S.13869

Landbouwproefstation en
Bodemkundig Instituut T.N.O.
Van Hallstraat 3, GRONINGEN

OVERDRUK
UIT HET LANDBOUWKUNDIG TIJDSCHRIFT, MAANDBLAD VAN HET NED. GENOOTSCHAP VOOR LANDBOUWWETENSCHAP.
51ste JAARGANG No. 630 OCTOBER 1939

Opbrengstcurven en opbrengstwetten; de wisselwerking der groeifactoren *)

door
Prof. Dr. O. DE VRIES.

Yield curves and yield laws; the interaction of growth factors.
Summary on page 762.

Wanneer men den invloed van een groeifactor op den groei en de opbrengst van het gewas bestudeert, is het van belang een serie van hoeveelheden te kiezen, zoodanig dat zoowel een ernstig te kort als de maximale opbrengst behoorlijk kunnen worden vastgesteld. Het aantal veldjes of potten wordt daardoor vrij groot; men beperkt zich daarom meestal tot het bestudeeren van slechts één groeifactor. Het is evenwel bekend dat de groeifactoren onderling een zekeren invloed op elkaar hebben; om hun beteekenis voor den groei van het gewas goed te begrijpen, moet men ook hun wisselwerking kennen; pas daardoor krijgt men de juiste basis voor de bemestingswijze en de bemestingsadviezen.

Een wisselwerking tusschen de groeifactoren is ook uit de practijk goed bekend. Wanneer men op de zware gronden kalkt, is het dikwijls alsof men eene stikstofwerking waarneemt; de practijk komt op zware gronden in goeden kalktoestand en in goede structuur met minder stikstof uit, en meent op kalkarme plekken of bij slechte structuur het gewas te moeten helpen door wat meer stikstof te geven. Er lijkt dus een wisselwerking te zijn tusschen deze twee groeifactoren, en wel zoo dat bij hooger kalkniveau (beter basentoestand) of bij beter structuur een stikstoftekort minder sterk werkt, terwijl dit bij lager kalkniveau een veel grooter effect op gewas en opbrengst heeft.

Evenzoo neemt men wel aan dat op ijzerhoudende gronden een bekalking de fosfaatwerking bevordert, dus dat fosfaattekort bij hooger kalkniveau minder nadeel geeft.

Aan den anderen kant zegt de kalk-kaliwet van P. Ehrenberg, dat bekalken de kali-opname door het gewas terugdringt en dat bij een hooger kalkniveau een beginnend kali-tekort ernstiger gevolgen kan hebben. Zoo zijn er ook gevallen, waarin men aanneemt, dat bekalken de oplosbaarheid en de werkzaamheid van het fosfaat terugdringt en dus in omgekeerden zin werkt als boven bedoeld. In deze beide laatste gevallen dus: bij hooger voedingsniveau een *sterker* effect van een minder goede voorziening met een andere voedingsstof.

Welbekend is ook dat men, bij opvoeren van de stikstofbemesting, goed doet door ook de kali- en fosfaatbemesting te vergrooten, en dat men — wat op hetzelfde neerkomt — op een kaliarmen grond het kali-gebrek bij de gewassen duidelijker te voorschijn kan laten treden door flink met stikstof en fosfaat te mesten. Hier vindt men dus bij hooger voedingsniveau een grooter effect van een minder goede voorziening met een andere voedingsstof.

*) Voordracht gehouden op 26 Juni 1939 te Wageningen tijdens de 10e Ned. Landbouwweek voor het Ned. Genootschap voor Landbouwwetenschap.

Bij tal van verschijnselen kent men zulke wisselwerkingen tusschen groeifactoren. Bemesting met stalmest — in het algemeen een hooger vruchtbaarheidsniveau — neemt de bezwaren van een lage pH grootendeels of geheel weg; zoo kwam *W. C. Visser* 1) bij een samenvattende studie van roggeproefvelden in ons land tot de conclusie dat, terwijl in zeer gunstige gevallen bij een pH van 4.6 tot 4.8 nog maximale opbrengsten worden verkregen, men in ongunstige omstandigheden de pH tot 6 of hooger dient op te voeren, wil men een zoo goed mogelijke opbrengst krijgen. Die gunstige of ongunstige omstandigheden kunnen dan de vruchtbaarheidstoestand van den grond zijn, maar ook de weersomstandigheden in verschillende jaren bij hetzelfde veld.

Dat er een wisselwerking tusschen de verschillende groeifactoren zal zijn, is trouwens wel zonder meer duidelijk; dat men bij de bemesting — ruimer genomen, bij de plantenvoeding; nog ruimer genomen, bij de reactie van het gewas op de milieu-omstandigheden — er niet komt door het effect van één factor, b.v. de kalibemesting, op zich zelf te bestudeeren, zal iedereen wel inzien, ook al beperkt men zich bij de veldproeven meestal nog tot een opzet, waarbij slechts één groeifactor naar hoeveelheid of soort gevarieerd wordt. Combinatie-proeven, met verschillende groeifactoren in serie [32]), brengen een veel uitvoeriger opzet mee en stellen veel hooger eischen aan de behandeling en verzorging, zoodat lang niet alle proefnemers zich daarmee bezig kunnen houden; toch zal men meer en meer die richting uit moeten gaan, wil men met de problemen van plantenvoeding en plantengroei verder komen.

Wij willen in het volgende aan de wisselwerking tusschen de groeifactoren eenige beschouwingen wijden, en de beteekenis daarvan voor den groei en de opbrengst der gewassen nagaan.

J. von Liebig's wet van het minimum.

Een van de oudste opbrengstwetten — een, waarvan ook thans, nu wij de beperkte beteekenis ervan reeds lang kennen, nog altijd eene zekere bekoring uitgaat en die nog gaarne aangehaald wordt — is de wet van het minimum van *J. von Liebig* [2]), waarbij de wisselwerking tusschen de groeifactoren (juister: de voedingsbestanddeelen) duidelijk en scherp geformuleerd werd. Blijkbaar stond den scheikundige Liebig daarbij een chemische reactie voor den geest. Voedingsstof A verbindt zich in vaste verhouding met andere voedingsstoffen tot een verbinding, die voor het plantenleven noodig is; is er van A relatief het minste aanwezig, dan wordt een toegevoegde hoeveelheid A geheel verbruikt met de daarbij behoorende hoeveelheden B, C enz., en dit gaat bij stijgende giften A zoo door, totdat een van de andere stoffen opgebruikt is. Deze raakt dan in het minimum; verdere toediening van A heeft geen effect, A blijft onverbruikt omdat er geen B meer is en de verbinding dus niet gevormd kan worden. Grafisch kan men dit voorstellen als in Fig. 1, waarin het gedeelte FG de opbrengst aangeeft bij toenemende hoeveelheid W, evenredig stijgende met deze hoeveelheid, terwijl bij G een andere voedingsstof W_2 opraakt en de opbrengst gaat beheerschen, die bij verder toenemen van W horizontaal blijft loopen (GH). Was er meer W_2 aanwezig, dan zou G' bereikt zijn en de opbrengst volgens FG'H' verloopen.

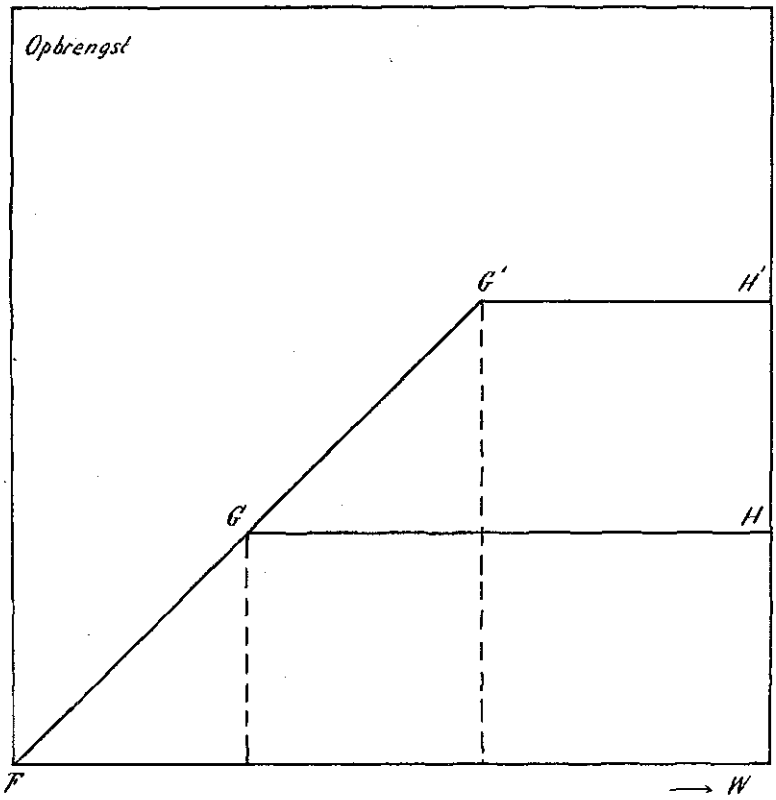

Fig. 1.

Opbrengstcurve volgens de wet van Liebig. FG: de opbrengst neemt toe evenredig met de toegevoegde voedingsstof W, die in het minimum verkeert. GH: een andere groeifactor W_2 is in het minimum geraakt, verdere toevoeging van W verhoogt de opbrengst niet. G'H': hetzelfde bij een hooger niveau van W_2 (of bij in het minimum raken van een anderen groeifactor als er voldoende W_2 is).

Yield curve according to Liebig's law. FG: the yield increases in proportion to the amount that is added of growth factor W, which is in minimum. GH: another growth factor W_2 is used up by the increase of W; further additions of W give no increase in yield. G'H': the same for a higher level of W_2 (or when another growth factor gets in minimum position).

G. Liebscher's wet van het optimum.

Bij de eerste, groote triomfen, die de chemie in de landbouwwetenschap vierde door de leer van Liebig, kon men echter niet blijven staan. In de chemie zelve zag de chemische verbinding volgens enkelvoudige verhoudingen naast zich de adsorptieverbindingen komen; Fig. 2 en 3 illustreeren hoe, naast de scherp gedefinieerde lijnen voor de dampspanning bij chemische verbindingen, er de adsorptiekrommen uit de colloidchemie kwamen. In de uit colloiden opgebouwde plantenwereld bleken gecompliceerder verhoudingen te heerschen dan Liebig zich gedacht had; reeds spoedig formuleerde *G. Liebscher* zijn „wet van het optimum" als noodzakelijke aanvulling en verbetering van Liebig's wet van het minimum, en bracht daarin tot uitdrukking dat „de plant den in het minimum verkeerenden productiefactor tot des te grooter

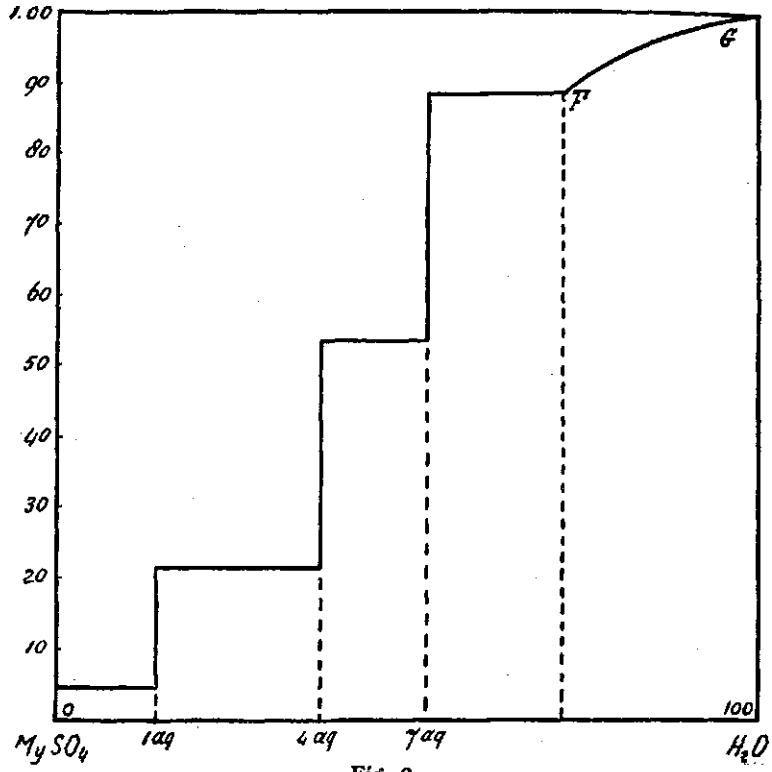

Fig. 2.

Waterdampspanning bij chemische verbindingen, die de wet der constante samenstelling volgen: systeem $MgSO_4$-H_2O. Wanneer het percentage water in h t systeem vergroot wordt, blijft de dampspanning constant bij den evenwichtsdruk $MgSO_4$—$MgSO_4.H_2O$, totdat de vaste phase geheel in $MgSO_4.H_2O$ is omgezet. Zij stijgt dan tot de hoogere evenwichtsdruk $MgSO_4.H_2O$ — $MgSo_4.4H_2O$ enz. F: verzadigde oplossing. FG: wat rdampspanning van onverzadigde oplossingen. In omgekeerde richting wordt dezelfde lijn gevolgd.

Vapour pressure relations for a chemical substance, following the law of constant proportions: system $MgSO_4$-H_2O. Increasing the percentage of H_2O in the system, the vapour pressure remains constant until the composition $MgSO_4$. 1 aq is reached. It then rises to the equilibrium value for $MgSO_4$. 1 aq and $MgSO_4.4aq$ and remains constant till the ratio $MgSO_4.4H_2O$ is reached, etc. F: saturated solution; FG: vapour pressure for unsaturated solutions. The same line is followed in changes in the opposite direction.

opbrengst kan gebruiken, hoe meer de andere productiefactoren zich voor haar in het optimum bevinden". Zijn standpunt was dat „de hoogte van de opbrengst mede bepaald wordt door den in het minimum voorhanden productiefactor, maar dat gunstige of ongunstige andere productiefactoren van even groote beteekenis zijn voor den plantengroei en het eindresultaat daarvan, de grootte van den oogst".

Dit wordt grafisch weergegeven door het onderste deel van Fig. 4, waar de groeifactor W, bij gunstiger niveau van een anderen groeifactor, niet een opbrengst naar FG maar een hoogere, b.v. naar FK, geeft.

Men zou nu deze, ongetwijfeld juistere, redeneering van Liebscher ook kunnen toepassen bij het afnemen van de maximale

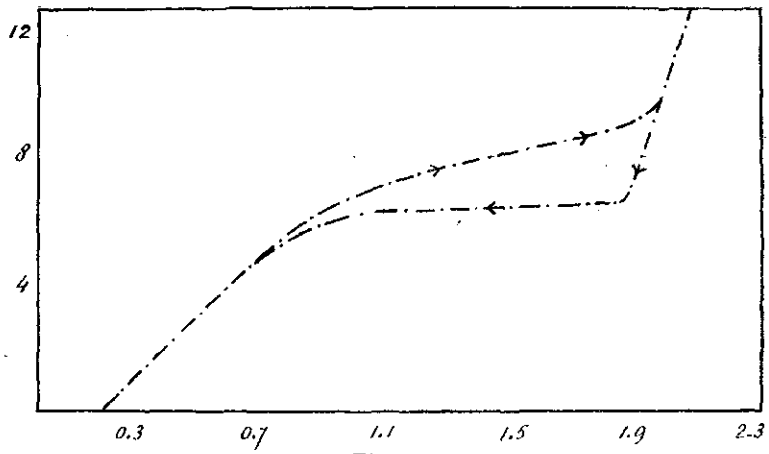

Fig. 3.

Waterdampspanning in een colloidaal systeem: kiezelzuur-water, dat de wetten der adsorptieverbindingen volgt [3]). De waterdampspanning verandert geleidelijk met de verandering in samenstelling van het complex. In omgekeerde richting wordt een andere curve gevolgd (hysteresis).

Vapour pressure in a colloidal system: silica gel-water, following the laws of adsorption [3]). The vapour pressure changes gradually with the composition of the system. In inverse direction another curve is followed (hysteresis).

productie door het verminderen van een groeifactor W_{II} : de maximale productie G'H' zou, indien andere groeifactoren gunstiger zijn, niet dalen tot een opbrengstlijn G'G'', maar tot b.v. G'K''. En de lijnen FK en K''G' verbonden denkende, komt men dan al haast vanzelf tot een opbrengstcurve, zooals wij die in het volgende geregeld zullen tegenkomen.

E. A. Mitscherlich's werkingswet der groeifactoren.

Deze overgang van de rechte stijgende lijn, die men zich oorspronkelijk dacht, en die in bepaalde gevallen ook inderdaad voorkomt, tot de meer algemeen geldende opbrengst*curve*, ontwikkelde zich uit talrijke onderzoekingen en beschouwingen, die wij hier niet op den voet kunnen volgen; de gebogen opbrengstcurve werd zeer bewust voorgesteld door *E. A. Mitscherlich,* wiens opbrengstwet wij, met voorbijgaan van verschillende andere, nu naast de vorige zullen stellen. *Mitscherlich* ging uit van de algemeene groeiwet $\frac{dy}{dx} = C\ (A-y)$, d.w.z. de toename in groei (hier: opbrengst) y bij toename van den groeifactor x is evenredig met wat er ontbreekt aan de onder de gegeven omstandigheden maximaal bereikbare opbrengst; de uitwerking van een toename van den groeifactor x wordt dus kleiner, naarmate men dat maximum nadert. Deze algemeene wet voor landbouwkundige opbrengstcurven nader uitwerkende kwam *Mitscherlich* tezamen met *H. Baule* [5]) tot de formuleering $\log (A-y) = \log A - c\ (x + b)$ waarop hij zijne verdere onderzoekingen gebaseerd heeft en waarin A de onder de gegeven omstandigheden maximale opbrengst is, b de „voorraad", die aanwezig is (b.v. in den grond) van den groeifactor x, dien men bestudeert, en c de werkingsfactor van dezen groeifactor. *Mitscherlich* kwam nu tot de conclusie, dat elke groeifactor een

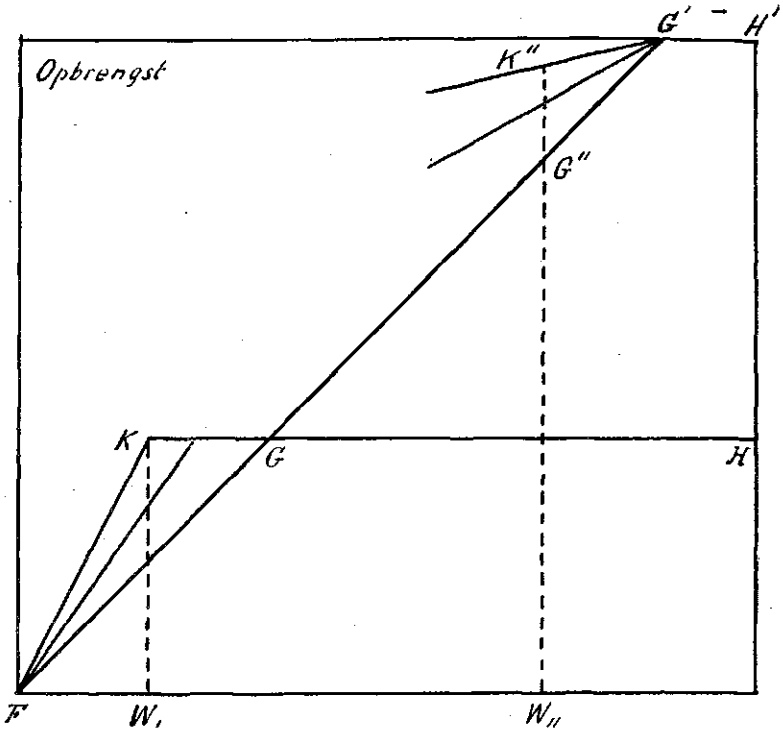

Fig. 4.

Onderste gedeelte: opbrengstcurven volgens de wet van het optimum van G. Liebscher [4]). Bij toename van groeifactor W_1 volgt de opbrengst niet altijd de lijn FG, maar kan door wijziging van andere groeifactoren verhoogd worden, b.v. tot FK. Op overeenkomstige wijze kan men aannemen dat de maximale opbrengst H'G' door afname van W_{II} niet altijd volgens G'G'' afneemt, maar — bij gunstige verdere factoren — minder, b.v. volgens G'K''.

Lower part: yield curves according to the law of the optimum of G. Liebscher [4]). An increase of growth factor W_1 does not always give an increase in yield according to FG: by changes in other growth factors the yield may increase more, for instance according to FK. In a similar way it may be assumed that the maximum yield H'G' may decrease, by decreasing W_{II} according to G'G'', and less so under more favourable circumstances (other growth factors), for instance according to G'K''.

bepaalde, constante c heeft, en baseerde op dit „Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren" zijne methode om de mestbehoefte van den grond met potproeven te bepalen. Voor het hier te bespreken onderwerp is van belang dat, wanneer c constant is, de opbrengstcurven den in Fig. 5 afgebeelden, regelmatig samenhangenden vorm aannemen, waarbij de opbrengst y bij een bepaalde hoeveelheid van den onderzochten groeifactor x steeds een vast gedeelte van de maximaal mogelijke opbrengst A is. Zoo b.v. zijn bij x = 1 in Fig. 5, alle y's (bij verschillend niveau van een anderen groeifactor, of de andere groeifactoren) 50% van de betreffende A; bij x = 3 zijn zij 90%. Dit wordt in woorden gebracht als de „onderlinge onafhankelijkheid der groeifactoren", die bij een bepaalde doseering een zeker percentage van de maximale opbrengst geven, onverschillig hoe groot de voorraad van de overige groeifactoren, en daarmee de absolute grootte van de maximale opbrengst A is.

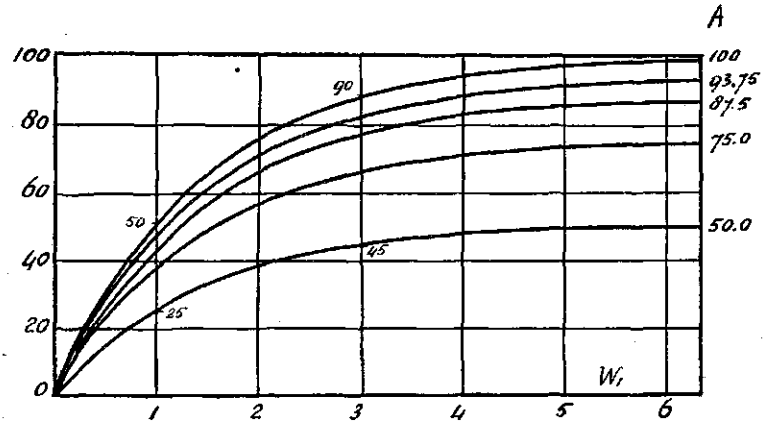

Fig. 5.
Opbrengstcurven volgens de wet van Mitscherlich-Baule [5]), voor verschillende maximale opbrengsten A. Bij x = 1 zijn de opbrengsten 50 %, bij x = 3 zijn zij 90 % van A, onafhankelijk van het vruchtbaarheidsniveau, dat de andere groeifactoren veroorzaken.

Yield curves according to Mitscherlich-Baule's law [5]), for different maximum yield A. When x = 1, the yields are all 50 %, when x = 3 they are 90 % of A, independent of the fertility level caused by other growth factors.

Gevallen, die van Mitscherlich's wet afweken.

Deze wet van Mitscherlich is in de algemeene belangstelling komen te staan door de uitgebreide onderzoekingen, die Mitscherlich met zijne medewerkers op dit gebied deed, en door het gebruik dat Mitscherlich van zijn wet maakt bij zijne methode om de vruchtbaarheid van den grond door potproeven te bepalen. Tegenover de hardnekkige en enthousiaste verdediging door Mitscherlich en zijn school stond echter bestrijding van vele zijden, waarbij men de constantheid der werkingsfactoren en de geldigheid van de werkingswet ontkende.

Van beteekenis was daarbij het in Fig. 6 afgebeelde, nauwkeurige onderzoek van *Rippel, Estor* en *Meijer* [6]), waarbij met zekerheid werd vastgesteld dat, bij een potproef met haver, opklimmende hoeveelheden kali bij twee verschillende stikstofniveau's (0.2 resp. 2 gr NH_4NO_3 per pot) opbrengstcurven gaven, die de werkingswet der groeifactoren niet volgden. De linkerhelft van Fig. 6 geeft de opbrengsten in grammen per pot; het maximum van de hoogere curven ligt zonder twijfel niet verticaal boven dat van de lagere, doch meer naar rechts. De rechterhelft van Fig. 6 vertoont dezelfde curven na omrekening op een maximale opbrengst = 100; zij vallen niet samen, zooals dat bij Mitscherlich-curven zou behooren, en het verschil in ligging der maxima is duidelijk en boven twijfel verheven. De c-waarden zijn dan ook geenszins dezelfde, en werden berekend op 1.91 resp. 1.02 (dus lagere c bij hooger opbrengstniveau).

Ook een potproef met haver van *Kletschkowsky & Shelesnow* [7]) gaf voor opklimmende stikstofgiften bij verschillende fosfaatniveau's een serie opbrengstcurven (zie Fig. 7), die de werkingswet van Mitscherlich niet volgden: bij hooger gelegen curven verplaatste het maximum zich naar rechts; de uit de formule van Mitscherlich berekende c-waarden waren niet constant en daalden

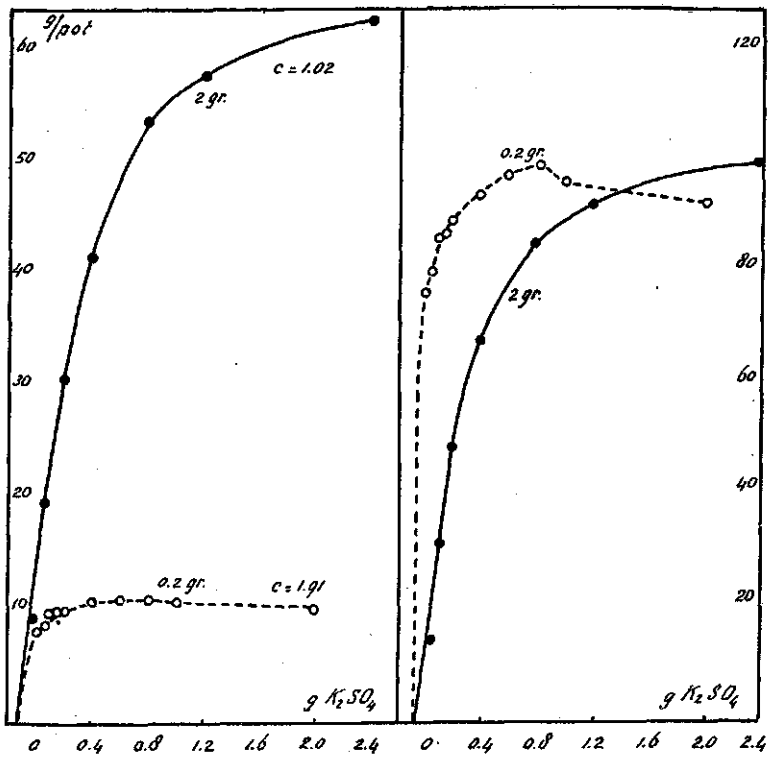

Fig. 6.

Potproei met haver en opklimmende hoeveelheden kali bij twee stikstoftrappen (0.2 res. 2.0 gr NH_4NO_3) van Rippel, Estor & Meijer [6]). Links absolute opbrengst haver in gr. per pot; rechts omgerekend op een maximale opbrengst = 100. De maxima vallen niet samen; de c-waarden verschillen (1.91 resp. 1.02).

Pot experiment with oats and increasing amounts of potassium at two nitrogen levels (0.2 and 2.0 gr ammonium nitrate respectively) by Rippel, Estor & Meijer [6]). Left part: yield in gr per pot; right part recalculated for a maximum yield = 100. The maximum yields are not found at the same value of the abscissa, as postulated by Mitscherlich's Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren, and the c-values are distinctly different (1.91 and 1.02 respectively).

zelfs van 4.28 tot 0.43. In hun eerste, stijgende gedeelte zijn de curven ongeveer rechtlijnig en vallen zij nagenoeg samen; de lager gelegen curven geven een vrijwel vlak verloopend maximum, en het stel lijnen sluit zich, althans in het onderste gedeelte van Fig. 7, vrij goed aan bij de figuur van Liebig (Fig. 1) en zeker niet bij een stel curven volgens Mitscherlich (Fig. 5).

Wij zullen hier geen overzicht geven van de voorbeelden, die bij de levendige discussies over dit onderwerp verder zijn aangevoerd; een goede samenvatting daarvan is door *Rippel* [8]) gegeven. Ook in *Mitscherlich's* instituut werden, bij zeer breed opgezette onderzoekingen van later jaren, dergelijke resultaten verkregen. Fig. 8 b.v. is ontleend aan een van de uitgebreide onderzoekingen van *Mitscherlich, v. Boguslawski* en *Gutmann* [9]), waarbij o.a. N, P en K in lange series, zoowel combinaties van twee als alle drie gecombineerd, onderzocht werden, dus zeer uitgebreide

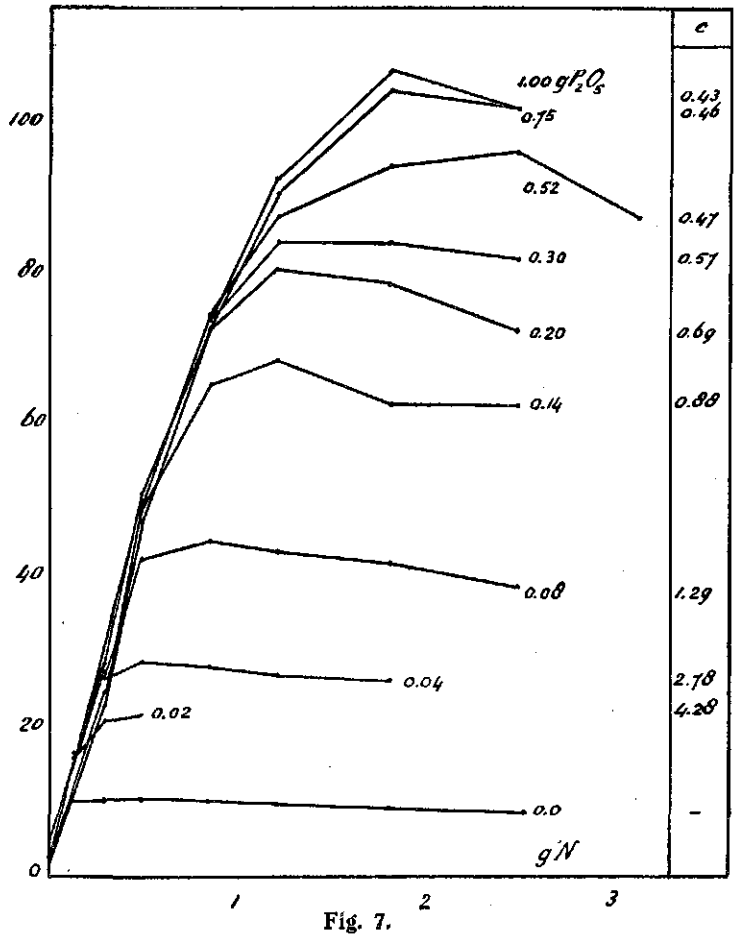

Fig. 7.

Potproef met haver door Kletschkowsky en Shelesnow [7]; stijgende N-giften bij verschillende fosfaatniveau's. Het maximum verplaatst zich bij hooger fosfaatniveau duidelijk naar rechts, de curven geven een beeld dat zich, althans in het onderste gedeelte, bij het schema volgens Liebig (fig. 1) vrij nauw aansluit.

Pot experiment with oats bij Kletschkowsky and Shelesnow [7], with increasing amounts of nitrogen at different phosphate levels. The maximum shifts to the rigt at higher phosphate level; the lower part of the figure approaches the picture in fig. 1 for Liebig's law.

potproeven, waarbij prachtige stellen opbrengstcurven werden verkregen. Fig. 8 geeft slechts een gedeelte (de lagere hoeveelheden) van een combinatieproef met P en K, en wel in afgeronde curven, zooals de schrijvers zelve die afbeelden (hun Fig. 14 op blz. 61): een maximumverschuiving naar rechts is ook hier onmiskenbaar, en zoo is het bij vrijwel alle proeven in deze publicatie.

Ook bij andere groeifactoren dan combinaties van N, P en K komt men dergelijke uitkomsten tegen. Als voorbeeld vertoont Fig. 9 een in het Königsberger instituut door *A. Lange* [10]) met haver uitgevoerd onderzoek, waarbij het zand in de potten op verschillende watercapaciteit werd gehouden. Bij de kleinste hoeveelheid water werken de grootere stikstofgiften schadelijk en geven deze een opbrengstdepressie; blijkbaar verdroegen de planten de

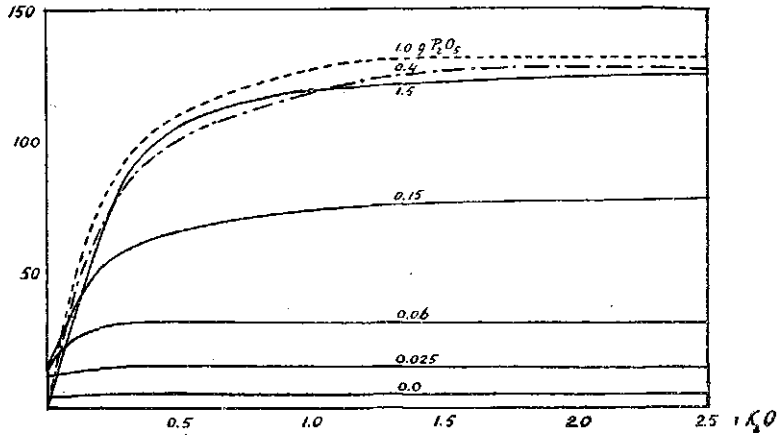

Fig. 8.

Opbrengstcurven voor haver in zandcultuur bij stijgende kaligiften en verschillende fosfaatniveau's; afgeronde curven, zooals gepubliceerd door Mitscherlich, v. Boguslawski & Gutmann [9]). Maximumverschuiving naar rechts.

Yield curves for oats in sand culture, for increasing amounts of potassium at different phosphate levels. Approximate, rounded off curves as published by Mitscherlich, v. Boguslawski and Gutmann [3]). Maximum shifts to the right.

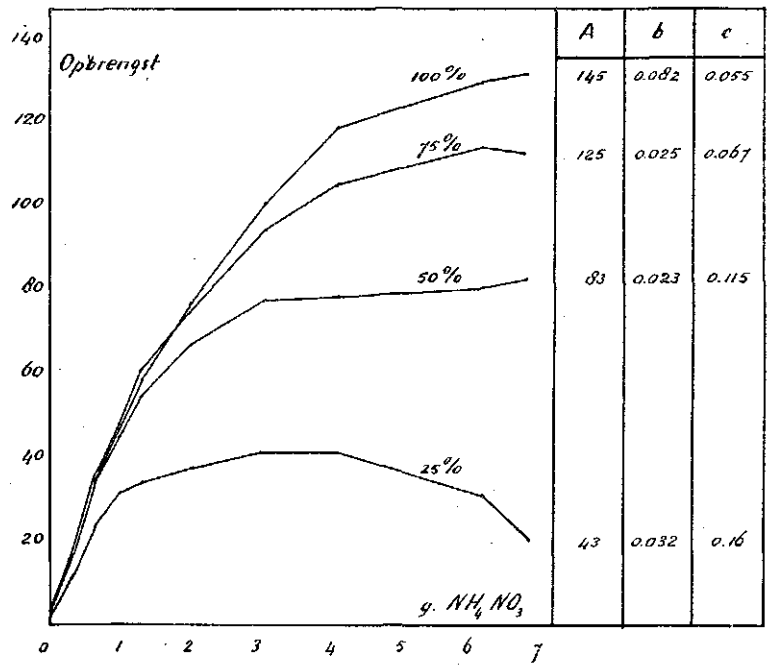

Fig. 9.

Maximumverschuiving naar rechts bij verschillend waterniveau (25—100 % van de watercapaciteit) en opklimmende stikstofgiften. Opbrengstdepressie door hoogere stikstofgiften bij weinig water. Rechts de door A. Lange [10]) berekende parameters voor de formule van Mitscherlich.

Example of another combination of growth factors: oats in sand culture grown at four different water levels (25—100 % of the water capacity) and with increasing doses of nitrogen. Yield depression by higher doses of ammonium nitrate at the lowest water level. Maximum shifts to the right. The parameters for the Mitscherlich formula, calculated by the author A. Lange [10]), are added, showing irregular changes in *b* and a marked decrease in *c* at higher levels.

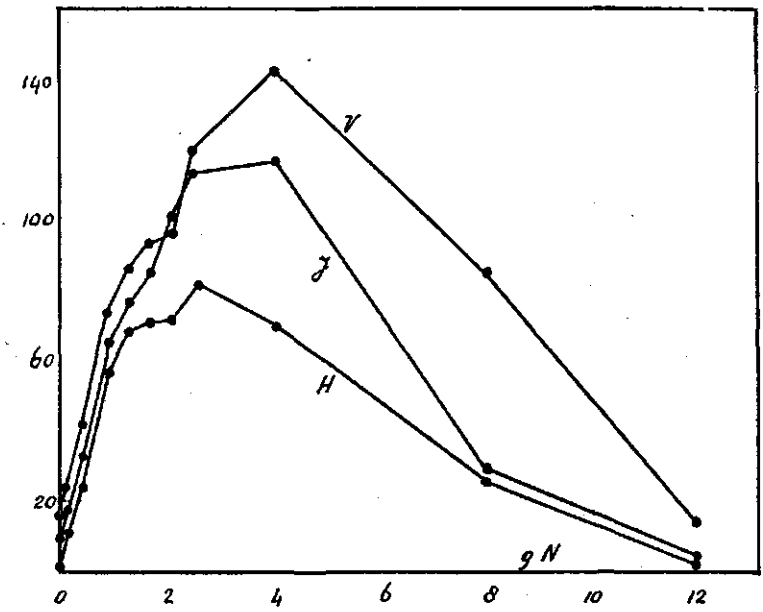

Fig. 10.

Maximumverschuiving naar rechts bij een potproef met haver in drie verschillende grondsoorten: H zuiver kwartszand uit Hohenbocka, J zandgrond uit Juditten, V veengrond.

Displacement of the maximum to the right for oats in pots with different kinds of soil: H = pure quartz sand from Hohenbocka, J = sandy soil from Juditten, V = peaty soil (highest water capacity), according to Mitscherlich, v. Boguslawski and Gutmann [11].

hoogere concentratie aan ammoniumnitraat niet goed. Bij ruimere watervoorziening is eene verschuiving van het maximum naar rechts weer niet te miskennen. De door *Lange* volgens de formule van Mitscherlich-Baule berekende parameters zijn tevens in Fig. 9 aangegeven; b blijkt niet constant te zijn en verandert onregelmatig, c neemt naar hooger opbrengstniveau's weer regelmatig en duidelijk af *).

Fig. 10 betreft een verwant geval, waarbij in een potproef met drie grondsoorten (zuiver kwartszand, zandgrond en veengrond) de vruchtbaarste en meest waterhoudende een hooger, duidelijk naar rechts verplaatst maximum vertoonde bij stijgende stikstofgiften 11).

Deze voorbeelden hadden alle betrekking op potproeven. Ook bij *veldproeven* treft men echter soortgelijke verhoudingen aan. Fig. 11 geeft een voorbeeld, ontleend aan een proefveld van *F. van der Paauw* (Pr 448 te Midlaren), waar opklimmende stikstofhoeveelheden (toegediend in het voorjaar) bij rogge de maximum opbrengst pas bij hooger stikstofgift teweegbrachten, wanneer met

*) Een reeks van zeer goede voorbeelden vindt men verder in de Koningsberger dissertatie van S. Landeck, *„Wechselwirkung von Kali und Stickstoff in der Ertragsbildung und Nährstoffaufnahme von Wiesenschwingel (1937)"*, waarbij voor veldbeemdgras (Festuca pratensis) in zandcultuur, bij bemesting in verschillende porties en bij verschillend aantal sneden, de series curven steeds een maximumverschuiving naar rechts vertoonen. Zie het voorbeeld in Bodenk. und Pflanzenern. 14 (1939) 3.

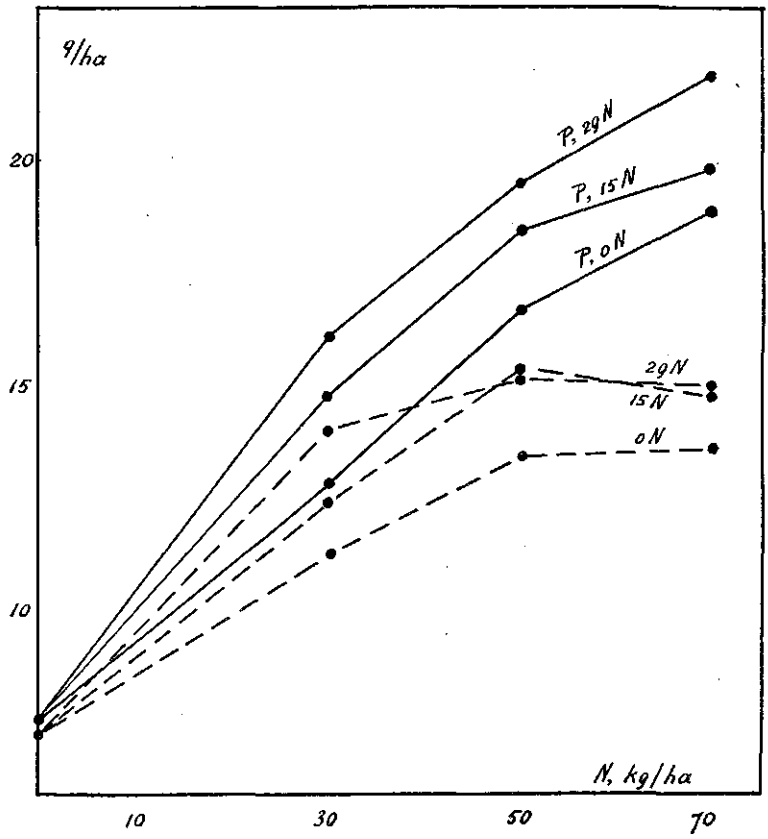

Fig. 11.

Proefveld Pr 448 te Midlaren, rogge-opbrengst in 1938 bij opklimmende stikstofgiften in het voorjaar, voor veldjes die geen en veldjes die wel fosfaat gekregen hadden (van beide drie voorbeelden, met verschillende stikstofbemesting in het najaar). Bij „met fosfaat" ligt het maximum meer naar rechts.

Yields of rye on an experiment field with increasing amounts of nitrogen, given in the spring, and for plots with and without phosphate (three cases each, with different amounts of nitrogen given in the autumn). Phosphate gives higher yields and a maximum more to the right.

fosfaat bemest was. Iets dergelijks ziet men in Fig. 12 voor Triumf-aardappelen in 1937 op het fosfaat-kali-proefveld OO 51 te Markelo, bij opklimmende kalibemesting en drie fosfaattrappen [12]).

In al deze gevallen bleek dus het opbrengstmaximum niet, zooals de werkingswet der groeifactoren van Mitscherlich dat eischt en Fig. 5 dat toont, bij dezelfde waarde van de abscis te vallen onafhankelijk van de verdere groeivoorwaarden: het maximum verplaatste zich bij hooger opbrengstniveau's naar rechts en vertoonde dus meer het beeld van Liebig's wet (Fig. 1). Bij de studie van opbrengstcurven van verschillende proefvelden vonden wij nu echter aanwijzingen, dat ook nog andere gevallen kunnen voorkomen, waarbij het maximum vlakker is en zich meer naar links uitstrekt. Duidelijke voorbeelden bleken, bij de destijds voorhanden proefvelden, niet makkelijk te verkrijgen; een eerste, schijnbaar goed sprekend geval [13]) bleek bij critische beschouwing niet over-

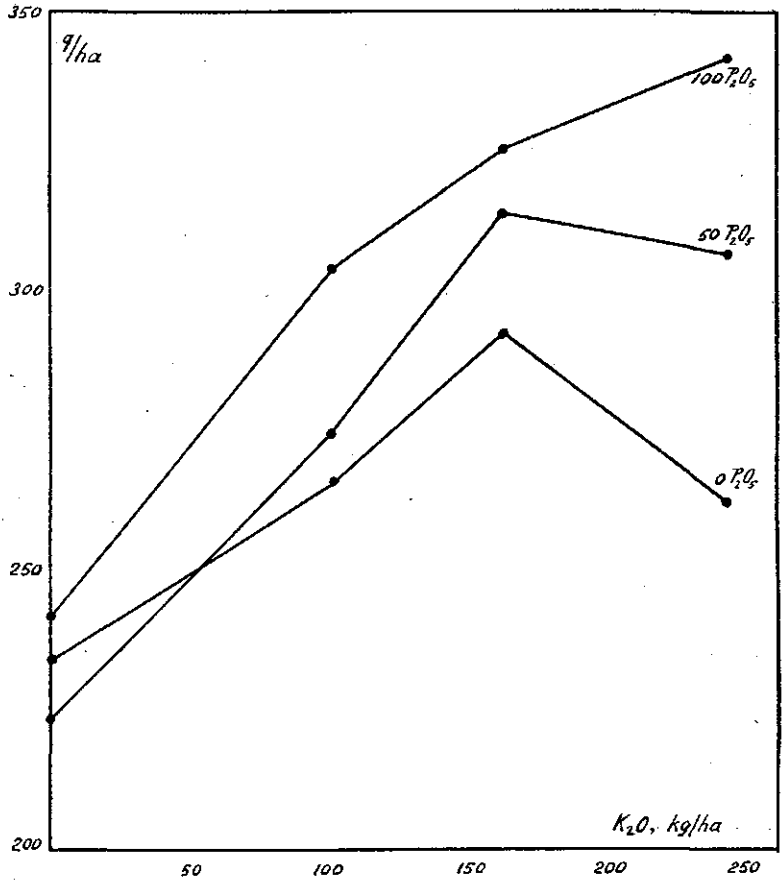

Fig. 12.

Aardappelopbrengst op proefveld 00 51 te Markelo [12]) bij stijgende kaligiften en drie fosfaatniveau's. Maximumverplaatsing naar rechts bij hooger fosfaatniveau.

Yield of potatoes on an experimental field at Markelo, for increasing amounts of potassium and three phosphate levels. Maximum shifts to the right.

tuigend *) en pas een samenvattende bewerking van *W. C. Visser* [14]) bracht klaarheid door duidelijke en bewijzende voorbeelden voor een vijftal gewassen, waarbij zich een verder voorbeeld voor rogge van *P. Bruin* [15]) voegde, terwijl *F. van der Paauw* [16]) een methode uitwerkte waarmede hij de resultaten van de „algemeene bemestingsproefvelden" te Sappemeer (Pr 8) en te Borger Compagnie (Z.Gr. 1) bestudeerde en aantoonde dat daarbij verschillende gevallen voorkomen, die hij uitvoerig besprak. Van de in deze verhandelingen gegeven voorbeelden en afbeeldingen wordt er hier één als voorbeeld herhaald (Fig. 13).

---

*) Opklimmende bekalking bij verschillende fosfaattrappen op heideontginning. Het fosfaat was als monocalciumfosfaat gegeven; zette men de opbrengsten niet naar $CaCO_3$-gift (pH), maar naar totaal gegeven kalk uit, dan strekten de vlakkere opbrengstcurven bij de hoogere fosfaattrappen zich niet meer duidelijk naar links uit.

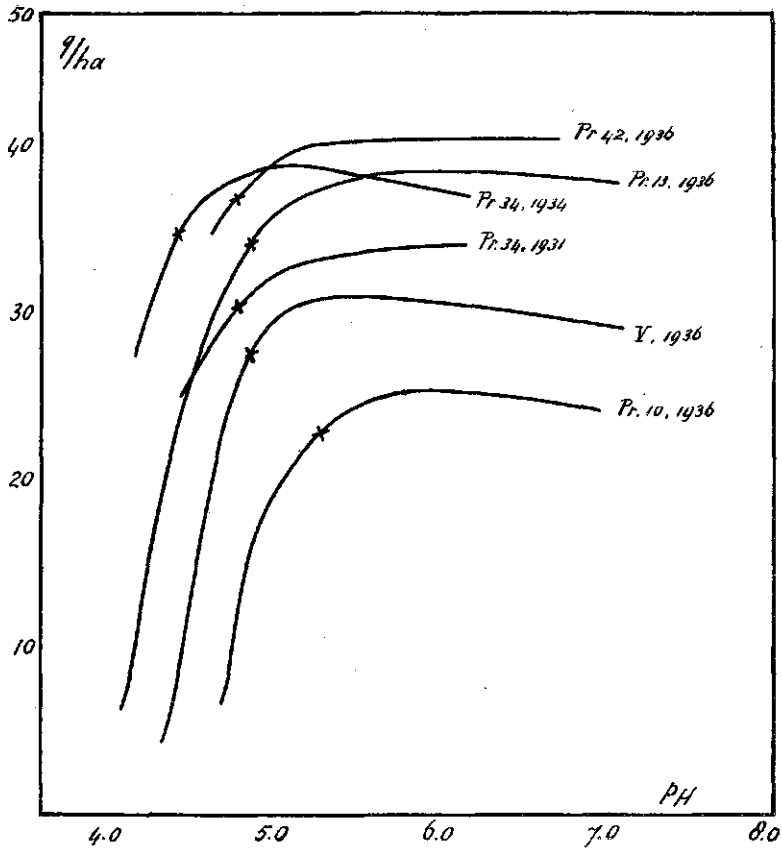

Fig. 13.

Opbrengstcurven voor goudgerst op verschillende proefvelden en bij verschillende pH. Maximumverschuiving naar links bij hooger opbrengst, het duidelijkst blijkende uit de kruisjes, die het punt met een opbrengstdepressie van 10 % aangeven.

Yield curves for barley on different experiment fields and at different pH after W. C. Visser [14]). Maximum shifts to the left for higher yields, as is best shown by the crosses, which indicate the point on the curve where the yield is 10 % less than the maximum.

Algemeen schema voor de wisselwerking der groeifactoren.

Voortbouwend op het door *W. C. Visser* (l.c. blz. 321) gegeven overzichtsfiguurtje kan men nu het in Fig. 14 afgebeelde *Algemeen Schema voor de Wisselwerking tusschen de Groeifactoren* opstellen [17]). Daarbij stelt lijn L de rechte opbrengstlijn voor volgens de wet van Liebig (Fig. 1); aan de andere zijde vormt lijn S het uiterste geval, waar het weglaten van den betreffenden groeifactor heelemaal geen invloed heeft op de opbrengst, doordat de plant er geen behoefte aan heeft of op een of andere wijze volledige compensatie vindt.

Curve II volgt ten opzichte van curve N de werkingswet van Mitscherlich: de maxima liggen bij dezelfde waarde van de abscis, de curven zijn uit Fig. 5 overgenomen.

Bij curve I in Fig. 14, die ten opzichte van curve N een hooger opbrengstniveau vertoont, treedt de ondergrens van het gebied, dat

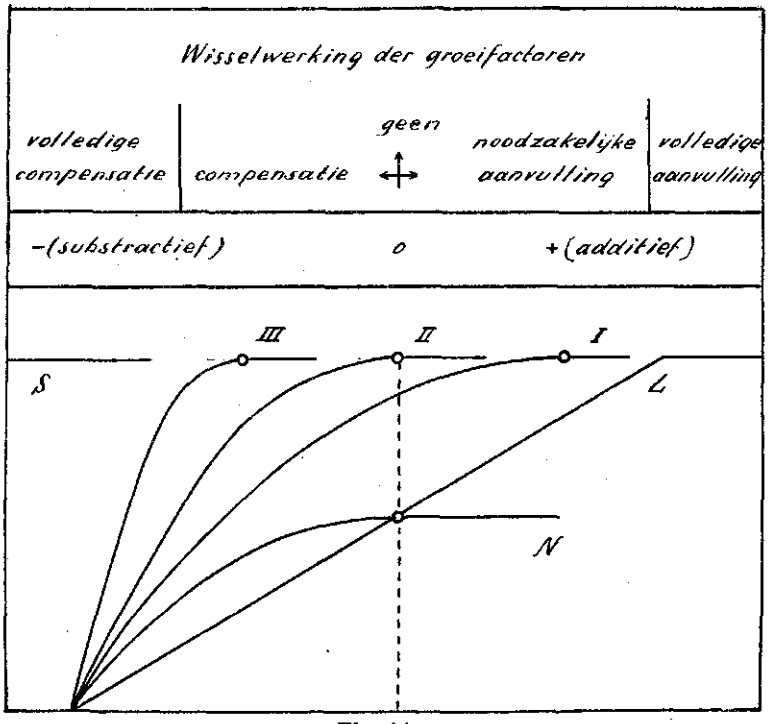

Fig. 14.

Schematisch overzicht van den invloed van de wisselwerking der groeifactoren op vorm en ligging der opbrengstcurven (zie tekst).

Synopsis of the effect of the interaction between growth factors on form and situation of the yield curves. L: case in which the factors are additional to their full extent and Liebig's law of the minimum holds. S: case in which omitting the growth factor is without influence on the yield because there is full compensation. For cases I, II and III the shifting of the maximum is shown for a higher level of fertility as compared with curve N: shifting to the right (case I) when a replenishment by other growth factors is necessary; in vertical direction (case II, Mitscherlich's law of constant c) when the effect of the growth factor is independent of the other growth factors; to the left (case III) when other growth factors give compensation or when circumstances are such that the plant adapts itself.

voor den op de abscis afgezetten factor optimaal is, op bij een hooger waarde van dien factor; het maximum wordt in de figuur meer naar rechts gevonden. Wij zullen dergelijke gevallen in het volgende bij afkorting „maximumverschuiving naar rechts" noemen. Een dergelijk geval vertoont verwantschap met de wet van *Liebig,* gewijzigd en verbeterd volgens de opvattingen van *Liebscher.* Geeft men het gewas meer van een bepaalde voedingsstof, dan moet daar van de andere aanvullend aan toegevoegd worden, wil een goede verzorging van het gewas tot stand komen. Men noemt de gewenschte verhouding der voedingsstoffen dan wel de harmonische, en spreekt — dit begrip wat verder, tot den bodem, uitstrekkende — van harmonische voeding, en ook van voedingsdisharmonie. Terwijl in geval L volledige aanvulling met andere groeifactoren noodig is, moeten bij curven van de groep I de groeifactoren elkaar ook nog tot bepaalde hoogte aanvullen en zijn zij wederzijds aan een voldoende hoeveelheid van andere gebonden;

dit in afnemende mate, totdat men bij curve II komt, die ten opzichte van curve N de werkingswet van Mitscherlich volgt en waarbij het relatief effect van den betreffenden groeifactor onafhankelijk is van het vruchtbaarheidsniveau en van de andere groeifactoren.

Bij III vindt men de groep curven, waarbij het maximum zich bij hooger vruchtbaarheidsniveau ten opzichte van N naar links verplaatst. Bij het hoogere vruchtbaarheidsniveau is er van den onderzochten factor minder noodig, de plant reageert minder op een bepaald tekort; er vindt op de een of andere wijze vervanging of compensatie plaats, of wel de plant, die in beter groeicondities verkeert, verdraagt een tekort beter (in welk verband door *F. van der Paauw* de term „weerstandsvermogen" werd gebezigd).

Tusschen de groep van gevallen I met de elkaar aanvullende groeifactoren en de gevallen III van de elkaar vervangende groeifactoren (de compensatie) ligt geval II — dat de wet van Mitscherlich volgt — als het *overgangsgeval* met een speciale, scherp omlijnde beteekenis; als grensgeval neemt het tusschen het additieve gebied rechts en het substractieve gebied links als het ware de nulstelling in.

Gevallen van compensatie of aanpassing.

Compensatie of aanpassing is in de plantenphysiologie een zeer bekend verschijnsel; dat deze ook bij voeding en groei van landbouwgewassen inderdaad een rol kan spelen, behoeft nauwelijks betoogd te worden. Voor de omstandigheden te velde kent men daarvan een aantal gevallen of veronderstelt men een aantal mogelijkheden, waarvan wij de volgende noemen:

a. een hooger kalktoestand verbetert de beschikbaarheid van fosfaat in een ijzerhoudenden grond: de opbrengstdepressie bij minder fosfaattoevoeging is kleiner bij hooger kalktoestand;

b. beter bodemgesteldheid (structuur, waterhuishouding, warmtehuishouding, diepgrondigheid, fosfaattoestand enz.) geeft een krachtiger ontwikkeld en meer uitgebreid wortelstelsel, waardoor de voorraad voedingsstoffen in den grond in grooter mate binnen het bereik van de plant komt en de minder gemakkelijk toegankelijke reserve aan plantenvoedingsstoffen beter uitgenut wordt;

c. beter groei-omstandigheden bevorderen de vorming van voorraden of reserves in de plant (grooter bladeren, knollen enz.) en geven daardoor een regelmatiger en krachtiger groei;

d. beter bodemomstandigheden geven een krachtiger bacterienleven in den grond, waardoor mobilisatie van plantenvoedingsstoffen;

e. bepaalde voedingsstoffen kunnen elkaar vervangen, b.v. natrium en kalium; een ruime voorraad aan natrium kan een begin van kali-tekort opvangen;

f. de plant past zich aan, hetzij morphologisch door bij voedseltekort een dichter wortelstelsel te ontwikkelen op plaatsen, waar de betreffende voedingsstof beschikbaar is, hetzij physiologisch door in zulke gevallen per eenheid wortelmassa meer van de betreffende voedingsstof op te nemen;

g. beter groei-omstandigheden geven een krachtiger koolzuur-assimilatie, waardoor een sterker opname van zouten, en een beter voeding van de wortels met koolhydraten enz. tot stand komt.

Zoo zijn er nog andere gevallen en mogelijkheden aan te geven (zie b.v. *F. van der Paauw,* l.c. blz. 801); het bovenstaande zal voldoende wezen om te doen zien dat „compensatie" zeer goed mogelijk is. Opbrengstcurven volgens geval III, waarop tot nog toe in de literatuur niet de aandacht was gevallen, mochten dus zeker verwacht worden en blijken dan ook inderdaad lang niet zelden voor te komen.

Enkele verdere voorbeelden mogen dit nader toonen, waarvoor wij er eerst eenige kiezen, ontleend aan standruimte-proeven.

Verdere voorbeelden van groep III.

In den regel leveren standruimte-proeven geen erg teekenende curven, vooral niet bij granen, die door hun uitstoelingsvermogen de verschillen in standdichtheid in zoo hooge mate kunnen com-

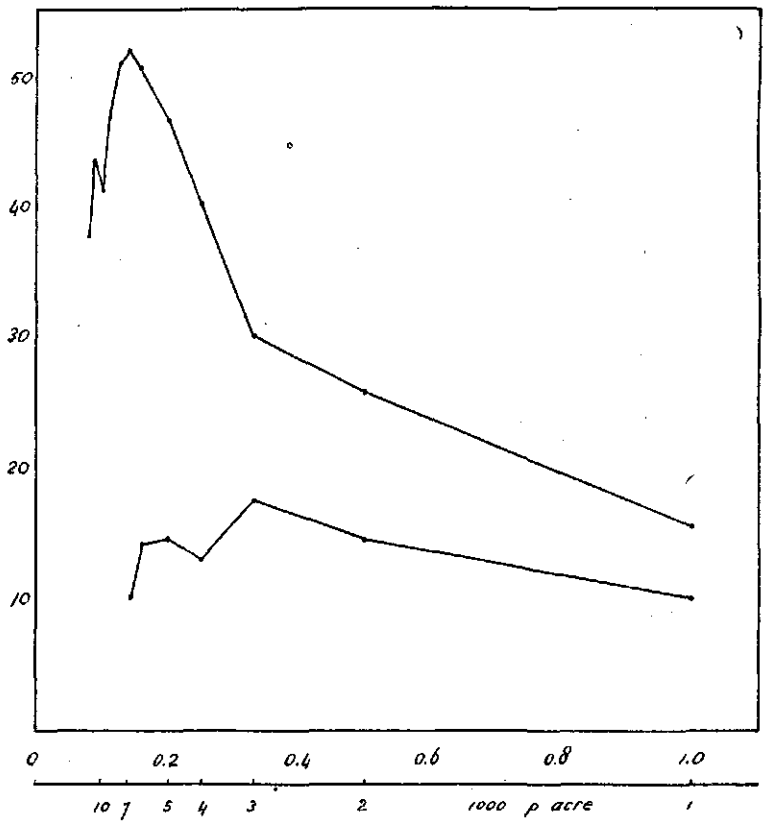

Fig. 15.

Effect van de standruimte op de opbrengst bij mais op goeden grond (boven) en op slechten grond (onder). Geval III. Abscis: ruimte per plant (daaronder: duizendtallen planten per acre).

Effect of space per plant on the yield of grain for corn on good soil (above) and on less fertile soil (below), according to C. A. Mooers 19). Case III. Abscissa: space per plant (lower scale: thousands of plants per acre).

penseeren. Maar ook b.v. bij een alleenstaand gewas als tabak geven standruimte-proeven niet gauw duidelijke maxima [18]). Bij de talrijke en uitvoerige proeven, die in Amerika met mais genomen zijn, treft men echter curven met duidelijke maxima aan, en voor zoover daarbij verschillende vruchtbaarheidsniveau's voorkomen, blijken deze onder geval III te behooren. Fig. 15 geeft een voorbeeld van mais op goeden en slechten grond [19]); de

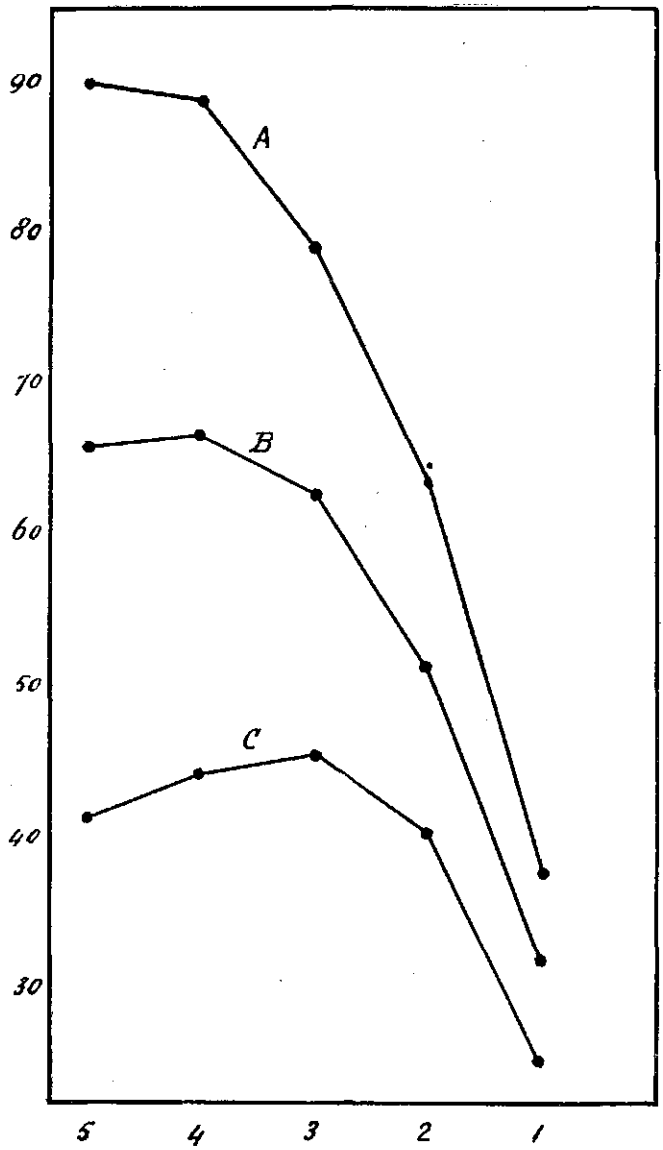

Fig. 16.

Opbrengst van mais in de vier beste jaren (A) en in de vier slechtste jaren (C), vergeleken met de gemiddelde opbrengsten voor alle 21 jaren (B), bij verschillende ruimte per plant (aantal planten per plek).

Yield of corn in the four best years (A) and in the four poorest years (C), as compared with the average yields in all 21 years (B) for different space per plant (number of stalks per hill), according to H. A. Wallace [20]).

maximumverschuiving naar links (standruimte als groeifactor genomen) is evident. Iets dergelijks vertoont Fig. 16 voor de jaaropbrengsten bij een andere proef 20): de vier beste jaren (curve A), resp. de vier slechtste (C) geven met de gemiddelde opbrengstcurve (B) een duidelijk voorbeeld van geval III.

Interessant is verder een voorbeeld van geval III, dat door *Mitscherlich, v. Boguslawski* en *Gutmann* bij een potproef met haver gevonden werd, en wel bij opklimmende giften kaliumsulfaat en bij verschillende natriumsulfaat-niveau's *). Het aantal voorbeelden van geval III, dat wij bij potproeven vonden, is namelijk slechts klein (zie de verderop te bespreken tabel I); dit voorbeeld geeft een duidelijk geval van compensatie, die immers voor natrium en kalium bekend is.

Behandeling van gevallen „zonder" en „met" een groeifactor.

In de gevallen, die wij tot nog toe behandeld hebben, was er steeds sprake van den invloed van opklimmende hoeveelheden van een groeifactor en de wisselwerking daarvan met andere groei-

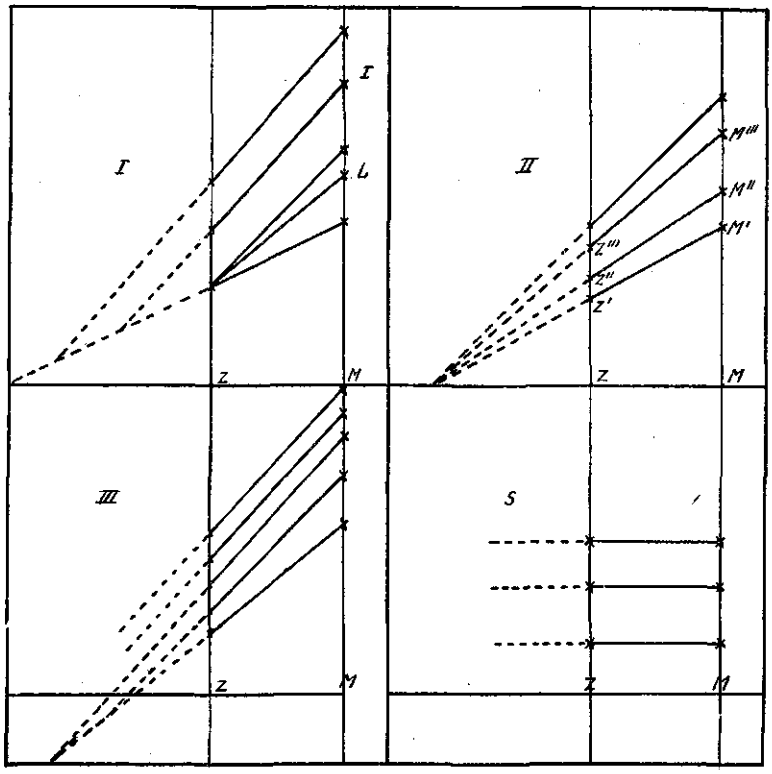

Fig. 17.

Ligging der punten voor een geval, waarin de opbrengst (verticaal uitgezet) „zonder" en „met" een meststof (Z resp. M) vergeleken wordt in verschillende jaren. L, I, II, III en S gevallen van wisselwerking als in fig. 14.

Picture of the different cases of interaction as in fig. 14, for experiments in which "without" (Z) or "with" (M) a growth factor are compared in different years. Yields plotted in vertical direction. L, I, II, III, S as in fig. 14.

*) Afbeelding der curven zie dit Tijdschrift 50 (1938), bl. 802.

factoren. Nu is het aantal proeven, waarbij voldoende lange series bij verschillende vruchtbaarheidsniveau's onderzocht werden, betrekkelijk gering; men zou, om de verhoudingen tusschen de groeifactoren te leeren kennen, over meer gevallen, en vooral ook over meer variatie in de onderzochte groeifactoren, willen beschikken. Het blijkt echter dat men ook overeenkomstige beschouwingen kan houden wanneer er niet een serie waarnemingen omtrent een groeifactor is, maar alleen de gevallen „zonder" en „met" een bepaalde meststof naast elkaar onderzocht werden, mits slechts een aantal waarnemingen (b.v. hetzelfde gewas op hetzelfde proefveld in verschillende jaren) bekend is. Wij willen even uiteenzetten op welke wijzen dit kan geschieden. In de eerste plaats kan men, nauw aansluitend bij de vorige beschouwingen, de gegevens uitzetten als in Fig. 17; in het eerste, daarin gegeven voorbeeld (links boven; geval L) kunnen de betere groei-omstandigheden in gunstiger jaren de opbrengst „zonder" den betreffenden groeifactor niet omhoog brengen (de drie jaaropbrengsten vallen daar samen), terwijl dit bij „met" wel gebeurt: deze groeifactor is dus bij „zonder" in

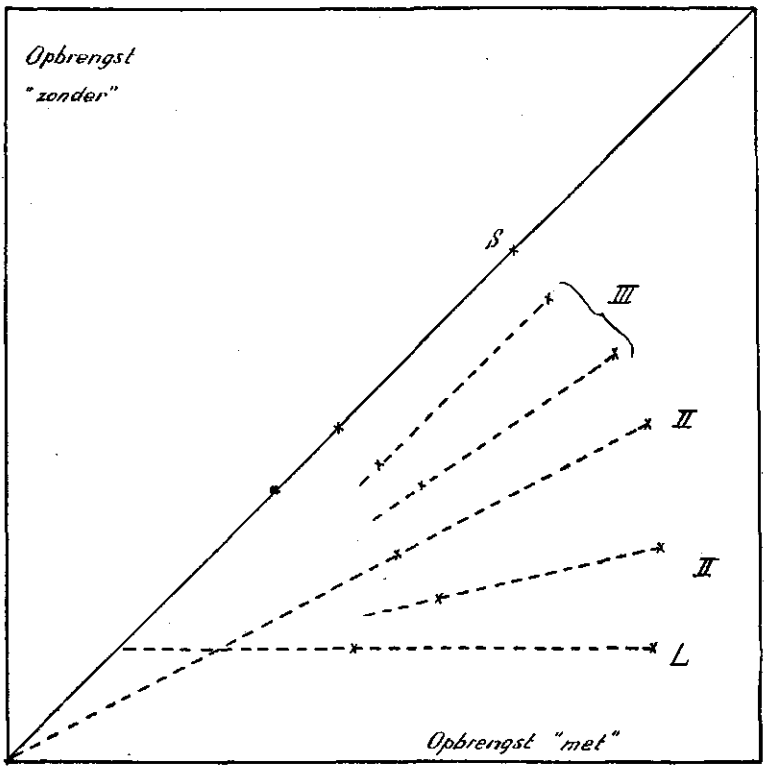

Fig. 18.

Andere wijze van voorstellen van gevallen als in fig. 17. De opbrengst „zonder" wordt als ordinaat, die „met" als abcis afgezet. De punten (kruisjes) gelden voor twee jaren, een met geringer en een met grooter opbrengst. Gevallen en teekens als in fig. 14.

Another method of graphic reproduction of investigations "without" and "with" a certain growth factor in different years with lower and higher yield. Yield "without" plotted as ordinates, "with" as abscissa, for two years. Cases as in fig. 14.

het minimum. Bij de hooger gelegen lijnen krijgen wij met geval I te doen. In geval II is er evenredigheid tusschen de opbrengsten „zonder" en „met" (Z'Z : M'M = Z''Z : M''M = Z'''Z : M'''M enz.); de opbrengsten volgen dus de wet van Mitscherlich wanneer de lijnen elkaar juist op de abscis snijden. Geval III (links onder) geeft een voorbeeld van „compensatie", terwijl bij geval S de groeifactor zonder uitwerking is („zonder" en „met" hebben een even hooge opbrengst). Bij voldoende aantal waarnemingen, dus b.v. jaren met verschillende opbrengst (vruchtbaarheid), kan men op deze wijze ook een dergelijken proefopzet gebruiken om de wisselwerking der groeifactoren (dat zijn hier dus: de weersomstandigheden en de gegeven bemesting) na te gaan. Bij de toepassing blijkt echter, dat deze werkwijze, door de groote onvermijdelijke waarnemingsfouten bij zulke proefvelden, niet erg bevredigt; wij zien ervan af, de betreffende voorbeelden (waarvan men de belangrijkste in Tabel II verzameld vindt) hier te discuteeren.

Een andere werkwijze is in Fig. 18 weergegeven. Men neemt de opbrengst „zonder" als ordinaat, die „met" als abscis, en krijgt dan de vijf gevallen van wisselwerking uit Fig. 14 op de in Fig. 18

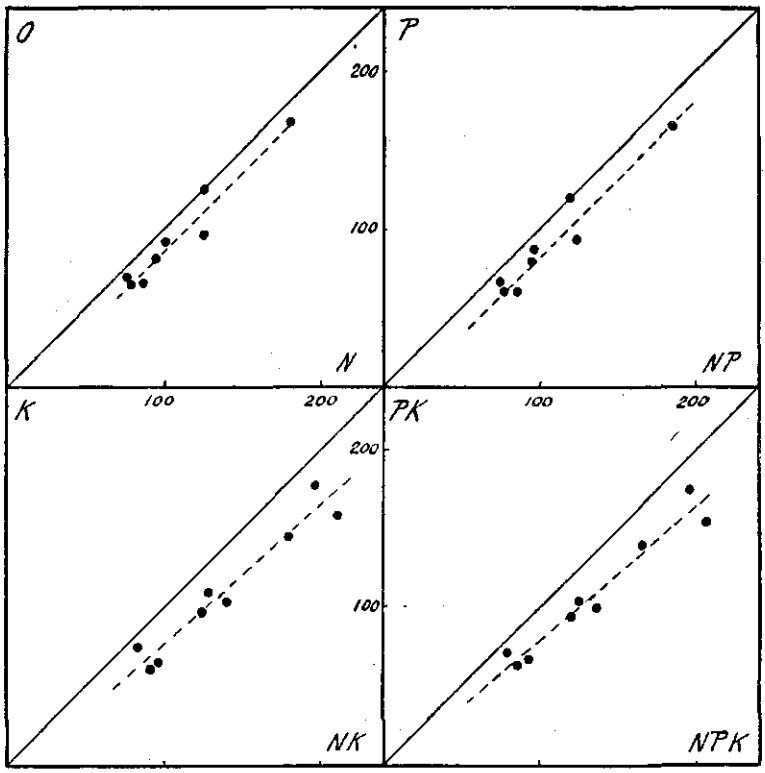

Fig. 19.

Aardappelopbrengst in negen jaren op een proefveld van G. Liebscher [22]), voor de combinatie's met en zonder stiifstof. Voorbeeld van geval III, de punten liggen in een strook praktisch parallel aan de 45°-lijn.

Yield of potatoes in nine years on an experiment field of Liebscher [22]), for combinations with and without nitrogen. Example of case III, the points lie in a strip parallel to the 45°-line.

aangegeven wijze te zien. Bij L geeft een vruchtbaarder jaar een even hooge opbrengst zonder den groeifactor (ordinaat even hoog), maar een hooger opbrengst met den groeifactor (abscis grooter): tegenover de weersomstandigheden is dus, bij „zonder" den groeifactor, deze in het minimum. Bij II zijn de opbrengsten „zonder" en „met" in verschillende jaren met elkaar evenredig en volgen zij dus de werkingswet van Mitscherlich; bij S zijn de opbrengsten „zonder" en „met" aan elkaar gelijk en is de groeifactor zonder werking. Daartusschen liggen de gevallen I en III.

Fig. 19 geeft hiervan een voorbeeld, ontleend aan een jaren geleden door *G. Liebscher* [22]) verricht onderzoek met aardappelen, die een negental jaren op hetzelfde perceel verbouwd werden, bemest volgens het acht-objecten schema (NPK, NP, NK, PK, N, P, K en geen) en wel zijn hier gekozen de combinaties „zonder" en „met" stikstof. Het blijkt dat door de punten gemiddelde lijnen getrokken kunnen worden, die òf evenwijdig loopen met de 45°-lijn, òf deze beneden de abscis snijden, zoodat met voldoende zekerheid geconcludeerd mag worden, dat de weersomstandigheden, die het verschil in opbrengst in de opeenvolgende jaren veroorzaakten, met de stikstofbemesting een wisselwerking volgens geval III

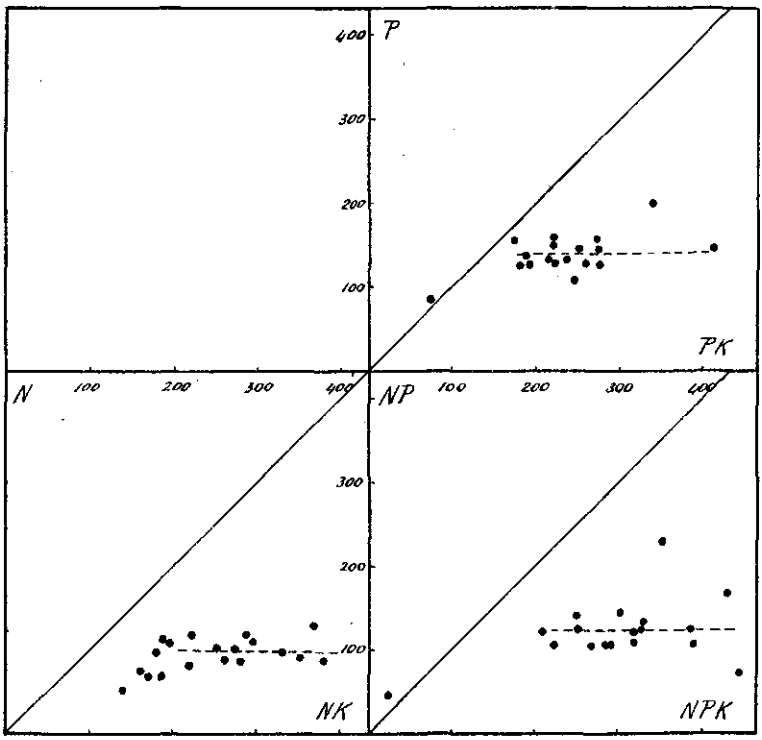

Fig. 20.

Effect van het weglaten van kali bij aardappelen in verschillende jaren op het proefveld Pr. 8 te Sappemeer. De punten liggen in een horizontale strook; bij weglaten van de kalibemesting is deze voedingsstof in het minimum en kunnen gunstiger weersomstandigheden de opbrengst niet doen stijgen.

Effect of leaving out potassium on yield of potatoes in different years on experiment field Pr. 8 at Sappemeer. The yield figures lie in a horizontal zone; leaving out potassium causes this nutrient to get in minimum position, so that favourable weather conditions cannot raise the yield.

(compensatie) hebben: in jaren met beter weersomstandigheden hadden de aardappelen minder behoefte aan stikstofmest, kwam men dus met minder stikstofbemesting uit, terwijl men in ongunstige jaren met wat meer stikstof zou moeten „bijwerken". Een uit de praktijk zeer goed bekend geval dus. Eenige verdere gevallen uit dit onderzoek van Liebscher vindt men in Tabel II vermeld.

Een ander voorbeeld ziet men in Fig. 20, ontleend aan het Algemeen Bemestingsproefveld Pr 8 te Sappemeer, en wel voor de combinaties zonder en met kali. De punten blijken in nagenoeg horizontale strooken te liggen; op de veldjes zonder kali is deze groeifactor in het minimum en wordt er in beter jaren niet meer geproduceerd dan in minder goede jaren. Een voorbeeld dus van geval I voor een proef, die te velde genomen werd (zie ook tabel II).

F. van der Paauw (l.c. blz. 118) heeft een verfijnde toepassing van deze werkwijze gegeven, door de opbrengsten om te rekenen in percenten van de gemiddelde opbrengst per object in de bestudeerde jaren, waarbij het cijfer 100 voor beide in den oorsprong wordt gelegd; de punten liggen daardoor verspreid over het heele kwadrant, in plaats van over het halve kwadrant als in Fig. 18, en de 45°-lijn geeft daarbij de gevallen aan, die de wet van Mitscherlich volgen, terwijl de gevallen III en I in de sectoren daarboven resp. daaronder vallen. De door hem getrokken conclusies komen bevredigend overeen met de volgens bovenstaande methodes verkregen inzichten en zijn, voor zoover zij op fosfaat en kali bij rogge betrekking hebben, in Tabel II vermeld.

Overzicht van bruikbare gevallen.

Wij hebben nu verschillende voorbeelden uit de literatuur, waarbij het aantal waarnemingen voldoende was om conclusies te trekken (bij vele onderzoekingen zijn de reeksen van opklimmende hoeveelheden te kort, of wordt geen maximum bereikt, zoodat men de onderlinge ligging der maxima bij verschillend vruchtbaarheidsniveau niet, of niet met voldoende zekerheid, kan nagaan), samengevat in Tabellen I en II, waarbij de eerste de potproeven, de tweede de veldproeven omvat. Daarbij komt het volgende resultaat te voorschijn.

	Potproeven		Veldproeven	
	Voldoende zeker	Twijfelachtig	Voldoende zeker	Twijfelachtig
Geval I	37	1	1	3
„ II	1	1	2	3
„ III	7	5	16	1
Totaal	45	9	19	7

Het valt daarbij op, dat geval I bij de potproeven domineert, terwijl — voor zoover dit uiteraard nog veel te kleine materiaal een conclusie toelaat — geval III bij de veldproeven het meest schijnt voor te komen. Men zou in eerste instantie geneigd zijn

hier een methodisch verschil tusschen de pot- en de veldproeven te veronderstellen; zoowel *W. C. Visser* (l.c. blz. 324) als *F. van der Paauw* (l.c. blz. 821 en 824) roeren dit punt aan en wijzen als mogelijke verklaring op het veel beperkter wortelareaal bij de potproeven, waardoor een veel sterker doorworteling van den grond plaats heeft. Echter wijst een bestudeering van het in Tabellen I en II samengevatte materiaal er op, dat geval I voor schijnt te komen bij de wisselwerking tusschen twee groeifactoren, die beide plantenvoedingsstoffen zijn, waarbij de plant dus beide groeifactoren tot zich neemt; terwijl bij de gevallen III meestal een milieufactor in het spel is, waarbij de plant op een toestand reageert, of waarbij een compensatie tusschen de beide voedingsfactoren aan te wijzen is *). Het lijkt waarschijnlijker dat *de wisselwerking der groeifactoren in de eerste plaats afhankelijk is van den aard dier factoren zelf,* zoodat bovenbedoeld verschil tusschen de pot- en de veldproeven slechts toevallig zou zijn; nader onderzoek zal hierover klaarheid hebben te brengen.

Gevallen, waarin Mitscherlich's wet wel geldt.

Zeer opvallend is dat in de Tabellen I en II het geval II, waarin de werkingswet van Mitscherlich duidelijk gevolgd wordt, zoo betrekkelijk zelden voorkomt. In plaats van algemeen geldige regel, wat zij naar *Mitscherlich's* overtuiging zou zijn, blijkt deze wet slechts in weinige gevallen te gelden, wat met haar boven besproken en in het *Algemeen Schema* (Fig. 14) aangegeven karakter van grensgeval trouwens goed overeenkomt. Daarenboven is bij sommige van de geconstateerde voorbeelden van geval II nog wel het een en ander op te merken; wij illustreeren dit met een in Koningsbergen door *A. Lange* verricht onderzoek [23]), voor haver in zandcultuur bij stijgende fosfaatgiften in den vorm van dicalciumfosfaat en bij vier waterniveau's, dat in Fig. 21 is afgebeeld. De opbrengstcurven zijn in hun bovenste deel wat onregelmatig, zoodat de ligging van de maxima niet zuiver aan te geven is; berekent men de gemiddelde waarden voor de maxima en geeft men de punten aan waar de opbrengst 10% lager is (cirkeltjes in Fig. 21), dan blijken deze zoo mooi verticaal boven elkaar te liggen als men bij de in zulke onderzoekingen voorkomende waarnemingsfouten maar wenschen kan.

Bij dit op het eerste gezicht zoo sprekende voorbeeld van geval II is echter wel wat op te merken. Deze serie werd namelijk genomen bij een stikstofbemesting van 3 gr NH_4NO_3 per pot, en dat was lang niet optimaal, zooals b.v. blijkt uit Fig. 9, die op deze zelfde proefserie betrekking heeft voor verschillende watervoorzieningen bij stijgende stikstofhoeveelheden, en een dosis van 3.67 gr $CaHPO_4$ per pot (wat dus ruim was). Ware er meer dan 3 gr NH_4NO_3 genomen, dan zou blijkens Fig. 9 bij 25% van de watercapaciteit het punt voor 3.67 $CaHPO_4$ lager zijn komen te liggen, voor 50% gelijk gebleven zijn en voor 75% resp. 100% flink gestegen zijn, zoodat men een duidelijk voorbeeld van geval I

*) Zie b.v. het voorbeeld van geval III, waarbij kalium door natrium vervangen bleek te kunnen worden; en No. 45 in Tabel 1 betreffende de pH-invloed op het fosfaat-effect, waarbij *v. d. Honert* de verklaring geeft, dat de bij lager pH gevormde H_2PO_4-ionen het bestanddeel zijn, dat de plant kan opnemen.

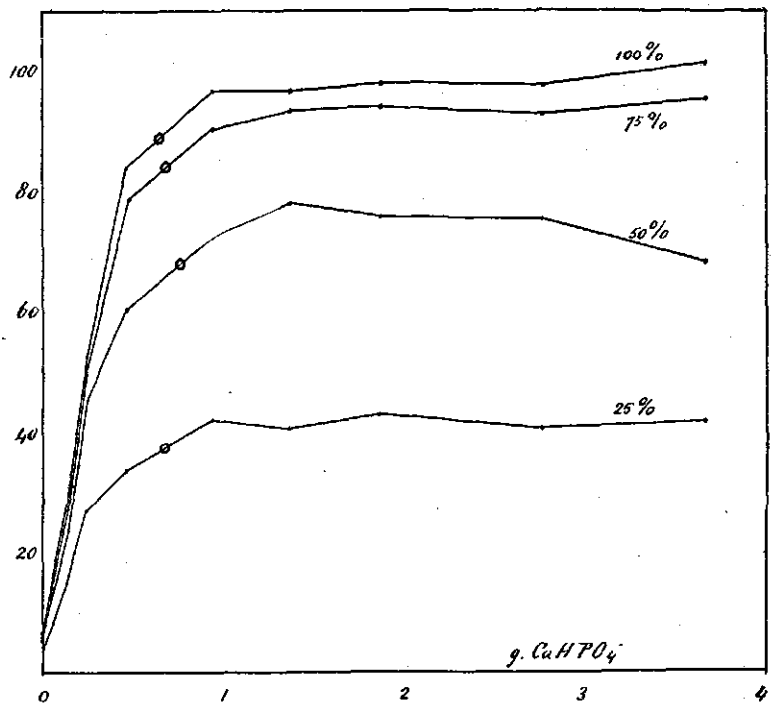

Fig. 21.

Haveropbrengst bij verschillende waterniveau's in zandcultuur bij opklimmende giften $CaHPO_4$ naar A. Lange [23]); goed voorbeeld van geval II, dat echter alleen voor de gebruikte, niet optimale dosis stikstof blijkt te gelden.

Yield of oats at different water levels in sand culture for increasing doses of $CaHPO_4$ according to A. Lange [23]); good example of case II (Mitscherlich's law), which however only holds for the nitrogen-dose used in this experiment, which was found not to be optimal.

zou hebben gekregen. In het geval van Fig. 21 is niet de watervoorziening op zichzelf de beperkende factor geweest, maar de watervoorziening plus (slechts) 3 gr NH_4NO_3. De betreffende cijfers zijn:

% van water-capaciteit	Opbrengst met 10 % depressie (cirkeltjes)	Gemiddelde maximum opbrengst in Fig. 21	Opbrengst bij 3 gr NH_4NO_3 in Fig. 9	Opbrengst bij meer NH_4NO_3 in Fig. 9
25	37½	41.4	41	dalend (30 resp. 19)
50	68	75.5	77	licht stijgend (tot 82)
75	84	93.3	94	stijgend (tot 113 en 112)
100	88½	98.3	101	stijgend (tot 130 en 132)

waaruit het boven gezegde ook duidelijk blijkt.

Discussie van de wet van Mitscherlich.

Men zal nu vragen: als geval II betrekkelijk zoo zelden voorkomt, terwijl zoo overtuigend blijkt dat er vele gevallen zijn — ook bij onderzoekingen uit *Mitscherlich's* instituut — die daarvan naar links of naar rechts afwijken in den zin van onze Hoofdfiguur 14, waarop baseert *Mitscherlich* dan zijn wet van de constantheid der werkingsfactoren, waaraan hij ondanks veel goed gedocumenteerde critiek zoo met overtuiging blijft vasthouden? Het antwoord kan niet anders luiden dan dat men nog al heel wat door de vingers moet zien, wil men bij verschillende, door *Mitscherlich* als bewijs aangehaalde voorbeelden zijn wet van toepassing verklaren. Een tweetal grafieken, die ontleend zijn aan een door *Th. B. van Itallie* gegeven overzicht, mogen dit verduidelijken.

Als eerste voorbeeld vertoont Fig. 22 een onderzoek, dat *Mitscherlich* [24]) aanvoerde om aan te toonen, dat de werkingsfactor c

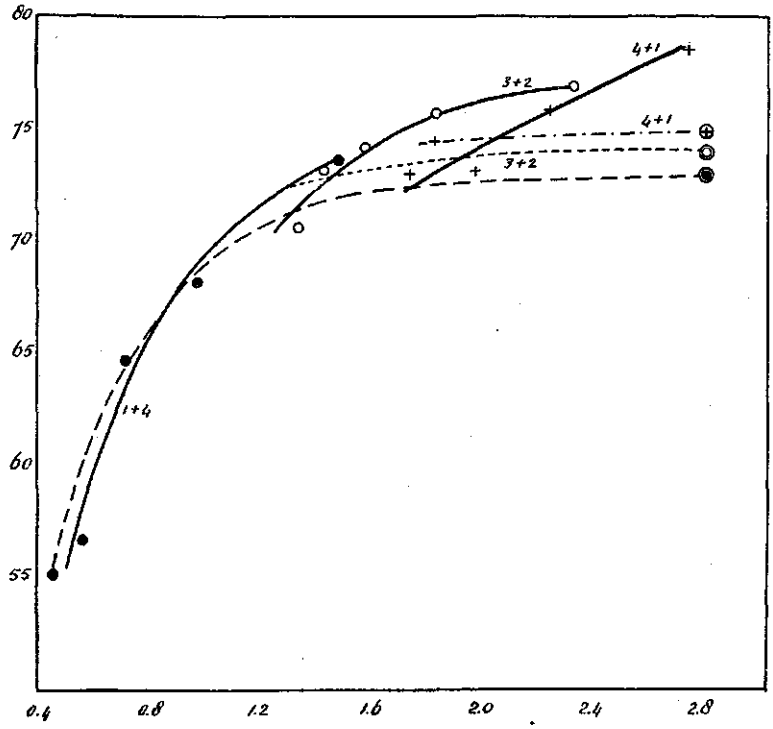

Fig. 22.

Proef welke Mitscherlich aanvoerde als bewijs voor de geldigheid van zijn wet bij verschillende verhoudingen grond : zand in de potproef. De door hem berekende lijnen (gestippeld) blijken ongeoorlooid sterk af te wijken van de lijnen (getrokken), die men gemiddeld kan trekken door de waargenomen punten (punten voor 1 grond met 4 zand; cirkeltjes voor 3 + 2; kruisjes voor 4 + 1. Met cirkel omrand : A-waarden volgens Mitscherlich, die ver onder de grafisch te extrapoleeren maximale opbrengsten liggen).

Pot experiment put forward by Mitscherlich 24) as a proof for his law in the case of different ratios of soil to sand. The (dotted) lines, calculated by him, deviate unacceptably much from the average lines drawn through the experimentally found points (points for 1 soil + 4 sand; circles for 3 + 2; crosses for 4 + 1; big, encircled A-values calculated by Mitscherlich, which are much lower than the maximum yields extrapolated from the curves).

constant blijft bij verschillende verhoudingen grond:zand in de potten. De drie getrokken lijnen geven de gemiddelde curven voor de drie series waarnemingen; de gebroken lijnen geven de curven, die *Mitscherlich* berekent, en waarmee hij aantoont dat de maxima en de werkingsfactoren dezelfde zijn. Nu kan men wel betoogen, dat deze berekende lijnen niet meer dan viermaal de waarnemingsfout (die in dit geval gemiddeld 1.2 bedraagt) van de waargenomen punten afliggen — zooals het criterium is, dat *Mitscherlich* aanlegt — en dat een enkel, sterker afwijkend punt (b.v. het hoogst gelegen kruisje) als „evident fout" daarbij wel uitgeschakeld mag worden; maar het zal — uit de grafische afbeelding veel sprekender dan uit de rijtjes cijfers in de tabel, die *Mitscherlich* geeft — duidelijk zijn, dat een lijn, die zoo eenzijdig afwijkt, als „berekende curve" een geforceerde is, en dat *Mitscherlich's* interpretatie hier te ver van de feiten afwijkt. Dit voorbeeld kan zeker geenszins als *bewijs* gelden voor Mitscherlich's wet, het bewijst eerder een afwijking daarvan.

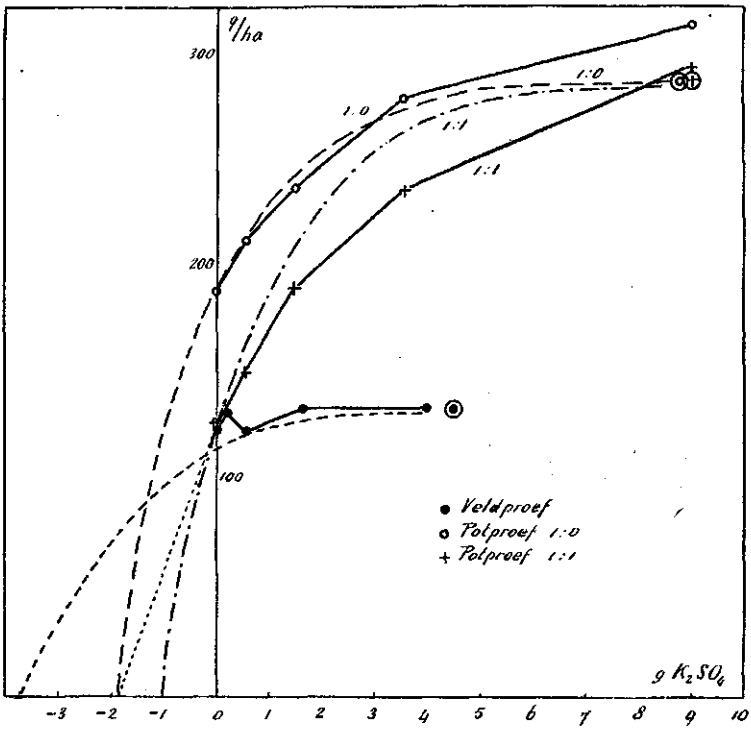

Fig. 23.

Opbrengstcurven bij een potproef met grond (1 : 0), bij een met half grond, half zand (1 : 1) en bij een veldproef op den betreffenden grond (stippen). Getrokken lijnen: gevonden. Gebroken lijnen: door Mitscherlich berekend als aansluitende bij zijne formule. Omcirkelde punten: A-waarden volgens Mitscherlich's berekening. Gestippeld: verlenging van de getrokken lijn 1 : 1 tot het punt —1.85 in plaats van —0.92, zooals Mitscherlich berekent.

Yield curves for oats in an experiment by Mitscherlich [25]) in pots with soil (1 : 0), in pots with half soil, half sand (1 : 1), and in a field experiment on the soil in question. Full lines: actually found. Broken lines: calculated by Mitscherlich to show accordance with his formula. Encircled: A-values as calculated by Mitscherlich. Dotted line: curve 1 : 1 extrapolated, ending in the point —1.85 instead of —0.92 as calculated by Mitscherlich.

Een ander voorbeeld vindt men in Fig. 23, die een proef weergeeft waarmee *Mitscherlich* [25]) zeide aan te toonen, dat de b-waarde bij een potproef met de verhouding grond : zand = 1:1 de helft bedroeg van die bij een potcultuur met grond alleen, zooals dit volgens zijn theorie behoort, en deze laatste weer de helft van die bij de veldproef (doordat bij de veldproef de voorraad in den ondergrond ook meeteelt). Men ziet in Fig. 23, dat de door *Mitscherlich* voor 1:0 en 1:1 aangenomen A-waarden lager zijn dan dit door de gevonden curven wordt aangegeven, en dat curve 1:1, zonder vooroordeel doorgetrokken, eerder in —1.85 op de abscis uitkomt dan bij —0.92. Ook is het zeer wilekeurig om de korte lijn, die bij de veldproef verkregen werd, naar het punt —3.7 door te trekken. Ook deze proef kan men niet accepteeren als een behoorlijk bewijs voor wat *Mitscherlich* ermee wil aantoonen.

Zoo zouden er meer voorbeelden aan te halen zijn. Er zijn bij *Mitscherlich's* materiaal b.v. een aantal gevallen, waarin de onderzochte serie eenige punten leverde, die in een ongeveer rechte of licht gebogen lijn liggen; het is duidelijk, dat elke theoretische opbrengstcurve zich daaraan met zijn vrijwel rechte gedeelte laat aanpassen. Een maximum komt uit zoo'n waarnemingsreeks niet te voorschijn en omtrent de ligging daarvan valt dus ook niets te concludeeren. Zoo levert, op den keper beschouwd, het in vroeger jaren door *Mitscherlich* bijeengebrachte cijfermateriaal o.i. geen behoorlijk bewijs voor zijn werkingswet, terwijl zijn uitvoeriger onderzoekingen van later jaren (zie tabel I) talrijke zeer mooie voorbeelden leveren, waarin de werkingsfactoren *niet* constant zijn. Men mag aannemen, dat tabellen I en II voldoende materiaal bevatten om met vrij groote zekerheid te concludeeren hoe de werkelijke verhoudingen zijn: heel wat gevallen uit de groepen I en III, met daartusschen als grensgevallen min of meer toevallig enkele goed te constateeren gevallen II.

Nu mag met nadruk geconstateerd worden, dat de door *Mitscherlich* en *Baule* opgestelde formule $\log (A-y) = \log A - c\,(x + b)$ zeer goed bruikbaar is voor het weergeven van opbrengstcurven. De logarithmische formuleering, met drie parameters — een voor de helling (c), een voor de verticale vervorming (A), en een voor een horizontale verschuiving (b) — laat zich zeer goed aan allerlei

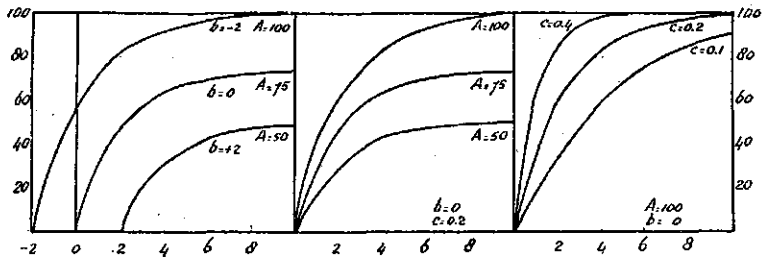

Fig. 24.

Voorbeelden van curven, die de formule van Mitscherlich volgen en allerlei verschillende vormen vertoonen. Midden: verschillen in A-waarde. Links: verschillen in b, aangebracht bij de vorige drie curven. Rechts: verschillen in c, aangebracht bij de bovenste curve.

Examples of curves, following the formula of Mitscherlich, and showing different forms. Middle: differences in A. Left: differences in b, applied to the former three curves. Right: differences in c, applied to the higher curve.

experimenteel gevonden opbrengstcurven aanpassen. Fig. 24 toont hoe men door verandering van de parameters curven van allerlei vorm kan krijgen, en dus opbrengstcurven van allerlei vorm met meer of minder succes door een of andere Mitscherlich-curve kan weergeven. Maar werkelijke beteekenis krijgt dit alleen wanneer er regelmatigheden of wetten uit af te leiden zijn, zooals b.v. de werkingswet van Mitscherlich (c is constant), of als er een bepaalde beteekenis van de grootheid b te voorschijn komt, b.v. dat deze een duidelijk te omschrijven of door analyse te bepalen bodemvoorraad voorstelt. Komen zulke regelmatigheden niet te voorschijn — en het zal door objectieve studie nog moeten blijken hoe het daarmee staat — dan komt men met de wetmatige formuleering niet veel verder dan met empirisch bepaalde, grafisch weergegeven curven.

Overwogen dient bij dit alles te worden dat *Mitscherlich,* behalve van een algemeen gezichtspunt uit, zeker ook daarom aan de werkingswet en de constantheid der werkingsfactoren zoo bleef vasthouden, omdat deze een noodzakelijke vooronderstelling zijn bij zijne op groote schaal toegepaste werkwijze om de mestbehoefte van praktijkperceelen door potproeven te bepalen. Valt de constantheid der c-waarden weg, dan is geen berekening van de mestbehoefte meer mogelijk en verliest deze werkwijze het grootste deel van haar basis. En nu zal een zeker aantal gevallen uit de groepen I en III, die dicht bij het middengeval II liggen, binnen de waarnemingsfouten nog wel daaronder gerekend mogen worden. Het wordt dan een kwestie van nauwkeurigheid, hoe ver men de werkingswet nog als voldoende benadering zal aannemen; uit verschillende boven gegeven voorbeelden ziet men echter, dat de c-waarden voor dezelfde groeifactor, al naar de overige groeivoorwaarden, zeer aanmerkelijk kunnen uiteenloopen.

Gezichtspunten voor de bemestingspraktijk.

Afstappende van deze kritische uiteenzettingen gaan wij thans weer tot positieve beschouwingen over en willen ons afvragen wat het verkregen inzicht over de verschillen in vorm der opbrengstcurven en over de verschuivingen der maxima praktisch te beteekenen heeft.

Inderdaad is daaraan, behalve een physiologisch en een landbouwwetenschappelijk, ook een groot praktisch belang verbonden, want de werkwijze, die men in bepaalde gevallen te volgen heeft, en de adviezen, die men geven moet, hangen nauw met het hier behandelde probleem samen. Dit blijkt al dadelijk wanneer men zich voor den geest stelt dat de praktische ervaring feitelijk al wel rekening houdt met de geschetste verhoudingen, al geschiedt dit grootendeels nog niet helder bewust en gaat het menigmaal wat verward. Dat men, wanneer men den oogst opdrijft door sterk met stikstof te mesten, ook meer fosfaat en kali moet geven, zien wij thans als een voorbeeld van geval I, dat op zichzelf iets gewoons en begrijpelijks is, ook al gaat het niet in alle omstandigheden op. Omgekeerd weet men zeer goed, dat men — zooals wij reeds bespraken — de verschijnselen b.v. van kaligebrek duidelijker kan te voorschijn brengen, wanneer men flink met stikstof en fosfaat mest, en dit wordt op demonstratievelden ook wel toegepast. Dit is weer een duidelijk voorbeeld van geval I; het tekort aan een voedingsstof (kali) drukt de opbrengst sterker, spreekt duidelijker, bij hooger niveau

van de andere voedingsstof (stikstof) of bij hooger vruchtbaarheidsniveau in het algemeen. Men weet verder, dat een karige voorziening met een voedingsstof in een jaar met lage opbrengsten misschien niet veel schaadt, maar dat deze in een jaar met goede opbrengsten groot nadeel kan veroorzaken; men geeft in sommige streken met opzet b.v. een ruime kalibemesting bij aardappelen, alhoewel die niet noodig is bij matige oogsten; men heeft dit er voor over om in een goed jaar niet den topoogst te missen, die dan juist zoo groot voordeel zou brengen. Een dergelijke gedragslijn kan voor de praktijk zoo belangrijk zijn, dat men die als algemeen bemestingsadvies vindt aangegeven [27]).

Naast deze voorbeelden van verhoudingen, die wij thans als behoorende tot geval I zien, vindt men ook gevallen die bij nadere beschouwing onder groep III blijken te behooren. Zoo b.v. de vrij algemeene ervaring, dat goed met stalmest behandeld land een lager pH verdragen kan dan schrale grond; dus dat een wat lage pH bij hooger vruchtbaarheidsniveau de opbrengst minder schaadt, en dat men desgewenscht de pH-grens daar wat lager kan stellen. Deze praktijk-ervaring was een der belangrijkste, die ons naar goede, grafisch reproduceerbare gevallen van het nog niet beschreven geval III deed zoeken, en waarbij steun gevonden werd in de onderzoekingen van *A. Åslander* [30]), die in watercultures en in potcultures met verschillende gronden toonde, dat een lage pH beter verdragen wordt, wanneer de voedings- of bodemoplossing rijker aan voedingszouten is. Goede voorbeelden van geval III bij pH als groeifactor werden, zooals reeds besproken, inderdaad door *W. C. Visser* en *P. Bruin* gevonden.

Wanneer *E. J. Russell* [31]) op grond van verschillende ervaringen concludeert dat de kaliwerking op aardappelen in goede, zonnige jaren geringer is dan in zonarme jaren met een lage opbrengst, en dat in de laatste gevallen de kalilooze veldjes een grooter opbrengstdepressie geven, zal zijne verklaring, dat kali tot op zekere hoogte het tekort aan zonneschijn vergoedt, wellicht juist zijn, maar mag men daarin dan ook eene compensatie en een duidelijk voorbeeld van geval III zien. Zoo valt ook onder deze groep de ervaring van denzelfden onderzoeker [31]), dat in slechte jaren de fosfaatwerking bij voederbieten grooter is dan in goede.

Meermalen hoort men de opmerking, dat bij veldproeven de verschillen tusschen de objecten kleiner worden in slechte jaren, en dat het dan dus moeilijker is om conclusies te trekken [28]); maar ook vindt men het omgekeerde vermeld, namelijk, dat juist in slechte jaren de minder bemeste objecten relatief veel slechter te voorschijn komen [29]). Blijkbaar heeft men in het eerste geval met verschijnselen uit groep I, in het tweede met groep III te maken; inzicht in deze verhoudingen kan de studie van de factoren, die men onderhanden heeft, slechts ten goede komen.

Meerdere dergelijke praktijkwaarnemingen zijn trouwens reeds door *F. van der Paauw* bijeengebracht en uitvoerig besproken (l.c. blz. 805).

Deze gevallen en de gehouden beschouwingen overziende zal het duidelijk wezen, dat hier nog een ruim veld voor onderzoekingen open ligt, waarbij combinatieproeven volgens het serieprincipe [32]) goede diensten kunnen bewijzen. Nader onderzoek kan van groot praktisch belang blijken voor de bemestingsadviezen en de bemes-

tingstaktiek. Het is b.v. denkbaar, dat op een perceel met een niet te dikke bouwvoor en een voedselarmen ondergrond in goede jaren een grooter kalivoorraad (dus c.q. grooter kalibemesting) noodig is om naast voorradige stikstof en fosfaat een zoo goed mogelijken oogst te krijgen, terwijl b.v. op een diepgrondigen kleigrond in een gunstig jaar (diep verkruimeld, dus diep wortelareaal) juist door een grooter wortelstelsel een grooter voorraad kali bereikbaar wordt, zoodat in een goed jaar minder, in een slecht jaar meer kalibemesting noodig is. Zulke gezichtspunten kan men er aan de hand van het besprokene meer opstellen. Een breeder basis voor het onderzoek en een alzijdige beschouwing der resultaten volgens de ontwikkelde gezichtspunten zal ons inzicht in de problemen van plantenvoeding en plantengroei slechts kunnen verruimen; *de wet van Mitscherlich lijkt een te eng keurslijf, waarin men de werkelijkheid niet moet besloten houden.*

Breeder beschouwing over het geheele gebied der wisselwerkingen, zooals die in de praktijk voorkomen, en meer kennis daarvan is noodzakelijk, wil men de werking der groeifactoren begrijpen en op basis daarvan in bemestingskwesties het juiste standpunt innemen.

LITERATUUR.

1. *W. C. Visser,* Versl. v. Lbk. Ond. 44 (1938), 344.
2. *J. von Liebig,* „Die Grundsätze der Agricultur-Chemie mit Rücksicht auf die in England angestellten Untersuchungen". Uitgave 1855, voetnoot blz. 105, en andere plaatsen; ook „Dr. Emil Wolff und die Agricultur-Chemie", 1855, blz. 13. Zie ook „Die Naturgesetze des Feldbaues" (1862), 233, 225.
3. *J. M. van Bemmelen,* Die Absorption I. Zeitschr. f. Anorg. Chemie 13 (1897), 345.
4. *G. Liebscher,* Journ. f. Landwirtsch. 43 (1893), 215.
5. Zie verschillende publicatie's van *E. A. Mitscherlich* o.a.:; Die Bestimmung des Düngerbedürfnisses des Bodens, 3de druk 1930, blz. 13; Landw. Jahrb. 56, (1921) 71; *E. A. Mitscherlich* en *F. Dühring,* Schriften der Königsberger Gelehrten Ges. 5 (1928), 17.
6. *A. Rippel, W. Estor* und *R. Meijer,* Zeitschr. Pflanzenern., Düng. u. Bod. A 8 (1926), 65.
7. *W. M. Kletschkowsky* und *P. A Shelesnow,* Landwirtsch. Jahrb. 74 (1931), 353.
8. *A. Rippel* in Handbuch der Pflanzenern. u. Düngerlehre van F. Honcamp, Bnd. I, 602.
9. *E. A. Mitscherlich, E. v. Boguslawski* u. *A. Gutmann,* Schriften der Königsberger Gelehrten Gesellschaft 12 (1935), 31.
10. *A. Lange,* Landwirtsch. Jahrb. 85 (1938), 481.
11. *E. A. Mitscherlich, E. v. Boguslawski* u. *A. Gutmann,* l.c. blz. 99 tabel XXXII, met stikstofbemesting in den vorm van chilisalpeter.
12. Kort Verslag over de Proefvelden in Overijsel over 1937, blz. 31/32.
13. *O. de Vries* u. *C. W. G. Hetterschij,* „Der Phosphorsäure-Haushalt im Heidesandboden" (1936), blz. 44; ook Z. Pflanzenern., Düng. u. Bodenk. 43 (1936), 87.
14. *W. C. Visser,* Versl. v. Landbwk. Onderz. 44 (1938), 313; ibidem 44 (1938), 999—1002 (deze laatste verhandeling voor publicatie ingezonden December 1936).
15. *P. Bruin,* Versl. v. Landbwk. Onderz. 42 (1936), 814.
16. *F. van der Paauw,* Landbouwkundig Tijdschrift 50 (1938), 795.
17. *O. de Vries,* Bodenk. u. Pflanzenern. 14 (1939), 6.
18. Zie b.v. de samenvatting van proeven bij Vorstenlandsche Tabak, *O. de Vries,* Meded. Proefst. v. Tabak te Klaten XXVII (1916), 10.
19. *C. A. Mooers,* Journ. Amer. Soc. Agron. 12 (1920), 16.
20. *H. A. Wallace,* naar Crop Production by *H. H. Hughes* and *E. R. Henson* (Mac Millan 1930), blz. 370.
21. *E. A. Mitscherlich, E. v. Boguslawski* u. *A. Gutmann,* l.c. blz. 83, tabel XXV. Grafische afbeelding zie *F. van der Paauw,* dit Tijdschr. 50 (1938), 802 Fig. 2.

22. *G. Liebscher,* Journ. f. Landwirtsch. 43 (1895), blz. 116 Tabel IX.
23. *A. Lange,* Landwirtsch. Jahrb. 85 (1938), 481.
24. *E. A. Mitscherlich,* Die Ernährung der Pflanze 30 (1934), 18.
25. *E. A. Mitscherlich,* Landwirtsch. Jahrb. 71 (1930), 445.
26. *E. A. Mitscherlich,* Landwirtsch. Jahrb. 52 (1919), 280.
27. Zie b.v. „De Boerderij" van 17 Aug. 1938, blz. 1 en 2.
28. Zie b.v. *E. A. Mitscherlich,* Schriften der Königsberger Gelehrten Gesellschaft 15 (1938), 3 en 4.
29. *B. Dirks,* Kühn-Archiv 38 (1933), 164.
30. *A. Åslander,* Zeitschr. Pflanzenern., Düng. u. Bod. A, 23 (1932), 362; Svensk Botanisk Tidskrift 25 (131), 77.
31. *E. J. Russell,* Ernährung der Pflanze 24 (1928), 259.
32. *O. de Vries,* Landbouwk. Tijdschr. 51 (1939), 58.

TABEL I.

Potproeven.

No.	Onderzoeker	Literatuur	Gewas	Niveau-factor	Groei-factor (abscis)	Geval	Opmerkingen
1	Rippel, Estor en Meijer	Z. Pfl.ern. D. u. B. A 8, 1926, 72	Haver	N (2)	K (7)	I	Zie Fig. 6
2	Mitscherlich, v. Boguslawski u. Gutmann	Königsb. Gel. Ges. 12, 1935, 51	Haver	N (12)	K (12)	II?	Met overgangen naar I.
3	Mitscherlich	Ldwsch. Jahrb. 52, 1919, 280	Haver	N (3)	K (4)	I	
4	Landeck	Diss. Königsb 1937	Festuca pratensis	N (5)	K (5)	I	Verscheidene proeven met verschillende proefopstelling (Maaitijd, tijd van bemesting), alle duidelijk geval I.
5	Kletschkowski en Shelesnow	Ldwsch. Jahrb. 74, 1931, 353	Haver	N (7)	P (9)	I	
6	Mitscherlich, v. Boguslawski u. Gutmann	l.c. 68	Haver	N (11)	P (11)	I	
7	Mitscherlich	Ldwsch. Jahrb. 53, 1919, 502	Haver	N (3)	K (5)	I	
8	Gutmann	Z.Pfl.ern. D. u. B. A 35, 1934, 310	Haver	N (20)	P (20)	I	
9	Kletschkowski en Shelesnow	l.c.	Haver	P (9)	N (7)	I	Zie Fig. 7.
10	Opitz en Rathsack	Ldwsch. Jahrb. 68, 1929, 345	Mosterd	P (2)	N (6)	I	
11	Mitscherlich, v. Boguslawski u. Gutmann	l.c. 68	Haver	P (11)	N (11)	I	
12	Gutmann	l.c.	Haver	P (20)	N (20)	I	
13	Meijer	Z. Pfl.ern. D. u. B. A 10, 1927/28, 329—347	Haver	P (2)	N (11)	I	
14	Mitscherlich, v. Boguslawski u. Gutmann	l.c. 59	Haver	P (11)	K (11)	I	Deels in Fig. 8.
15	id.	id.	Haver	K (11)	P (11)	I	
16	Mitscherlich	Ldwsch. Jahrb. 53, 1919, 502	Haver	K (5)	N (3)	I	

No.	Onderzoeker	Literatuur	Gewas	Niveau-factor	Groei-factor (abscis)	Ge-val	Opmerkingen
17	Landeck	l.c.	Festuca pratensis	K (5)	N (5)	I	Zie opmerking bij bij No. 4.
18	Mitscherlich,	Ldwsch. Jahrb. 52, 1919, 280	Haver	K (4)	N (3)	I	
19	Mitscherlich, v. Boguslawski	l.c.	Haver	K (12)	N (12)	I	
20	u. Gutmann	id.	Gerst	K (8)	N (7)	I	Bij andere boomsoorten onregelmatig.
21	id. Süchting	Bdk. u. Pfl.ern. 5 (50) 1938, 338	Roode beuk	N, P, K (2)	Ca (4)	III	
22	Mitscherlich en Wagner	Ldwsch. Jahrb. 58, 1923, 645	Haver	Mg (5)	K (5)	I	
23	Mitscherlich, v. Boguslawski	l.c. 83	Haver	Na (4)	K (4)	III	
24	u. Gutmann Lemmermann, Hasse u. Jessen	Z. Pfl.ern. D. u. B. B. 7, 1928, 49	Haver	P, K, water (5)	N (6)	I	
25	Pfeiffer, Blanck en Flügel	Ldwsch. Vers. Stat. 67, 1; 71, 1691	Haver	Water (3, 20)	N (6, 10)	I	Twee series proeven.
26	Lange	Ldwsch. Jahrb. 85, 1937, 465	Haver	Water (4)	N (10)	I	Zie Fig. 9.
27	id.	id.	Haver	N (10)	Water (4)	I	
28	id.	id.	Haver	Water (4)	P (9)	II	Dicalciumphosphaat. Zie Fig. 21.
29	id.	id.	Haver	P (9)	Water (4)	I	id.
30	Mitscherlich	Ldwsch. Jahrb. 49, 1916, 390	Haver	Water (2)	P (6)	I	Smolensk-Phosphorit
31	id.	id. 353	Haver	Water (2)	P (6)	I	Tricalciumphosphaat
32	id.	id. 353	Haver	Water (2)	P (6)	II?	Thomasslakkenmeel, reeks kort, resultaat twijfelachtig
33	id.	id. 358	Haver	Voedingsopl. (3)	P (4)	I	Tricalciumphosphaat, 3 proeven
34	Pfützer	Ldwsch. Jahrb. 76, 1932, 745	Haver	Water (4, 2)	N (5)	I	Twee series proeven .
35	Gerlach, Günther en Seidel	Z.Pfl.ern. D. u. B. A 11, 1928, 10	Haver	Water (3)	N (5)	I	
36	Eichler	Archiv. f. Pfl.bau 3, 1930, 494—528	Haver	Water (2)	N (7)	III?	Met $NaNO_3$ tamelijk zeker III, met $(NH_4)_2SO_4$ II, of misschien III
37	Tornau en Meijer	Journal f. Ldw.sch. 79, 1931, 163	Haver (2 soorten)	Water (3)	N (6)	I-II	Bij xerophytische soort (Pfugs Früh) II, bij Friedrichwerth. Berg I
38	Mitscherlich	Ldwsch. Jahrb. 58, 123, 601—617	Haver	Volume zand (4)	K (5)	III	Bij grond van Quanditen; bij grond van „Kalkstein" onregelmatig
39	id.	id.	Haver	K (5)	Volume zand (4)	III	
40	id.	ibid. 49, 1916, 335	Haver	Volume zand (5)	Voedingsopl. (4)	I	

No.	Onderzoeker	Literatuur	Gewas	Niveau-factor	Groei-factor (abscis)	Ge-val	Opmerkingen
41	Mitscherlich	id. 349	Wortel	Volume zand (5)	Voedings-opl. (4)	III?	Krommen onregelmatig, resultaat niet duidelijk
42	Mitscherlich, v. Boguslawski u. Gutmann	l.c.	Haver	Grondtype (3) Waterhoev.h.	N (10)	I	Zie Fig. 10
43	Rippel en Meijer	Z.Pfl.ern. D. u. B. 27, 1933, 281	Haver	Grondsoort (2)	N (15)	I	
44	id.	id.	Mosterd	Grondsoort (2)	N (15)	I	
45	v. d. Honert	Arch. v. d. Suikerind. in N.I. 1933, 143	Suikerriet	pH	P	III	Verhoogde phosphaat-opbrengst bij lage pH (7.5 tot 4.5) in watercultures
46	Mitscherlich u. Sauerlandt	Ldwsch. Jahrb. 81 1935, 623—654	Haver	SiO_2 (3)	N (10)	I	
47	Lemmermann, Wiesmann en Sammet	Z.Pfl.ern. D. u. B. A 4, 1925	Rogge	SiO_2 (4)	P (4)	III	Proef met haver onregelmatig
48	Dix en Rauterberg	Z.Pfl.ern. D. u. B. 13, 1934, 233—246	Gerst	P (3)	SiO_2 (4)	III	
49	Naftel	J. Am. Soc. Agron., 29, 1937, 764	Soja	Mn (3)	Ca (6)	III	Iets onregelmatig
50	Hill	J. Am. Soc. Agron., 29, 1937, 809—814	Mosterd	Grondsoort (3)	Cu	I	
51	Frank	Bdk. u. Pfl.ern., 1 (46) 1936, 133-168	Sla	Licht (2)	K (3)	III	Twee oogsten, boekweit, stamboonen en wortels, onregelmatig
52	Giesecke en Klander	Fortschr. d. Ldw.-sch. 8, 1933, 73-77	Mais	N, P, K (3)	Standruimte (6)	I?	Maar weinig punten op stijgend deel van de kromme
53	id.	id.	Mais	Grondsoort (2)	Standruimte (6)	III?	Als boven
54	Meijer	Z.Pfl.ern. D. u. B. A 8, 1926/27, 141	Aspergillus	Suiker (2)	N (10)	I	

TABEL II.
Veldproeven.

No.	Onderzoeker	Literatuur	Gewas	Niveau-factor	Groei-factor (abscis)	Geval	Opmerkingen
1	F. v. d. Paauw	—	Rogge	P (1×3)	N (3)	I	Proefv. Pr 448, 1938, zie Fig. 11. Niet geheel zeker.
2	id.	—	Aardappels	P (3)	K (3)	I	Proefv. OO 51, 1937, zie Fig. 12. Niet geheel zeker.
3	C. A. Mooers	J. Am. Soc. Agr. 12, 1920, 16	Mais	Vrucht-baarh. v. d. grond (2)	Stand-ruimte, planten p. ha (7,12)	III	2 plaatsen in Tennessee. Zie Fig. 15.
4	L. W. Osborn	Arkansas Exp. St. Bull. 200, (1925), 20	Mais	Vrucht-baarh. v. d. grond (2×7)	Stand-ruimte, planten p. ha (5)	III	7 soorten in twee vruchtbaarheids-groepen.
5	O. de Vries	—	Aardappels	Weer (18)	N	II	Proefv. Pr. 8, 18 jaren, ieder 3 combinaties
6	G. Liebscher	J. f. Landwsch. 43, 1895, 99	Zomertarwe, korrels	Weer (3)	N	II	Drie jaren, ieder 4 combinaties
7	id.	id.	Zomertarwe, stroo	id.	N	III	id.
8	id.	ibid. 117	Aardappels	Weer (9)	N	III	id.
9	O. de Vries	—	Aardappels	Weer (18)	P	?	Zie opm. bij No. 5, geval III, overgaand in II-I
10	F.. v. d. Paauw	Lndbwk. Tijdschr. 50 (1938), 819.	Rogge	Weer (11)	P	III	Proefv. Pr. 8, 11 jaren, ieder drie combinaties
11	O. de Vries	—	Aardappels	Weer	K	I	Als No. 5
12	G Liebscher	l.c.	Zomertarwe, korrel	Weer	K	II-III	Als No. 6
13	id.	id.	Zomertarwe, stroo	id.	K	?	id. geval III tot II
14	F. v. d. Paauw	l.c.	Rogge	Weer (11)	K	III	
15	P. Bruin	Versl. Landb.k. onderz. 44, 1938, 341	Rogge	Vrucht-baarh. en weer	pH	III	42 oogstjaren van verschillende (28) proefvelden
16	W. C. Visser	Versl. Landb.k. onderz. 44, 193, 341	Rogge	Vrucht-baarh. en weer	pH	III	12 oogstjaren
17	id.	id. 334—338	Aardappels	id.	pH	III	29 oogstjaren
18	id.	id.	Gerst	id.	pH	III	9 oogstjaren
19	id.	id.	Tarwe	id.	pH	III	23 oogstjaren
20	id.	id. 328	Suikerbiet	id.	pH	III	13 oogstjaren
21	L. W. Osborn	l.c.	Mais	Weer (4)	Stand-ruimte (4)	III	
22	Brandon	J. Amer. Soc. Agr. 29, 1937, 584—599	Mais	Weer	Stand-ruimte	III	Gemiddelde van 3 goede jaren tegen gem. van 3 slechte.
23	Schulze	Mitt. D.L.G. 1915, St. 37	Rogge	Hoeveelh. zaad (2)	N (5)	I?	Niet zeker
24	Schneidewind	Arb. D.L.G. Heft 23, 1916	Rogge	N (2)	Hoeveelh. zaad	III?	Niet zeker
25	H. A. Wallace	Wallace's Farmer 50, 1925, 641	Mais	Weer	Stand-ruimte (planten p. plek) (5)	III	Opbrengsten van 21 jaren (Ohio) in 3 vruchtbaarh.-groepen. Zie fig. 16
26	W. M. Jardine	J. Am. Soc. Agr. 8, 1916, 165	Wintertarwe	Zaaitijd (8)	Hoeveelh. zaad (4)	III	Gemiddelde van 3 jaren (Kansas).

Yield curves and yield laws; the interaction of growth factors

by

Prof. Dr. O. DE VRIES.

(Summary).

The effect of different factors on the growth and yield of the crop is mostly studied for each factor separately, because field experiments with combinations of different factors, each in a series of increasing amounts, are so much more laborious. However, the interaction of growth factors is of as much importance as their separate action, and is not the same in alle cases: at a higher fertility level a shortness in respect to a certain factor (for instance, lower pH) may damage the crop less, but with other factors the effect may, in the contrary, be larger (for instance potassium or phosphate shortness at a higher nitrogen level).

J. v. Liebig's law of the minimum gave a simple picture of the interaction of growth factors (see Fig. 1 and its explanation on page 729), based on the conception of a chemical compound being formed in fixed proportions. In chemistry the compounds with constant composition (example in Fig. 2) were complemented by the absorption compounds (example in Fig. 3); in a similar way the first great triumphs of agricultural chemistry had to be completed and Liebig's law was amended by *G. Liebscher's* law of the optimum (Fig. 4) and later on by different other investigators, amongst whom *E. A. Mitscherlich* with his law of the constant nutrient effect factors (Wirkungsgesetz der Wachstumsfaktoren, Fig. 5) has taken a prominent place.

Examples have been given by different investigators that Mitscherlich's law does not hold; some of them are reproduced in Fig. 6 and 7, whilst similar examples from the investigations of *Mitscherlich* and his school are given in Fig. 8, 9 and 10. Fig. 11 and 12 give examples not in pot culture but in the field. In all these cases the maximum yield shifts to the right (higher values for the yield factor in question) at a higher fertility level.

It was, however, found that in other cases the maximum shifts to the left; Fig. 13 gives an example. Summarising the whole problem, Fig. 14 gives a *General Scheme* of the interaction between growth factors, in which the possible cases, and the meaning of Liebig's and Mitscherlich's law as an extreme case and a transition case respectively, may be seen. Examples of a displacement of the maximum to the left at higher yield levels are given in Fig. 15 and 16, in addition to examples already given in other places (lit. 1, 15, 16).

For studies on this problem one can also use simple manuring experiments without and with a certain fertiliser, provided that figures for the same crop for a number of years are available. Fig. 17 and 18 show in which manner the figures from such experiments can be used; Fig. 19 and 20 give examples.

A review of data, partly from the literature and partly from still unpublished experiments, for cases in which the position of the maximum can be determined with sufficient certainty, is given in Table I (page 758) for pot experiments and in Table II for field experiments. It will be seen that, in the former, case I (maximum

shifts to the right) is predominant; in the latter, case III. Examples in which Mitscherlich's law holds strictly are scarce; Fig. 21 gives one of them, but in this case the dose of nitrogen was not optimal, as may be seen from Fig. 9 (which relates to the same set of investigations), from which it follows that, at other nitrogen levels, the curves do not follow Mitscherlich's law.

In studying more closely some cases which have been put forward as examples for Mitscherlich's law, it is found that these are far from proving. Fig. 22 and 23 give examples. From the General Scheme in Fig. 14 it is clear that Mitscherlich's law, being a transitional case, may hold with smaller or larger deviations for cases which lie sligthly to the left or to the right of this zero-position. But in other cases the deviation is large, as is known from the literature (large differences in Mitscherlich's effect factor c, which is found to be far from constant, as is shown by the figures in the examples in Fig. 6, 9 and others). Mitscherlich's method of determining fertiliser need by pot experiments is based on the constancy of c; this is an approximation which is not acceptable in many cases. Mitscherlich's formula $\log (A-y) = \log A - c (x + b)$ is suitable to picture yield curves of different forms, by changing the three parameters (A for a deformation in vertical direction, b for a shifting in horizontal direction, and c for the slope of the curves); some of the forms that may be reproduced by this formula are given in Fig. 24. But when c is not constant, or b does not represent an amount in the soil that has some actual meaning, the formula loses much of its practical importance and applicability.

Reviewing a number of practical cases, which belong either to group I or to group III, the assumption is put forward that case I holds for factors such as nutrients that are taken up by the plant, whilst case III holds when the plant reacts on a physical environmental factor.

Examples of group I are cases in which, to show better the phenomena of potassum deficiency, one gives a large dressing of nitrogen and phosphate on demonstration fields; or, when one gives a larger amount of potassium than is mostly necessary, to avoid that in a very good year one misses the maximum crop then attainable. The conclusion that in good, sunny years the effect of potassium on potatoes is smaller (*E. J. Russell*, lit. 31) or that in bad years the effect of phosphate on fodderbeets is larger (ibid.) are examples that belong to group III. In a similar way one sometimes finds mentioned that the differences between the treatments on an experimental field become smaller in bad years (lit. 28): an example of group I; whilst others state that in bad years the poorly manured plots show a much lower percentage crop, in which case factors falling in group III are evidently studied.

For several of the above points the reader may be referred to Bodenkunde und Pflanzenernährung 14 (1939) page 1, and to a paper read before the meeting of the Fourth Commission of the International Society of Soil Science, held in Stockholm in July 1939.