

Einfluß der Niederschläge auf Bodenfruchtbarkeitsfaktoren und deren Bedeutung für die Erträge

Von F. van der PAAUW, Groningen (Niederlande)

1. Einleitung

Das Klima der Niederlande ist durch starke Veränderlichkeit gekennzeichnet, weil es abwechselnd von maritimen oder kontinentalen Einflüssen abhängig ist. Jedem erfahrenen Landwirt ist es bekannt, daß andauernde feuchte Witterung einen merkbar ungünstigen Einfluß auf die Güte des Bodenzustandes hat, andauernde Trockenheit dagegen die Fruchtbarkeit des Bodens wiederherstellt. Der Einfluß übernormaler Niederschläge bezieht sich insbesondere auf eine Verschlechterung der physikalischen Struktur und auf eine Auswaschung von Pflanzennährstoffen. Derartige Wirkungen sind kumulativ und nicht schnell umkehrbar. Langfristige Nachwirkungen feuchter und trockener Perioden können also erwartet werden.

Es geht hieraus die Frage hervor, inwiefern diese Schwankungen der Bodenfruchtbarkeit maßgebend sind für die Jahresschwankungen der Erträge. Dieser Faktor ist in der agrarmeteorologischen Forschung außer Betracht geblieben, sei es, daß die Bedeutung desselben unterschätzt wurde, oder daß sie tatsächlich unter anderen klimatologischen Bedingungen gering ist. Es ist wohl kein Zufall, daß der zwischen Witterung und Ertrag vermittelnde Einfluß der Bodenfruchtbarkeit zuerst in Holland als möglicher maßgebender Faktor der Ertragsbildung anerkannt wurde.

Zwar sind *Hoffmann* und *Bahn* [3, 4, 5] der Meinung, daß dem Niederschlag auch im relativ trockenen Gebiet Halle ein kumulativer, in diesem Fall die Bodenfruchtbarkeit fördernder Einfluß zukommt. Es ist aber möglich, daß die Einflüsse des Bodenzustandes in überwiegend feuchten oder trockenen Gebieten bei den direkten Einflüssen der Witterung auf das Pflanzenwachstum zurückbleiben.

A priori könnte die Frage gestellt werden, ob der Einfluß der Änderungen der Bodenfruchtbarkeit tatsächlich so groß sein kann, daß er in Konkurrenz tritt mit denen der direkt auf das Pflanzenwachstum einwirkenden Faktoren. Es könnte dann jedenfalls darauf hingewiesen werden, daß dies nicht nur der praktischen Erfahrung entspricht, sondern auch der Einsicht, daß die große Mehrheit der Bodenfruchtbarkeitsfaktoren unter den niederländischen Bedingungen ungünstig von überflüssigen Niederschlägen beeinflußt wird. Hieraus kann dann eine starke negative Wirkung resultieren. Es

brauchen aber nicht immer die gleichen Faktoren zu sein, die auf verschiedenen Böden und unter unterschiedlichen Bedingungen in Einzelfällen maßgebend sind.

Bekanntlich ist dagegen der Einfluß der direkt auf die Pflanze einwirkenden Faktoren groß. Es sind aber mehrere Fälle bekannt, worin dergleichen Faktoren einander mehr oder weniger kompensieren. Außerdem verfügt die Pflanze über das Vermögen der Anpassung, wodurch ein Einfluß gewissermaßen ausgelöscht werden kann. Es bleibt also fraglich, wie sich die Einflüsse der direkt oder indirekt, durch Vermittlung des Bodens, auf den Ertrag einwirkenden Faktoren, sich gegenseitig verhalten. Die Frage ist agrarmeteorologisch wichtig, weil es hiervon abhängen wird, inwiefern es angebracht ist, auch die Witterung in vorangehenden Perioden in die Betrachtungen einzubeziehen. Die Jahresschwankungen der Erträge könnten ohnedies nicht allein aus der während des Pflanzenwachstums herrschenden Witterung erklärlich sein.

2. Die Beziehung

Witterung – Bodenzustand – Ertrag

In einer Reihe schon des öftern veröffentlichten Abb. [7, 8, 9, 11, 12, 13] wird gezeigt, daß die Witterung in vorangehenden Perioden einen merkbaren Einfluß auf die Eigenschaft des Bodens und die Größe der Erträge hat. Es handelt sich um die Ernährung mit Stickstoff, Phosphor und Kali. Auch wird die Änderung der Bodenstruktur und dessen Einfluß auf die Erträge erörtert werden.

2.1. Bekanntlich bestimmen vor allem die Winterniederschläge den Gehalt des Bodens an löslichem Stickstoff im Frühjahr. Der Boden hat sich im vorangehenden Herbst mit Nitraten angereichert. Abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens und der Größe der Niederschläge können bedeutende Mengen im Bereich der Wurzeln gehalten werden, wie durch schichtweise Probenentnahme und Bestimmung des Nitratgehaltes in einfacher Weise gezeigt werden kann [7]. Ein deutlicher Zusammenhang zwischen Niederschlagssummen in der Winterperiode und den ohne Stickstoffdüngung erhaltenen Erträgen konnte auf mehreren mehrjährigen Versuchsfeldern mit gestaffelter N-Düngung nachgewiesen werden. Ein deutliches Beispiel haben die Roggenerträge auf einem dieser Felder gegeben (Abb. 1).

In diesem Fall konnte die Varianz der Erträge sogar für 87% durch die unterschiedliche Niederschlagssumme erklärt werden. Die Ertragsunterschiede können teilweise mittels einer Stickstoffdüngung aufgehoben werden. Bei einer in der Praxis üblichen Gabe nach 75 kg/ha N waren die Winterniederschläge immerhin noch für 33% der Varianz verantwortlich. Bei einer statistischen Untersuchung der Roggenernten in der landwirtschaftlichen Praxis in der Periode 1903 bis 1957 konnten 23%

¹ Vortrag, gehalten auf dem 2. Internationalen Agrarmeteorologischen Symposium über „Atmosphärische Einflüsse auf Entwicklung, Wachstum, Stoffproduktion und Ertrag von landwirtschaftlichen Kulturpflanzen“ vom 20.–24. Sept. 1967 in Leipzig, anlässlich des zehnjährigen Bestehens des Agrarmeteorologischen Observatoriums Holzhausen der Karl-Marx-Universität Leipzig.

der Varianz auf Rechnung der Winterniederschläge gestellt werden [6, 12].

Es konnte gezeigt werden, daß die Erklärung tatsächlich in der unterschiedlichen Auswaschung des Stickstoffs gesucht werden muß. In Abdeckversuchen wurden die Niederschläge im Winter teilweise aufgefangen. Es zeigte sich, daß ganz ähnliche Effekte gefunden wurden als bei dem Vergleich verschiedener Jahre.

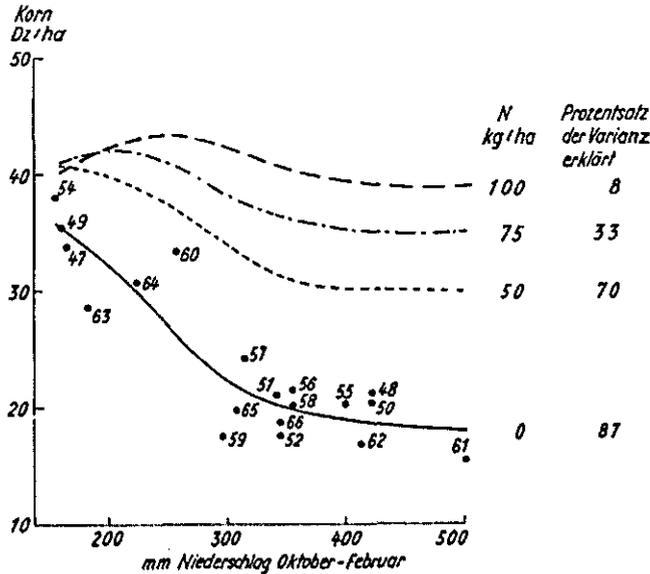


Abb. 1. Einfluß der Niederschlagssummen in der Winterperiode (Okt./Febr.) auf die bei gestaffelter N-Düngung erhaltenen Roggeerträge. Rechts der Prozentsatz der erklärten Varianz der Erträge.

2.2. In dem im Mai 1967 in Groningen gehaltenen Stickstoffsymposium wurde dargelegt [12], daß auch in den Sommermonaten durch gelegentliche Abdeckung erhaltene Regenunterschiede den Stickstoffgehalt beeinflussen können. Es handelt sich dann aber nicht nur um Unterschiede im Gehalt des löslichen Stickstoffs, sondern

auch um Unterschiede in den Mengen an mineralisierbarem, organisch gebundenem Stickstoff. Trockenere Perioden im Sommer oder im Herbst zeigten eine bessere nachherige Stickstofflieferung als die vorher feuchteren. Um ähnliche Wirkungen handelte es sich offenbar auch in einem Dauerversuch auf gut durchlässigem Boden, wo der lösliche Stickstoff auch in relativ trockenen Wintern größtenteils aus den bewurzelten Schichten ausgewaschen war. Unterschiede in der Stickstofflieferung beruhen hier wohl wesentlich auf der unterschiedlichen Mineralisation des Stickstoffs. Wie sehr die ohne Stickstoffdüngung erhaltenen Erträge die Änderungen des Niederschlagverlaufes widerspiegeln, wird in Abb. 2 gezeigt. Der Niederschlag ist hier als Summenkurve dargestellt. Akkumuliert wurden die Abweichungen der über eine gewisse Zeitspanne (hier 21 Jahre) berechneten mittleren monatlichen Niederschläge.

Die Schwankungen einer solchen Kurve zeigen sehr deutlich die abwechselnd trocken und feuchten Perioden. Die Erträge von nicht mit Stickstoff gedüngten Kartoffeln und Roggen laufen mit den Niederschlägen auffallend parallel. Auf diesen und sonstigen Ergebnissen wurde die Hypothese gegründet, daß insbesondere die Änderungen der Umsetzungen der organischen Substanz des Bodens für die Schwankungen der Fruchtbarkeit verantwortlich sind [11].

2.3. In den genannten Veröffentlichungen sind auch Beispiele beträchtlicher Änderungen der Versorgung mit Kalium und Phosphor gegeben, die den Verlauf der Niederschläge widerspiegeln (z. B. [9, Abb. 2, 3 und 10, Abb. 3 und 4]). Sie bedeuten eine wichtige Verschiebung der Kaliversorgung innerhalb einzelner Jahre.

Im Falle des Phosphats handelt es sich mehr um eine Änderung der Aufmerksamkeit als um eine Auswaschung der Bodenphosphate. Der Gehalt an wasserlöslichem Phosphor, der erfahrungsmäßig maßgebend ist für die Aufnehmbarkeit des Bodenphosphats, erniedrigt sich nämlich in feuchten Perioden erheblich stärker als z. B. der Gehalt des im AL-Extrakt löslichen Phosphors oder der totale Phosphorgehalt.

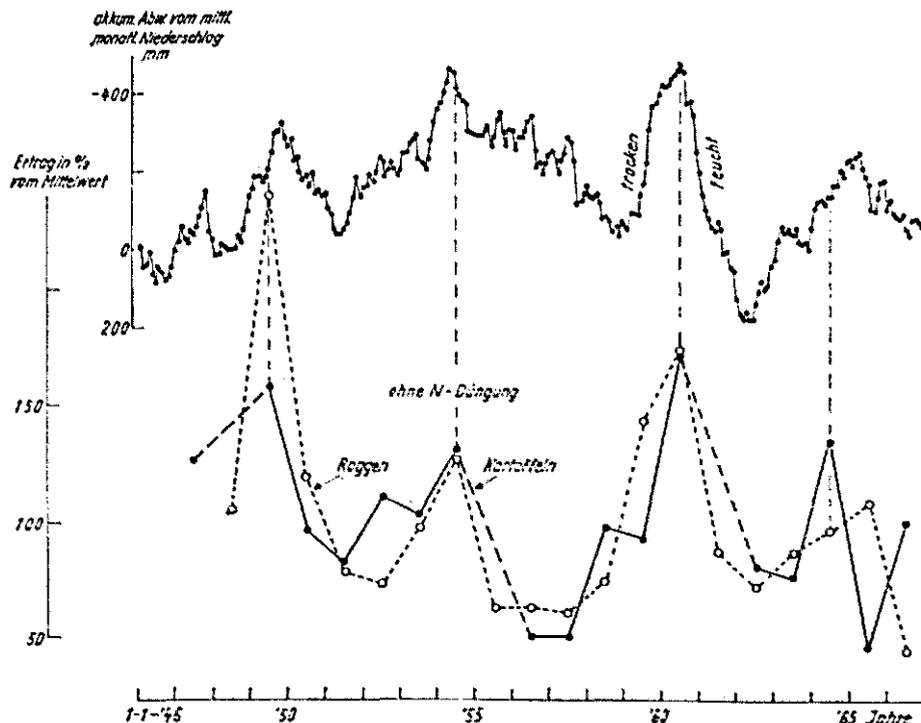


Abb. 2. Schwankungen der ohne N-Düngung erhaltenen Erträge von Kartoffeln und Roggen (in Prozenten der mittleren Erträge) im Vergleich mit den summierten Abweichungen der monatlichen Niederschläge

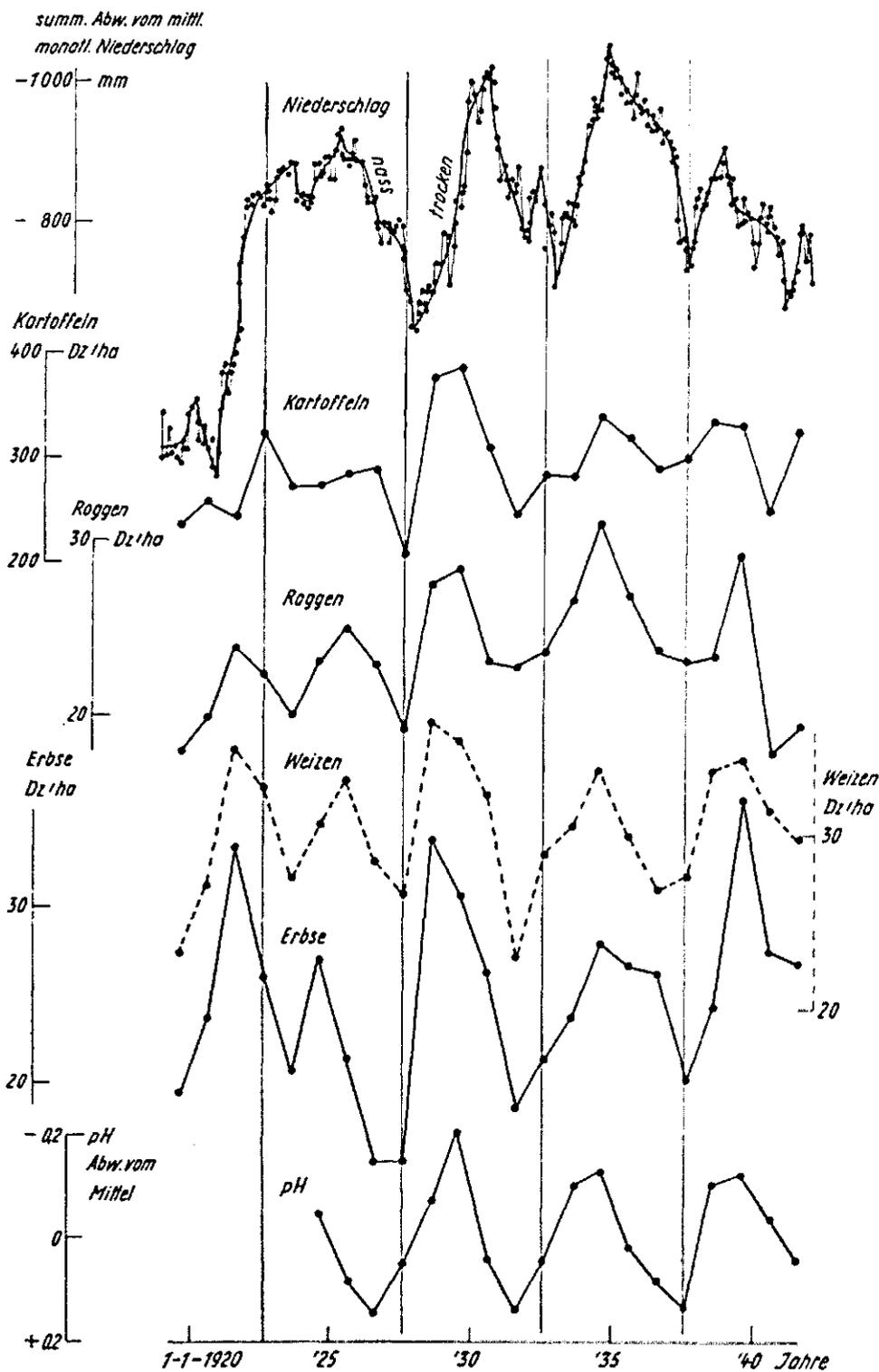


Abb. 3. Schwankungen der Erträge von Industriekartoffeln (moorkolonialer Boden, Prov. Groningen, Roggen) (moorkol. und Sandboden, Prov. Drente), Weizen, Hafer und Erbse (Marschen, Groningen) in der Praxis und des pH auf Versuchsfeldern, verglichen mit der Summierungskurve der Niederschläge (pH und Niederschläge negativ angegeben).

Auf einem Dauerversuchsfeld wurde gefunden, daß die P-Wasserzahlen und die Niederschläge gleichlaufend sind.

In feuchten Perioden sinken die P-Wasserzahlen allmählich, um in trockenen wieder anzusteigen. Parallel hiermit fallen und steigen die relativen, ohne Phosphordüngung erhaltenen Erträge von Kartoffeln. Es liegt auf der Hand, hier eine kausale Beziehung zwischen den Schwankungen des Gehalts an pflanzenverfügbarem Phosphor des Bodens und denen der Erträge anzunehmen.

2.4. Die Struktur des Bodens verringert sich bei feuchter

Witterung, vor allem wenn die Bodenbearbeitung in die feuchte Periode fällt. Diese Verschlechterung wird insbesondere bei den schweren Marschen gefunden (Boekel [1]). Die Struktur wird mittels visueller Beobachtung in einer Skala 0 bis 10 geschätzt (Peerlkamp [14]). Diese Zahl ergibt sich aus der Tatsache, daß die Struktur stark mit dem Luftgehalt des Bodens korreliert ist (Boekel [2]). Nach der Trockenperiode 1959/60 variierten die Strukturzahlen zwischen 5 und $7\frac{1}{2}$ mit einem Mittelwert von $6\frac{1}{2}$. Nach der sehr feuchten Periode, die Mitte 1960 begann, variierten die Zahlen im Spätjahr zwischen $2\frac{1}{2}$

und $6\frac{1}{2}$ um ein Mittel von $4\frac{1}{2}$. Eine Zahl $5\frac{1}{2}$ wird von *Boeckel* als notwendig angesehen, um maximale Ernten auf diesem Boden zu erhalten. Bei einer Zahl von $3\frac{1}{2}$ kann die Ernte im nächsten Jahre um etwa $\frac{1}{3}$ niedriger ausfallen als bei der Grenzzahl.

Die gewählten Beispiele zeigen, daß wichtige ertragsbedingende Bodenfaktoren stark von der Witterung abhängig sind.

Eine weitere Frage ist, inwiefern der Verlauf von in der praktischen Landwirtschaft oder auf Versuchsfeldern im Laufe der Jahre erhaltenen Erträgen Vermutungen zuläßt, daß diese Erträge durch den Verlauf der Niederschläge in vorangehenden Perioden kumulativ beeinflußt wurden. Zur Beurteilung dieser Frage vermittelt die Zeitspanne zwischen den beiden Weltkriegen wertvolle Erkenntnisse, weil hier eine ziemlich regelmäßige Abwechslung von feuchten und trockenen Perioden, ungefähr gleicher Dauer, vorgekommen ist (Abb. 3).

Die Erträge verschiedener Pflanzen, auf verschiedenen Bodenarten gewachsen, zeigen oft merkbar gleichlaufende Schwankungen, obwohl ihre Entwicklungsperiode nur teilweise zusammenfällt. Der Verlauf der auf Versuchsfeldern bestimmten mittleren pH-Werte ist ebenfalls in der Abb. 3 eingetragen. Auch er zeigt den gleichen Rhythmus. Dies bedeutet zwar nicht, daß die Schwankungen des pH diejenigen der Erträge kausal bedingen. Es sagt nur aus, daß in dem Boden Änderungen aufgetreten sind, die durch das pH registriert worden sind. Der Gedanke liegt nahe, diese Schwankungen der Erträge in kausale Beziehungen zu denen des Bodens zu setzen.

In späteren Jahren konnte auf den zu diesem Nachweis angelegten Versuchsfeldern gezeigt werden, daß die Ernten tatsächlich die Schwankungen der Niederschläge spiegeln. Hierüber ist schon früher publiziert worden [9, (Abb. 6)].

3. Mathematische Bearbeitung der Ergebnisse

Man kann Bedenken haben gegen die bis jetzt geführten Beweise mittels eines qualitativen Vergleichs verschiedener Kurven, die von einer Subjektivität nicht ganz frei sind. Auch bleibt die Behauptung, daß die Witterung in vorangehenden Perioden für die Erträge maßgebend ist, ungewiß, solange die Trennung der Einflüsse der vor und gleichzeitig mit der Wachstumsperiode einwirkenden Niederschläge undeutlich ist. Wechselseitige Beziehungen können nämlich zwischen den Niederschlägen in verschiedenen Perioden bestehen. Es ist also notwendig, das Gefundene mathematisch zu belegen und erstens zu versuchen, die Beziehungen zwischen den Niederschlägen in vorangehenden Perioden und die Erträge quantitativ festzustellen, zweitens eine mehrfache Regressionsanalyse durchzuführen, wodurch die Einflüsse verschiedener Perioden rein erfaßt werden können.

Als eine große Schwierigkeit bei der Behandlung der genannten Fragestellung erweist sich die Tatsache, daß wir noch nicht eindeutig wissen, in welchen Perioden der Niederschlag für die Pflanze oder für den Zustand des Bodens kritisch ist. Die Aufstellung eines geeigneten Modells fällt deshalb schwer.

Außerdem ist die Niederschlagssumme nur ein komplexes, ziemlich rohes Maß der Witterung.

Die deutlichen Korrelationen zwischen Niederschlag und Pflanzenreaktion hängen wohl nicht allein von der Bedeutung des Niederschlages für Pflanze und Boden ab,

sondern auch davon, daß er mit anderen, ebenfalls ertragsbedingenden Faktoren korreliert ist.

Ferner sagt die Hypothese nur etwas über die Richtung, nicht über die Größe der Ertragsänderungen aus, wobei die Niederschläge in vorangegangenen Perioden für die Erträge wichtig sind.

Wünschenswert ist daher, auch die Unterschiede zwischen den Erträgen in aufeinanderfolgenden Jahren mit den Niederschlägen in Beziehung zu setzen. Dieses Verfahren kann aber nur durchgeführt werden mit Jahren, in denen der Ertrag verhältnismäßig wenig von dem Mittelwert abweicht. Die Möglichkeit einer weiteren Erhöhung bzw. Senkung der Erträge wird nämlich um so geringer sein, je höher bzw. niedriger der Niederschlag des vorangehenden Jahres ist. Die Eliminierung extremer Daten reduziert aber die Anzahl der verfügbaren Daten.

Die Tabelle 1 enthält einige Ergebnisse der Korrelationsberechnungen.

Tabelle 1. Beziehungen zwischen Niederschlagssummen in vorangehenden Perioden und Erträge (23 Jahre) bzw. Ertragsunterschiede (15¹) aufeinander folgender Jahre in der landwirtschaftlichen Praxis (1919/41)

Pflanze	Beziehung	r	P	
Hafer	Ertrag × Niederschlag in 6 Monaten	-0.44	0.04	
	9 Monaten	-0.61	0.002	
	12 Monaten	-0.49	0.02	
Weizen	3 Monaten	-0.28	0.2	
	6 Monaten	-0.48	0.02	
	9 Monaten	-0.61	0.002	
	12 Monaten	-0.51	0.013	
Erbse	9 Monaten	-0.44	0.04	
Roggen	9 Monaten	-0.40	0.06	
Kartoffeln	9 Monaten	-0.43	0.04	
Hafer	Ertr.-Unterschiede × Nied. in 9 Monaten	-0.64	0.007	
	Weizen	9 Monaten	-0.71	0.003
	Kartoffeln	9 Monaten	-0.57	0.03

¹ 1/3 Teil der Erträge (8) mit den größten Abweichungen vom Mittelwert wurden ausgeschlossen.

Die Korrelationen sind sämtlich negativ. Insbesondere sind jene mit den Niederschlagssummen in 9 vorangehenden Monaten bei Hafer und Weizen statistisch gesichert. Die Korrelationen mit den Ertragsunterschieden aufeinander folgender Jahre sind tatsächlich etwas straffer als mit den absoluten Erträgen; wegen der geringeren Zahl der Daten aber nicht stärker gesichert.

Da die Wahl der Perioden noch ziemlich willkürlich ist, handelt es sich eigentlich um eine Feststellung von Minimum-Werten.

Die mittleren, auf den Versuchsfeldern festgestellten Schwankungen des pH, wurden mit den Niederschlagssummen in vorangehenden Perioden in Beziehung gesetzt.

Korrelationsberechnungen genügen nicht, um den Beweis zu liefern, daß Ertragsunterschiede durch Niederschlagssummen in vorangehenden Perioden bedingt wurden. Es ist nämlich nicht ganz ausgeschlossen, daß diese Niederschlagssummen mit der Witterung während der Wachstumsperiode korrelieren, und letztere für die Erträge verantwortlich sind. Die Korrelationen geben aber eine Bestätigung des visuellen Vergleichs.

Tabelle 2. Beziehungen zwischen Niederschlagssummen in vorangehenden Jahren und mittleren Abweichungen des pH auf Versuchsfeldern (31 Jahre)

Beziehung	r	P
pH × Niederschlag in 4 Monaten	0,50	0,001
pH × Niederschlag in 8 Monaten	0,56	0,001
pH × Niederschlag in 12 Monaten	0,60	0,001
pH × Niederschlag in 18 Monaten	0,54	0,002
pH × Niederschlag in 24 Monaten	0,52	0,003
pH × Niederschlag in 30 Monaten	0,42	0,02

Eine mehrfache Regressionsanalyse wird eine größere Aussagekraft haben. Bei mehreren Pflanzen konnten Korrelationen zwischen Niederschlagssummen in der Wachstumsperiode und den Erträgen festgestellt werden. Für Hafer, Erbse und Weizen wurden die Niederschlagssummen in den folgenden Perioden auf ihre Bedeutung geprüft:

1. während des Wachstums (21/4–20/7), angedeutet als x_1 ,
2. in dem vorangehenden Winter (Nov./Febr.), x_2 ,
3. im Sommer und Herbst (Juli/Okt.), x_3 ,
4. im hieran vorangehenden Jahr (Juli/Juni), x_4 .

Eine negative, nicht immer statistisch gesicherte Korrelation zwischen diesen Summen und den Erträgen wurde in allen Fällen festgestellt. Der nicht gesicherte Einfluß der vierten Periode wurde in einer wiederholten Berechnung außer Betracht gelassen; bei der Erbse wurden die Niederschlagssummen der zweiten und der dritten Periode zusammen genommen.

Das Ergebnis ist bei den Pflanzen ziemlich verschieden (Tab. 3). Ein bedeutender Teil der Ertragsschwankun-

gen bei der Erbse kann durch die Niederschlagssumme während der Wachstumsperiode erklärt werden. Der Einfluß der Niederschlagssumme in den 8 vorangehenden Monaten ist dagegen nur schwach gesichert. Im ganzen wird 66,6% der totalen Varianz durch die Niederschlagssummen in beiden Perioden erklärt.

Bei der Erbse wurde kein statistisch gesicherter Einfluß der Niederschlagssumme in der Wachstumsperiode ge-

funden. Der Einfluß der Niederschlagssumme in der vorangehenden Juli/Oktob-Periode ist dagegen statistisch gesichert und in den Wintermonaten November/Februar ist er ebenso deutlich, obwohl geringer gesichert. Im ganzen wird 38,3% der totalen Varianz durch die Niederschlagssummen erklärt. Weit aus der größte Teil kommt auf Rechnung der vorangehenden Perioden. Bei einem mittleren Ertrag des Hafers von 38,4 dt in der Zeitspanne 1919 bis 1941 ist der auf die trockensten Juli/Oktob-Periode folgende Ertrag um 6 dt höher als nach der feuchtesten. Für den Einfluß der Winterniederschläge wurde in dieser Weise ein Unterschied von 4,5 dt berechnet.

Der Weizen nimmt eine Mittelstelle ein. In allen untersuchten Perioden konnten statistisch gesicherte Einflüsse der Niederschläge festgestellt werden. Der Einfluß der Niederschlagssumme in der Wachstumsperiode ist am größten. Bei einem mittleren Ertrag von 30,4 dt ist der Ertrag in dem trockensten Frühjahr nach der Gleichung um 8,2 dt höher als in dem feuchtesten. Für die beiden anderen Perioden betragen die maximalen Unterschiede 3,9 bzw. 4,7 dt. Insgesamt konnte 70,0% der totalen Varianz durch die Niederschlagssummen in den drei Perioden erklärt werden.

Die Beispiele des Hafers und des Weizens zeigen, daß der Einfluß der Niederschläge in der vorangehenden Periode schwer gelegnet werden kann. Es ist wahrscheinlich, daß dieser Einfluß mittels des Bodens übertragen wird. Dieser Schluß ist aber bei dem Weizen nicht ganz einwandfrei, weil diese Kultur schon im Winter auf dem Felde steht und hohe Niederschläge in dieser Periode auch für die Entwicklung der Pflanze ungünstig gewesen sein können.

Hafer: $y = 51,8 - 0,0145 x_1 - 0,0211 x_2 - 0,0209 x_3$
 y = Ertrag (dt/ha)
 x_1 = Niederschlag (mm) 11-4/20-7
 x_2 = Niederschlag (mm) November/Februar (vorangehend)
 x_3 = Niederschlag (mm) Juli/Oktob (vorangehend)
 $b_0 = 51,8$ dt/ha
 $b_1 = -0,0145$ $S_{b_1} = 0,0154$ $t_{19} = 0,94$ $30\% < P < 60\%$
 $b_2 = -0,0211$ $S_{b_2} = 0,0117$ $t_{19} = 1,81$ $5\% < P < 10\%$
 $b_3 = -0,0209$ $S_{b_3} = 0,00963$ $t_{19} = 2,17$ $2\% < P < 5\%$

Erbse: $y = 47,4 - 0,0898 x_1 - 0,0116 x_{2+3}$
 x_1 = Niederschlag (mm) 11-4/20-7
 x_{2+3} = Niederschlag (mm) Juli/Februar (vorangehend)
 $b_0 = 47,4$ dt/ha
 $b_1 = -0,0898$ $S_{b_1} = 0,0166$ $t_{20} = 5,43$ $0\% < P < 0,1\%$
 $b_{2+3} = -0,0116$ $S_{b_{2+3}} = 0,0079$ $t_{20} = 1,47$ $10\% < P < 20\%$

Weizen $y = 48,4 - 0,050 x_1 - 0,019 x_2 - 0,015 x_3$
 x_1, x_2 und x_3 wie bei Hafer
 $b_0 = 48,4$ dt/ha
 $b_1 = -0,050$ $S_{b_1} = 0,0111$ $t_{19} = 4,56$ $0\% < P < 0,1\%$
 $b_2 = -0,019$ $S_{b_2} = 0,00638$ $t_{19} = 2,92$ $2\% < P < 5\%$
 $b_3 = -0,015$ $S_{b_3} = 0,00639$ $t_{19} = 2,17$ $2\% < P < 5\%$

gen bei der Erbse kann durch die Niederschlagssumme während der Wachstumsperiode erklärt werden. Der Einfluß der Niederschlagssumme in den 8 vorangehenden Monaten ist dagegen nur schwach gesichert. Im ganzen wird 66,6% der totalen Varianz durch die Niederschlagssummen in beiden Perioden erklärt.

Beim Hafer wurde kein statistisch gesicherter Einfluß der Niederschlagssumme in der Wachstumsperiode ge-

in der Wachstumsperiode ebenfalls große Bedeutung zukommt. Die Tatsache, daß dieser Einfluß bei Hafer nicht deutlich gefunden wurde, sagt wenig aus über die Empfindlichkeit dieser Pflanze gegenüber der Witterung während der Vegetation. Man kann nur schließen, daß die Niederschlagssumme für diese Pflanze wahrscheinlich ein wenig geeignetes Maß der Witterung ist.

Bei der Erbse ist der Einfluß der vorangehenden Periode, obwohl wahrscheinlich vorhanden, relativ ge-

Tabelle 3
Mehrfache Regressionsgleichung

ring im Vergleich mit denen der Niederschläge in der Vegetationszeit. Das Beispiel der Erbse zeigt, daß ein nur visueller Vergleich zwischen Niederschlagskurven und dem Verlauf der Erträge tatsächlich nicht immer genügen wird, den Einfluß der vorangehenden Periode mit der erwünschten Sicherheit zu beweisen.

Zusammenfassung

An Hand von Beispielen wird gezeigt, daß die Größe von wichtigen ertragsbedingenden Bodenfaktoren von der Witterung in vorangehenden Perioden bedingt ist. Letztere beeinflußt die Erträge ungünstig mittels einer Änderung der Bodenzustände.

Der bisher mittels Kurvenvergleich geführte Beweis eines solchen Zusammenhanges wurde mathematisch bestätigt. Statistisch völlig gesicherte negative Zusammenhänge zwischen Niederschlagssummen in vorangehenden Perioden und Erträge bzw. Ertragssteigerungen oder Ertragserniedrigungen konnten festgestellt werden. Ebenso sind auf Versuchsfeldern gefundene Schwankungen des pH des Bodens positiv korreliert mit den Niederschlägen in vorangehenden Perioden. Mehrfache Regressionsanalysen zeigen bei Hafer einen statistisch gesicherten negativen Einfluß ($2\% < P < 5\%$) der Niederschlagssumme in der vorangehenden Juli/Oktobeperiode und einen weniger gesicherten ($5\% < P < 10\%$) in der Winterperiode. Bei Erbse überwiegt der negative Einfluß der Niederschläge während der Wachstumsperiode und der negative Einfluß der Niederschläge in der vorangehenden Juli/Februar-Periode ist nur schwach gesichert ($10\% < P < 20\%$).

Bei Weizen konnten statistisch gesicherte negative Einflüsse beider vorangehenden Perioden festgestellt werden ($2\% < P < 5\%$). Der negative Einfluß der Niederschläge während der Wachstumsperiode war aber stärker.

Im letzten Fall konnte 70,0% der totalen Varianz der Erträge durch die Niederschlagssummen erklärt werden; bei Hafer und Erbse 38,3 bzw. 66,6%.

Literatur

- [1] *Boekel, P.*, Soil structure and plant growth. Neth. J. Agric. Sci., 11, 120–127, 1963.

- [2] —, The effect of organic matter on the structure of clay soil. Neth. J. Agric. Sci., 11, 250–263, 1963.
- [3] *Hoffmann, E.*, und *E. Bahn*, Die Auswertung langjähriger Reihen von Feldversuchserträgen in Verbindung mit agrarmeteorologischen Daten. 1. Mitt. Landw. Versuchs-Unters.wesen, 10, 207–232, 1964.
- [4] —, und —, 2. Mitt. Ibid., 10, 283–309, 1964.
- [5] —, und —, 3. Mitt., Albrecht-Thaer-Archiv, 9, 465–494, 1965.
- [6] *Paauw, F. van der*, Anpassung der Düngung an die Witterungsverhältnisse. Vortragsveröff. 2. und 4. Komm. d. I.B.G., Hamburg 77–82, 1958.
- [7] —, Effect of winter rainfall on the amount of nitrogen available to crops. Plant a. Soil, 16, 361–380, 1962.
- [8] —, 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.
- [9] —, Wetterabhängigkeit der Bodenfruchtbarkeit. Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkd., 108, 129–137, 1965.
- [10] —, Voraussage des Düngerbedarfs und des Ertrags auf Grund von Witterung und Bodenfruchtbarkeit. Landw. Forsch. S. II., 20, 97–105, 1966.
- [11] —, Role of the organic cycle in fluctuations of crop yield. Trans. Comm. II and IV Int. Soc. Soil Sci. Aberdeen, 125–129, 1966.
- [12] —, Einfluß der Niederschläge auf die Höhe der Stickstoffdüngung. Der Stickstoff, 5, 23–32, 1967.
- [13] —, Dependence of available nitrogen on the distribution of rainfall. Nitrogen, (Frühjahr 1968) In Druck.
- [14] *Peerkamp, P. K.*, A visual method of soil structure evaluation. Meded. Landbouwhogeschool e.d. Opzoekingsstations v.d. Staat te Gent, 24, 216–221, 1959.

Anschrift des Verfassers:

Dr. F. van der Paauw
Institut für Bodenfruchtbarkeit
Groningen / Niederlande
van Hallstraat 3