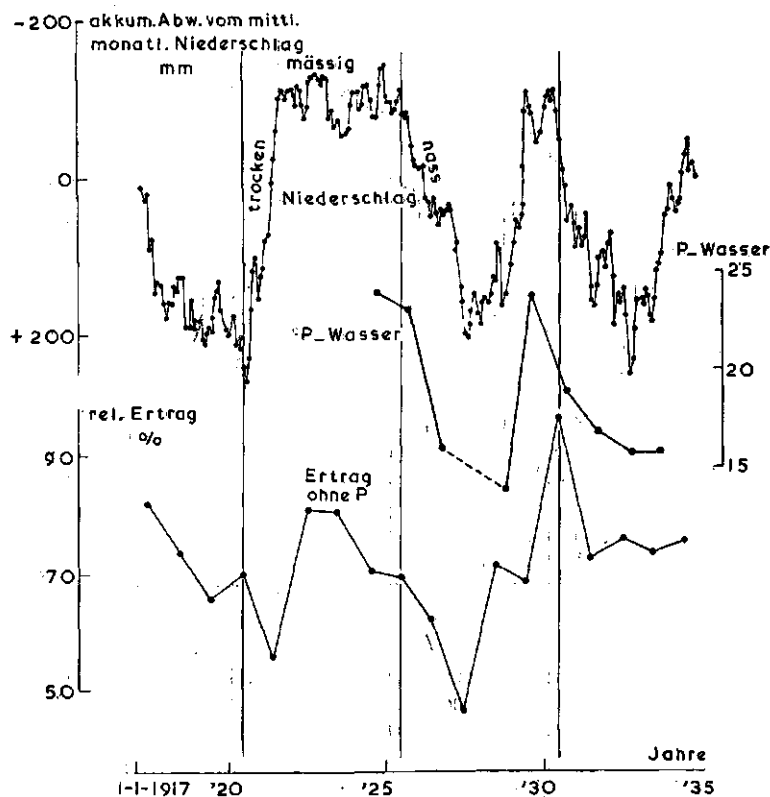


Abb. 4

Summierte Abweichungen von den mittleren monatlichen Niederschlägen 1917—1935, Schwankungen des Gehaltes an wasserlöslicher Phosphorsäure des Bodens (seit 1924) und die relativen, ohne P-Düngung erhaltenen Kartoffelerträge (in % der Erträge der Volldüngungspartelle) auf einem Dauerversuchsfeld (angelegt 1881). Die Kurven verlaufen parallel.

und reifen, doch so ausgesprochen gleichförmig sind. Offenbar sind die Erträge in aufeinanderfolgenden Trockenjahren gestiegen und allmählich in den feuchten Jahren abgefallen. Weil die Dauer dieser abwechselnden Perioden in dieser Zeitspanne stets ungefähr die gleiche war, hat sich das eigentümliche Bild rhythmisch pendelnder Erträge ergeben. Merkwürdig ist, daß auch der mittlere Ver-

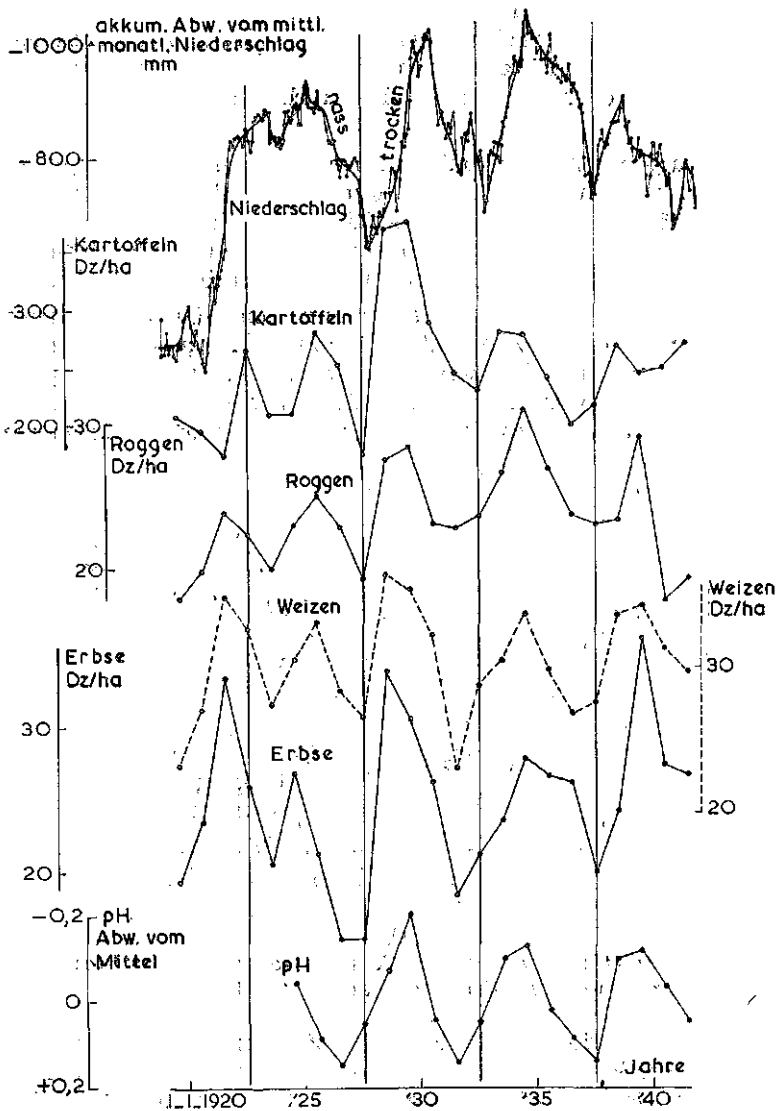


Abb. 5

Erträge in der Praxis von Industriekartoffeln (auf Sandböden, Provinz Groningen), Roggen (Sand- und Moorböden, Drente), Weizen und Erbsen (Marschen, Groningen), 1919—1941. Die summierten Niederschläge und der mittlere Verlauf des pH auf etlichen Versuchsfeldern sind ebenfalls (beide negativ) angegeben. Die Erträge steigen in trockenen Perioden, während das pH (Wasser) allmählich abfällt; in feuchten Perioden ist es umgekehrt.

lauf des pH-Wertes auf unseren Versuchsfeldern genau den gleichen Rhythmus zeigt. Das spricht dafür, daß zwischen diesem auf Sandböden festgestellten Verlauf des pH*) und den Ertragsschwankungen des auf Marschen angebaute

*) Bestimmt in wäßriger Suspension, 1 Teil Boden auf 5 Teile Wasser.

Weizens keine kausale Beziehung besteht. Das pH hat nur die auftretenden Änderungen des Bodenzustandes registriert, die sich vermutlich auf allen Bodenarten in ungefähr gleicher Weise vollzogen haben. Es scheint erlaubt, die Ursache im Verlauf der Witterung und ihrem allmählichen Einfluß auf die Bodenfruchtbarkeit zu suchen.

Um diese Frage unter mehr kontrollierten Bedingungen zu prüfen, wurden ab 1947 zwei, später mehrere Dauerversuche durchgeführt, in denen Kartoffeln, Roggen und Hafer in Fruchtfolge jedes Jahr bei gleicher Düngung und Behandlung angebaut werden. Nur der Stickstoff wird in ansteigenden Mengen gegeben. Die Entfernung zwischen den erstgenannten Feldern beträgt 36 km.

Die drei ersten Versuchsjahre waren trocken. Seit 1950 hat die Natur uns aber nicht drei, sondern neun feuchte Jahre hintereinander geschenkt (Abbildung 6). Nach Höchsterten in den Trockenjahren fielen die Kartoffelerträge auf beiden Versuchsfeldern in den feuchten Jahren allmählich ab. Eine ähnliche Erfahrung in der Praxis erweckte großes Unbehagen, weil die Ursache unbekannt war.

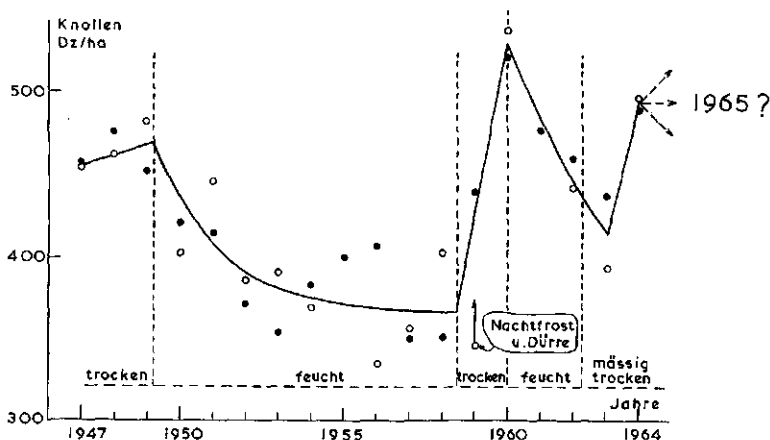


Abb. 6

Rückgang der Kartoffelerträge auf 2 Versuchsfeldern in feuchten, Ansteigen in trockenen Perioden. Voraussage für das Jahr 1965.

Als aber endlich die feuchte Periode 1959 von einer trockenen abgelöst wurde, stiegen die Erträge, wobei im zweiten Trockenjahr (1960) Höchstertrege erzielt wurden. Hiernach wiederholte sich das Spiel: ein allmähliches Absinken der Erträge in den nun folgenden feuchten Jahren. Im Laufe des Jahres 1963 trat eine Verbesserung ein, so daß 1964 die Erträge wieder hoch waren. Man könnte sogar vermuten, daß das günstige Ergebnis von 1964 teilweise noch den Trockenjahren 1959—1960 zuzuschreiben ist.

1959 wurde auf einem der Felder eine ziemlich große Abweichung von dieser Linie gefunden. Die Ursache ist bekannt. Die Pflanzen waren nämlich am 19. Juni stark abgefroren und erholten sich in der folgenden Trockenperiode nur langsam. Hier wurde also eine starke Ertragsdepression festgestellt als Folge eines direkten Einflusses der meteorologischen Bedingungen. Im allgemeinen ist aber der geschilderte Abfall der Erträge nicht dem direkten atmosphärischen Einfluß auf das Pflanzenwachstum, sondern dessen ungünstigen Einwirkung auf den Bodenzustand zu verdanken.

Wenn diese Auffassung sich als richtig erweisen sollte, ist eine Möglichkeit gegeben, die Erträge an Hand des Bodenzustandes vorauszusagen, extreme Abweichungen der Witterung vorbehalten. Es sah so aus, als ob die Wachstumsbedingungen für 1965 günstig sein würden.

Die Natur hat aber diese Erwartung durchkreuzt. Die Niederschläge waren zu reichlich und die mittleren Erträge sind mäßig. Dennoch ist das Jahr sehr lehrreich. Das Wintergetreide zeigte trotz übernormaler Niederschläge üppiges Wachstum; ähnliches zeigte das früh gesäte Sommergetreide. Dort, wo der Boden im Stande gewesen ist die überschüssige Wassermenge abzuführen, standen auch Kartoffeln und sogar die Rüben gut. In anderen Fällen versumpfte der Boden und infolge Strukturverfall, Luftmangel und Stickstoffauswaschung verkümmerten die Pflanzen. Wichtig aber ist, daß die höchst ungünstige Witterung in manchen Fällen kein Hindernis war für hohe Erträge. Dies deutet darauf hin, daß niedrige Temperaturen, niedrige Lichtintensität und dergleichen nicht als die Hauptursachen der Ertragsdepression gelten können. Den Pflanzen wurden geschadet, *weil dem Boden geschadet wurde*. Innerhalb eines Jahres ist geschehen, wofür die Natur normalerweise mehrere mäßig feuchte Jahre hintereinander braucht. Eine Voraussage für 1966 kann darum nicht günstig sein, obwohl vielleicht noch die Güte des Jahres 1964 nachwirken kann.

Wichtig wird es sein zu wissen, welche Bodenfaktoren von der Witterung beeinflusst werden. Außer an die chemischen Bodenfaktoren, deren Abhängigkeit vom Niederschlag gezeigt wurde, und an das pH kann an viele andere, physikalische Bodenfaktoren gedacht werden. Die Untersuchungen sind im Gang, wobei auch die Änderungen des Bodens in dieser Hinsicht verfolgt werden.

Erst nach Abschluß dieser Untersuchungen wird es möglich sein, die gewonnene Erkenntnis über die Abhängigkeit der Erträge von dem durch den Witterungsverlauf bedingten Bodenzustand völlig auszunützen. Die überragende Bedeutung der Bodenfruchtbarkeit für die Erträge ist eindeutig. Es ist wichtig, diese zu pflegen und von den Wechselfällen der Witterung unabhängiger zu machen. In dieser Weise wird eine fortschreitende Tendenz zur Ertragerhöhung und Milderung der Jahresschwankungen möglich sein.

Schrifttum

1. PAAUW, F. VAN DER: Periodiciteit in opbrengsten, vruchtbaarheid van de grond en klimaat (Periodicity of crop yields, soil fertility and climate). Landbouwkd. T. 60, 83—92, 1948
2. PAAUW, F. VAN DER: Periodical fluctuations of soil fertility and crop yields. Trans. Int. Congr. Soil Sci. Amsterdam 1950, 2, 151—155
3. PAAUW, F. VAN DER: Anpassung der Düngung an die Witterungsverhältnisse. Verh. II. u. IV. Kommiss. Intern. bodenkundl. Ges. Hamburg 1958, 2, 78—82
4. PAAUW, F. VAN DER: Cyclical variations of crop yields induced by weather through the intermediary of the soil. Trans. 7. Int. Congr. Soil Sci. Madison, Wisc., USA, 481—487, 1960
5. PAAUW, F. VAN DER: Effect of winter rainfall on the amount of nitrogen available to crops. Plant a. 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 a. Soil 17, 155—182, 1962
7. PAAUW, F. VAN DER: Wetterabhängigkeit der Bodenfruchtbarkeit. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd. 108, 129—137, 1965