Aangeboden door den Hoofddirecteur van het Rijkslandbouwproefstatio. te Groningen.

OVERDRUK
UIT HET LANDBOUWKUNDIG TIJDSCHRIFT, MAANDBLAD VAN HET NED. GENOOTSCHAP VOOR LANDBOUWWETENSCHAP.
50ste JAARGANG No. 617 OCTOBER 1938

# Over den samenhang tusschen groeifactoren en opbrengst, en de principes, die dit verband bepalen

BIBLIOTHEEK INSTITUUT VOOR BODEMVRUCHTBAARHEID GRONINGEN SEPARAAT No. 14291

door

Dr. F. VAN DER PAAUW.

*Ueber den Zusammenhang zwischen Wachstumsfaktoren und Ertrag, und die Prinzipen, welche diese Beziehung bestimmen.*

Zusammenfassung S. 35.

## § 1. Inleiding. Het belang van de opbrengstkromme voor de waardeering van de door het grondonderzoek bepaalde waarden.

Het onderzoek van grondmonsters van praktijkvelden heeft in Nederland en elders in de laatste jaren een groote vlucht genomen. Een dergelijk onderzoek op groote schaal zal eerst dan ten volle nut kunnen afwerpen, wanneer met zekerheid vaststaat, welke waarde aan een zeker analytisch vastgesteld cijfer mag worden toegekend. Deze kennis is slechts op den duur door zeer uitvoerig en zorgvuldig opgezet proefveldwerk te verwerven. In het aldus verkregen materiaal zal de samenhang tusschen de opbrengsten van onder zeer uiteenloopende omstandigheden verbouwde gewassen, en de in het laboratorium bepaalde bodemgrootheden, zooals b.v. pH, kali- en fosforzuurcijfers, vastgesteld kunnen worden. Verschillende publicaties van het Rijkslandbouwproefstation te Groningen werden in de laatste jaren aan een nadere oplossing van dit vraagstuk gewijd (1, 25, 33, 37, 38, 39). Onder leiding van *Prof. Dr. O. de Vries* werd verder speciale aandacht gegeven aan de juiste opzet van veldproeven voor dit doel volgens het serieprincipe (35, 36, zie ook 20), dat inhoudt, dat op een proefveld een serie objecten met opklimmende trappen van een bepaalde groeifactor aanwezig moet zijn. Zoodoende wordt het mogelijk het verband tusschen de opbrengst en bepaalde bodemgrootheden over een groot traject van bodemvruchtbaarheid te vervolgen, en een opbrengstkromme te verkrijgen, die reikt van het gebied, waar de bestudeerde groeifactor te weinig aanwezig is, tot het gebied, waar deze factor in overmaat verkeert.

Uit het reeds verrichte onderzoek is wel gebleken, dat de vorm van op verschillende grondsoorten en bij diverse gewassen verkregen opbrengstkrommen geenszins congruent is, en dat de groeiomstandigheden zelfs oorzaak kunnen zijn, dat soms in opeenvolgende jaren, op dezelfde grondsoort en bij verbouw van eenzelfde gewas, een zeer ongelijk resultaat verkregen wordt. Deze omstandigheid bemoeilijkt de waardeering van de analytische cijfers in hooge mate, aangezien een betrouwbaar oordeel daardoor eerst na een langjarige voortzetting van de proeven met verschillende gewassen verkregen kan worden. Naarmate onze kennis zich vermeerdert, zal met grootere nauwkeurigheid aangegeven kunnen worden, welke cijfers gemiddeld als de optimale moeten gelden, en bij welke cijfers de rentabiliteitsgrens van de bemesting ligt.

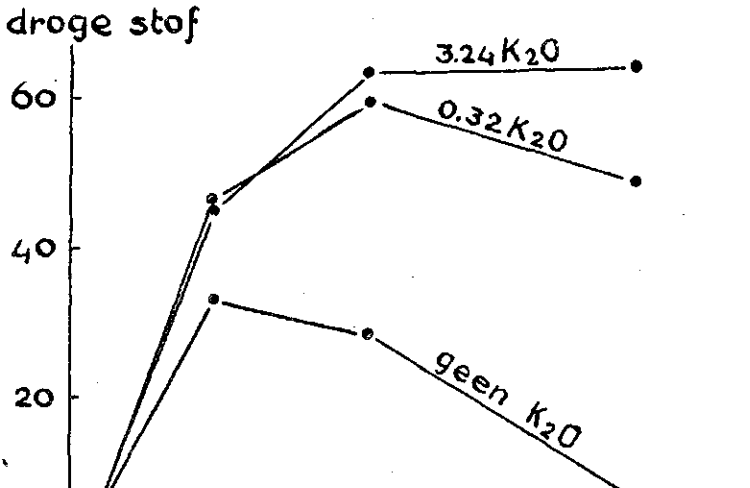
Indertijd is door *Mitscherlich* (18) een veel eenvoudiger voor-

stelling van dit probleem gegeven. De door hem geformuleerde wet van de constante werkingsfactoren houdt in, dat de toeneming van de opbrengst (dy) bij vermeerdering van een groeifactor (dx) bepaald zou worden door het verschil tusschen de bij optimale doseering te bereiken hoogste opbrengst (A) en de bereikte opbrengst (y), en een constante, de zoogenaamde werkingsfactor (c). In formule gebracht heeft deze wet den volgenden vorm:

$$d_y / d_x = c\ (A - y).$$

Een konsekwentie van deze wet, waaraan absolute geldigheid zou toekomen, is, dat de opbrengstkromme onder alle omstandigheden gelijkvormig zal zijn, onverschillig de grootte van A. De optimale opbrengst kan dus wel, afhankelijk van de overige milieufactoren, hooger of lager zijn, maar zal altijd bij een bepaalde waarde van de groeifactor vallen. Hetzelfde geldt uiteraard ook voor de punten, die een zeker gedeelte van A aangeven, dus ook b.v. voor het punt, waar een bemesting rendabel begint te worden, de zoogenaamde grenswaarde. Aan optimale waarden en grenswaarden, zou dus volgens *Mitscherlich's* opvatting een veel absoluter beteekenis toekomen, dan hierboven door ons werd betoogd.

Opgemerkt moet echter worden, dat het door *Mitscherlich* (19, 21,) later ten bewijze van deze stelling aangevoerde materiaal uiterst spaarzaam is geweest, en bij nadere beschouwing niet in alle gevallen bewijzend is. In fig. 1 is één van deze proeven weergegeven. Deze proef diende ter bestudeering van de invloed op de opbrengst, uitgeoefend door verschillende stikstofbemestingen bij ongelijke niveaux van de kalibemesting. Terwijl het ontbreken van een behoorlijke overeenstemming bij de door *Mitscherlich* uitgevoerde vergelijking van een uit een formule berekende reeks getallen met de experimenteel gevonden waarden niet zoo duidelijk opvalt, is dit in een grafische voorstelling (zie fig. 1) wel het geval.




FIGUUR 1.

De invloed van stikstofbemesting op de opbrengst van haver bij verschillende trappen van kalibemesting (volgens Mitscherlich).

*Der Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Ertrag von Hafer bei verschiedener Kalidüngung (nach Mitscherlich).*

Het is onmiskenbaar, dat de optimale opbrengsten bij de drie gekozen kalitrappen bij ongelijke stikstofgiften verkregen worden, en niet, zooals *Mitscherlich* bewijzen wilde, bij dezelfde stikstofdosis. Kritiek tegen deze opvattingen is dan ook in velerlei vorm geuit, zie o.a. de kritische samenvatting van *Rippel* (26). Slechts als een zeer algemeen gestelde regel bezit de wet wellicht een zekeren biologischen grondslag, men zie hiervoor blz. 800.

Het kan thans echter wel als vaststaand worden aangenomen, dat de opbrengstkromme geenszins onder ongelijke nevenomstandigheden altijd gelijkvormig is, en dat aan zoogenaamde grensgetallen en optimumwaarden slechts een gemiddelde, maar niet een voor elk bizonder geval geldende waarde toekomt. Indien deze opvatting juist is, kan de vraag opkomen, of deze in den vorm van de opbrengstkromme mogelijke wijzigingen wellicht aan bepaalde regels onderworpen zijn, en verder welke oorzaken het zijn, die bewerken, dat het verband tusschen de opbrengst en de groeifactor zich wijzigt.

Een zekere regelmatigheid in de wijze, waarop zich vormveranderingen voltrekken, blijkt in verschillende onderzoekingen (o.a. van *Rippel*, 26, *Meijer*, 16, *Mitscherlich*, *von Boguslawski* en *Gutmann*, 22, *Kletschkowsky* en *Shelesnow*, 11, *Lemmermann*, *Hasse* en *Jessen*, 12) te bestaan. Het wekt namelijk meermalen den indruk, dat de optimale opbrengst bij een des te grootere waarde van den groeifactor gevonden wordt, naarmate het vruchtbaarheidsniveau hooger ligt. In fig. 1 blijkt hetzelfde: wij zagen een verplaatsing van het optimum naar rechts, d.w.z. naar een grootere N-dosis, bij hooger, de opbrengst vermeerderend, niveau van de K-bemesting. Deze uitkomsten vonden hun uitdrukking in den regel van *Rippel*, welke zegt, dat de werkingsfactor (c) des te grooter is, naarmate de basisbemesting geringer is. De genoemde proeven zijn evenwel alle in potten of in cultuurkolven genomen; het blijft aan twijfel onderhevig, of deze regelmaat ook onder de verhoudingen van veldproeven gevonden zal worden.

Als oorzaken van variatie in den vorm van de opbrengstkromme zijn twee hoofdredenen aansprakelijk te stellen; de eerste is gelegen in de methode van grondonderzoek, de tweede in de wisselende eigenschappen van de plant.

Geen enkele methode van grondonderzoek is namelijk in staat volkomen datgene aan te geven, wat voor de plant in een concreet geval in den bodem beschikbaar is. Zoo kan b.v. het P-getal weliswaar een aanwijzing geven over de oplosbaarheid van het fosfaat in het bodemvocht, maar geen nauwkeurig inzicht in de beschikbaarheid, zooals deze in een bepaald geval werkelijk is. Dit heeft noodzakelijk tot gevolg, dat het verband tusschen de reactie van de plant en den bewusten bodemfactor onder invloed staat van nevenomstandigheden, die door deze bedoelde bodemfactor niet tot uitdrukking worden gebracht, ofschoon zij wel mede de beschikbaarheid bepalen.

De tweede reden is, dat de wijze waarop het gewas reageert, onder invloed van nevenfactoren, die op de planten inwerken, verschillend kan zijn. De invloed van deze andere factoren kan zoo groot zijn, dat de plant in verschillende physiologische toestanden kan komen te verkeeren (licht- en schaduwplanten, xerophiele of hygrophiele aanpassingen, enz.).

Op beide punten zal in de volgende paragraaf nader worden ingegaan.

## § 2. Over factoren, die invloed uitoefenen op de vorm van de opbrengstkromme.

1. *De analytisch bepaalde groeifactor geeft geen volledige aanwijzing over datgene, waarop de plant reageert.*

Het werd hierboven opgemerkt, dat een groeifactor niet identiek is met den toestand, welke de plant in den bodem aantreft. Dit geldt niet alleen voor grootheden zooals het P-getal en het K-getal, die de fosforzuur-, resp. de kalitoestand weergeven, maar zelfs voor de nauwkeurig bekende mestdosis in het eenvoudige geval van de potzandcultuur, welke aan het zand wordt toegevoegd. Immers in dit laatste geval is de groeifactor wel kwantitatief volledig bekend, maar is dit geenszins het geval met de beschikbaarheid verdeeld over de geheele vegetatieperiode. De beschikbaarheid voor het gewas wordt door een groeifactor dus nooit anders dan bij benadering weergegeven: deze is steeds afhankelijk van een zeer gevarieerd factorencomplex. Aan elke methode kleeft in dit opzicht een grootere of kleinere systematische fout, die men hier in tegenstelling met de chemische analysefout, de „biologische fout" van de methode zou kunnen noemen.

Keeren wij terug tot het bovengenoemde voorbeeld van het fosforzuurgetal, dan blijkt dus dat dit getal weliswaar de oplosbaarheid van het bodemfosfaat bij een bepaalde schudverhouding van grond en water, en bij verdere goed gedefinieerde voorwaarden aangeeft, maar nooit volkomen de beschikbaarheid van het fosforzuur voor de plant. Deze laatste is van velerlei factoren afhankelijk, behalve van de in den grond aanwezige fosforzuurvoorraad, o.a. ook van de hoeveelheid vrij bodemvocht, de ionen, die in een bepaald geval opgelost zijn, de topografische verdeeling van het fosforzuur, de ontwikkeling van de microflora van den grond, enz. Al deze factoren kunnen varieeren bij een zichzelf gelijkblijvend fosforzuurgetal. Om deze reden spreekt het daarom vanzelf, dat een fosforzuurgetal van een bepaalden grond nooit geheel gelijkwaardig is aan een gelijk fosforzuurgetal van een anderen grond; de beschikbaarheid kan in beide grondsoorten, ondanks het gelijke getal, zeer uiteenloopen. Maar ook op eenzelfde grondsoort zal de fosforzuurvoorziening van het gewas bij gelijkblijvend P-getal de eene maal voldoende, een andermaal onvoldoende kunnen zijn. Dit zal geheel afhangen van de variatie van allerlei bodemkundige factoren, die de opneembaarheid bepalen. Het is dus mogelijk, dat de optimale opbrengst op eenzelfden grond en bij eenzelfde gewas bij verschillend fosforzuurgetal gevonden wordt. Naarmate deze biologische fout van de analysemethode kleiner is, en de methode beter het ideaal nabijkomt, t.w. datgene aan te geven, waarvoor de plant gevoelig is, zullen deze variaties in den vorm van de opbrengstkromme van minder beteekenis zijn. Bij de bestaande methodes moet met deze mogelijkheid evenwel terdege rekening worden gehouden.

Er is in het algemeen geen aanwijzing te geven, welke wijziging de vorm van de opbrengstkromme in deze gevallen zal ondergaan. Men kan slechts zeer in het algemeen zeggen, dat in geval de bijomstandigheden gunstig zijn voor de beschikbaarheid van datgene, wat de methode bedoelt aan te geven (b.v. fosforzuur), het optimum bij een lagere waarde van den groeifactor (b.v. het fos-

forzuurgetal) zal liggen, dan in het geval dat deze voorwaarden ongunstiger zijn.

*2. De opname van een voedingstof is afhankelijk van de wisselende behoefte van het gewas, en de mogelijkheden, waarover dit beschikt om in deze behoefte te voorzien .*

In het bovenstaande werd uiteengezet hoe de beschikbaarheid kan varieeren bij constant zijn van de groeifactor; thans zal besproken worden hoe de behoefte van eenzelfde gewas kan varieeren, en hoe dit kan leiden tot een verschillende reactie op deze factor.

Het is zeer waarschijnlijk, dat de stofproductie bij eenzelfde beschikbaarheid van de in beperkte mate aanwezige groeifactor kan wisselen, ook al lijkt dit in strijd met de wet van het minimum van *Liebig,* volgens welk principe de opbrengst uitsluitend door de in het minimum verkeerende groeifactor wordt bepaald. De wet van de constante werkingsfactoren van *Mitscherlich,* die daarnaast ook den invloed van de overige groeifactoren erkent, brengt in dit opzicht — ook al moet de strikte geldigheid van deze wet om verschillende redenen betwijfeld worden — meer de tegenwoordig gangbare opvatting tot uiting.

Eveneens is het wel als vaststaand te beschouwen, dat een volkomen gelijkheid van den groeifactor geen vereischte is voor de vorming van een bepaalde hoeveelheid organische stof. De plant kan onder invloed van de overige factoren in ongelijke toestanden verkeeren, waardoor de stofproductie langs verschillende banen zal verloopen.

a. *De beschikbare groeifactor verkeert onder overigens gunstige factoren relatief meer in minimum dan onder ongunstiger omstandigheden; een verhoogde doseering van dezen groeifactor zal noodig zijn, om de onderlinge harmonie der groeifactoren te handhaven en opnieuw optimale groeivoorwaarden te scheppen.*

Deze opvatting, die bekend is als de leer van de *harmonische voeding,* is te beschouwen als een principe, dat logisch uit de *wet van het minimum* van *Liebig* volgt, en dat eenige aantrekkelijkheden heeft, omdat het eenvoudig en plausibel is; het is niet zoo zeer een theorie, die op experimenteele grondslagen is opgebouwd (zie in dit verband o.a. de samenvatting van *Scholz* (29).

Volgens deze opvatting zal de behoefte aan de het meest in het minimum verkeerende factor bij een hooger vruchtbaarheidsniveau van den grond grooter worden; een ruimere toevoer van de betreffende voedingsstof zal noodig zijn om de optimale opbrengst te bereiken. In een grafische figuur, die dit verband weergeeft, zal derhalve het optimum van de op het hoogere niveau liggende kromme ten opzichte van het optimum van een lager liggende naar rechts verschoven zijn (als in fig. 1).

Een verplaatsing van de opbrengstkromme in den hier bedoelden zin zal kans hebben om op te treden, als er inderdaad slechts een afgepaste hoeveelheid van een groeifactor ter beschikking staat. In dat geval bestaat er, zoodra de stof verbruikt is, geen mogelijkheid tot aanvulling; de groeifactor is in strikten zin beperkt aanwezig en daardoor beperkend. Dit zal in potproeven met zandcultuur,

waaraan de meststoffen zijn toegevoegd, veel eerder het geval kunnen zijn dan op het veld, waar de wortels uit de gronddeeltjes de daarin gebonden voedingsstoffen kunnen vrijmaken, waar per plant aanzienlijk meer grond ter beschikking staat, en waar ook de ondergrond in staat is, aan het gewas voedingsstoffen te leveren. In dat laatste geval bestaat er feitelijk geen beperkte voorraad, veeleer slechts een beperkte beschikbaarheid. Het gewas is in staat door aanpassing (krachtiger wortelontwikkeling, versterkte opname) deze tekorten tot op zekere hoogte te compenseeren. Het is daarom wel opvallend, dat een dergelijke verschuiving van het optimum herhaaldelijk bij potproeven werd waargenomen, maar dat het nog steeds twijfelachtig is, of deze verhoudingen ook op het veld gelden.

Het valt inderdaad veel moeilijker voor dit laatste voorbeelden aan te wijzen. Zoogenaamde algemeene bemestingsproefvelden, waarop volledige en onvolledige bemesting met N, P en K vergeleken worden, lijken voor een dergelijke studie zeer geschikt. Op de proefvelden Pr. 8 te Sappemeer (zie *Meijer,* 15) en ZGr. 1 op de Proefboerderij te Borgercompagnie (31) liggen volledig met N, P en K bemeste veldjes naast veldjes, waar een, twee of alle meststoffen weggelaten zijn. De mogelijkheid is hiermee gegeven een vergelijking te maken tusschen het effect, dat weglaten van een der meststoffen heeft bij een overigens volledige bemesting, met het effect, dat verkregen wordt, als in de basisbemesting bovendien een tweede meststof weggelaten wordt.

De uitkomst van een dergelijk onderzoek wordt in de derde paragraaf beschreven. Wij beperken er ons hier toe te vermelden, dat een verplaatsing van het optimum in den bedoelden zin inderdaad in een aantal gevallen werd geconstateerd, maar voegen er meteen aan toe, dat een grooter aantal hier tegenover staat, waar de verhoudingen anders liggen.

Met deze opvatting van de harmonische voeding staat de reeds eerder genoemde wet van de constante werkingsfactoren van *Mitscherlich,* die tot uitdrukking brengt, dat de gesteldheid van de overige groeifactoren integendeel geen invloed heeft op de grootheid van de *relatieve* oogstdepressies, welke bij een tekort aan een bepaalde voedingsstof optreden, geheel in tegenstelling. Deze wet van *Mitscherlich* is evenwel niet anders, dan een op spaarzaam materiaal gebaseerde statistische regel, die van vele kanten bestrijding heeft ondervonden. Biologische gronden, waarom deze formuleering als een biologische *wet* op te vatten is, zijn door *Mitscherlich* nooit genoemd. Een physiologische grondslag zou b.v. voorhanden zijn, als aangetoond was, dat de nadeelige invloed van het in te geringe mate aanwezig zijn van een groeifactor zich zeer gelijkmatig op alle deelen en levensprocessen van de plant zou doen gelden, als b.v. kaligebrek op den groei, ademhaling, assimilatie van zouten en koolzuur, enz. een gelijkmatigen verzwakkenden invloed zou hebben. In deze algemeenheid is dit echter zeker niet waar, er zijn vele gevallen bekend, waar sommige processen meer door een bepaald tekort geschaad worden dan andere. Toch is de stelling aan den anderen kant niet geheel af te wijzen; men moet toegeven, dat het eindproduct van den plantengroei niet zoozeer uiteenloopt, als de tijdelijk plaatsgrijpende reacties op de zeer ongelijke inwerkingen zouden doen verwachten. Dit resultaat moet worden toegeschreven aan de regelende functies van de plant, d.w.z. aan het vermogen

aanpassingen te verrichten, waardoor verstoorde verhoudingen weer binnen bepaalde proporties worden teruggebracht. Het zou echter te ver voeren hier verder op in te gaan; onze bedoeling was slechts een aanwijzing te geven, dat de regel van *Mitscherlich* vanuit physiologisch oogpunt wel eenige reden van bestaan kan hebben. De basis, die op deze wijze aan een natuurwet gegeven wordt, blijft natuurlijk uiterst vaag. Men zal er hoogstens mee kunnen rekenen als een principe, dat de reden vormt voor een zekere constantie van de werkingsfactoren, niet echter als een physiologische wet, waaraan onbetwistbare geldigheid toekomt.

*b. De morphologische en physiologische toestand van het gewas, die beheerscht wordt door de omstandigheden, waaronder het opgroeit, is beslissend voor de reactie op een bepaalde voedingsfactor.*

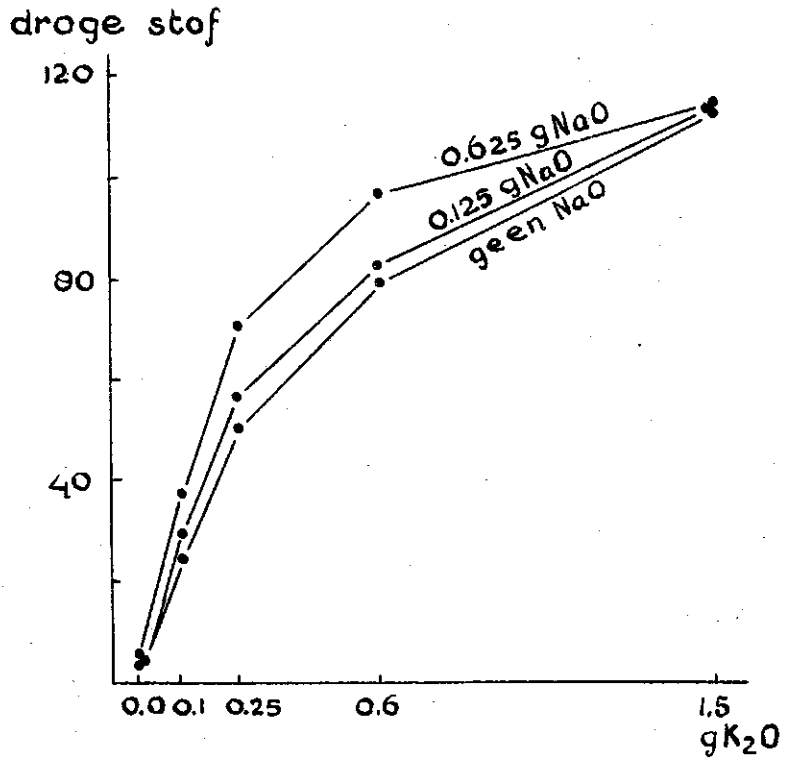
De toestand, waarin een gewas verkeert, hangt ten zeerste af van de omstandigheden, waaronder het is opgegroeid. Deze kunnen een geheel verschillende morphologische ontwikkeling veroorzaken, en eveneens kunnen zij de physiologische functies doen veranderen. Het wel of niet voldoende aanwezig zijn van fosforzuur heeft b.v. ver strekkende gevolgen voor de ontwikkeling van het wortelstelsel (*Goedewaagen* 5, 6), en voor de vorming van de bovenaardsche deelen (o.a. *Williams* 40, *Gregory* 7), waarbij wij de echte storingen in de stofwisseling, die zichtbare schade brengen, nog buiten beschouwing laten.

De physiologische verrichtingen van een plant kunnen eveneens ingrijpend gewijzigd worden, zoodat inderdaad van verschillende physiologische toestanden te spreken is. Dit blijkt b.v. duidelijk als de invloed van den factor kali beschouwd wordt. Een bij gebrekkige kalivoeding opgegroeide plant kan (zie de samenvattende publicatie van *Schmalfuss,* 28), als gevolg van dit kaligebrek een protoplasma hebben met lagen hydratatietoestand; het water wordt door de plasmakolloïden slechts met een geringe kracht vastgehouden. Het gevolg is, dat de kali-arme plant gemakkelijk aan ernstig watergebrek blootstaat. Het is inderdaad vaak geconstateerd, dat deze planten kwistiger water verbruiken. Toch zou het onjuist zijn te meenen, dat de eenige oorzaak van het ruimere waterverbruik in den toestand van de kolloïden gelegen is. Integendeel blijkt soms bij de kaliarme plant een geheel gewijzigde waterhuishouding te bestaan. De bij behoorlijk met kali gevoede planten aanwezige beharing is niet ontwikkeld, de cuticula van de bladopperhuid is dunner, en er is soms zelfs een grooter aantal huidmondjes per eenheid van bladoppervlak gevormd. Het physiologisch reactievermogen van deze huidmondjes is gewijzigd, bij beperking van de watertoevoer blijken zij hierop veel minder scherp te reageeren dan de huidmondjes van met meer kali gekweekte planten. De waterhuishouding van een kaliarme plant draagt dus veel meer het karakter van hygrophilie dan de waterhuishouding van kalirijke planten, die zich meer in de richting van xerophilie ontwikkeld hebben (succulentie, scherp reageerende huidmondjes, beschermde epidermis). Deze verschillen in bouw en leefwijze brengen noodzakelijk andere verschillen mee; zoo bepaalt, om een voorbeeld te noemen, het reactievermogen van de huidmondjes niet alleen de afgifte van water, maar ook de uitwisseling van gassen, in het bijzonder van het voor de stofproduktie noodzakelijke koolzuur. Het is daarom zonder meer

uiterst waarschijnlijk, dat de vorm van de kaliopbrengstkromme bij een ongelijk vruchtbaarheidsniveau zeer verschillend zal moeten uitvallen. Dit zal o.a. zeker het geval zijn als de beschikbaarheid van het water uiteenloopt.

Een andere belangrijke wijziging in den toestand van een plant kan ontstaan, als de behoefte aan een bepaalde factor vermindert, doordat een vervangende groeifactor aanwezig is. Een bekend voorbeeld is de overname van functies, die in den regel door het kalium vervuld worden, door het natrium. Dit laatste zou het kalium zonder schade in het celvocht kunnen vervangen, waardoor het kalium voor andere functies van de plant ter beschikking zou komen. Vooral bij de suikerbiet is deze gunstige invloed van het natrium bekend (zie o.a. *Maschhaupt,* 13, 14; *van Itallie,* 9; *van Schreven,* 30).

Een voorbeeld hiervan werd door *Mitscherlich* (22) ook bij haver gevonden; het is in fig. 2 afgebeeld. In aanwezigheid van natrium




FIGUUR 2.

De invloed van kalibemesting op de opbrengst van haver zonder en met toevoeging van natrium (volgens Mitscherlich).

*Der Einfluss der Kalidüngung auf den Ertrag von Hafer mit und ohne Zusatz von Natrium (nach Mitscherlich).*

worden bij een lage kali-concentratie hoogere opbrengsten verkregen dan zonder toevoeging van deze stof.

Vermoedelijk is de gedeeltelijke overdracht van functies een veel

voorkomend verschijnsel. De wijd uiteenloopende chemische samenstelling van de gewassen (zie o.a. *Maschhaupt*, 13; *van Itallie*, 8) geeft in dit opzicht een aanwijzing. De behoefte van een plant aan een bepaalde stof zou, door de mogelijkheid de eigen samenstelling te varieeren, voor wijziging vatbaar kunnen zijn.

Van ongelijke toestanden kan ook gesproken worden, als een onder gunstige voorwaarden gegroeid gewas krachtiger ontwikkeld is dan een gewas, dat bij een lager niveau van vruchtbaarheid gegroeid is.

Het is aannemelijk, en de phytopathologie heeft hiervan voorbeelden gebracht, dat een dergelijk krachtiger gewas een grooter weerstandsvermogen tegen bepaalde ongunstige factoren hebben dan een minder gezond gewas. De veronderstelling zal nu kunnen worden gemaakt, dat dit gewas ook beter tegen den nadeeligen invloed van het in te geringe mate aanwezig zijn van een bepaalde voedingsfactor bestand zou zijn. In de eerste plaats kan men zich voorstellen, dat een onder gunstige omstandigheden gegroeide plant physiologisch tot meer in staat is dan een plant, die onder minder gunstige omstandigheden verkeerde, en waarbij een algemeene verzwakking en verstoring van de levensverrichtingen is opgetreden. Als voorbeeld hiervan is te noemen, dat een gezonder gewas als gevolg van een krachtiger ademhaling, die voor de zoutopname beslissend is, meer ionen zou kunnen opnemen bij een lage concentratie van een bepaalde voedingsstof. Aangezien de ademhalingsintensiteit van de wortels weer bepaald is door de toevoer van koolhydraten, en deze laatste weer door de functies van de bovenaardsche deelen, vooral door de koolzuurassimilatie bepaald wordt, is het duidelijk, dat een krachtig assimileerend gewas ook ten opzichte van de opname van een in minimum verkeerende stof een voorsprong zal kunnen krijgen.

In de tweede plaats kan men zich het grootere weerstandsvermogen van een krachtiger gewas ontstaan denken door een betere morphologische ontwikkeling van boven- en onderaardsche deelen. Dit laatste, d.w.z. een krachtiger doorworteling van den grond, kan b.v. de plant in staat stellen meer bodemdeeltjes te bereiken en den grond daardoor sterker uit te buiten; ook kan een diepergaánde beworteling oorzaak zijn, dat de ontbrekende stof uit lagen opgenomen wordt, die voor het minder ontwikkelde gewas onbereikbaar zijn. Strikt genomen zou men dit laatste geen verhoogd weerstandsvermogen ten opzichte van de in minimum verkeerende factor mogen noemen, daar deze stof hier wordt opgenomen uit een bron, die voor het andere gewas niet toegankelijk is. Practisch komt het evenwel op hetzelfde neer, aangezien het gewas in beide gevallen, als gevolg van de door betere groeiomstandigheden begunstigde ontwikkeling, aan een tekort weet te ontkomen. Onder een verhoogd weerstandsvermogen blijven wij daarom het complex van verschijnselen verstaan, waarbij het gewas als gevolg van gunstiger groeiomstandigheden beter in staat is de gevolgen van een bepaald gebrek te weerstaan.

*W. C. Visser* heeft langs statistischen weg aangetoond, dat een bij hooger vruchtbaarheidsniveau gegroeid gewas in een aantal gevallen minder nadeel van een ongunstigen groeifactor ondervindt. Deze statistische regel werd door hem het principe van den vergrooten weerstand genoemd. Als mogelijke biologische oorzaak van

het geconstateerde verschijnsel opperde hij een krachtiger ontwikkeling van het wortelstelsel.

Een verder gaande stap is in de wijzigingen, die zich in het weerstandsvermogen van de plant kunnen voltrekken een verschijnsel van zoo algemeene strekking te zien, dat dit als een biologisch principe gesteld zou kunnen worden. Of er voldoende redenen zijn om dit te doen, zal nader moeten blijken; de mogelijkheid willen wij echter stellen. Deze hypothetische regel zullen wij *„het principe van het variabele weerstandsvermogen"* noemen, waaronder dus alle gevallen te verstaan zijn, waarbij de weerstand van het gewas tegen het in minimum verkeeren van een groeifactor zoodanig varieert, dat deze onder overigens gunstige cultuurvoorwaarden groot, en onder ongunstige klein is, onverschillig welke oorzaken aan dit verschijnsel ten grondslag liggen.

Volgens deze opvatting zal het optimum van de opbrengstkromme onder gunstiger groeivoorwaarden bij een lagere waarde van de in minimum verkeerende groeifactor liggen. Dit is dus schijnbaar geheel in tegenstelling met de wet van het minimum van *Liebig,* die het tegendeel vereischt.

Het zou echter eenzijdig, en zeker niet juist zijn het gestelde principe als een algemeen geldige wet op te vatten, zelfs indien blijken mocht, dat het in vele gevallen op waarheid berust. De opvatting zou, als biologische regel opgevat, het accent geheel op het weerstandsvermogen van de plant leggen, en allerlei andere, eerder genoemde, factoren buiten beschouwing laten. Trouwens, al moge het waar zijn, dat er in de constitutie van een plant of in zijn morphologische ontwikkeling variaties mogelijk zijn, die soms de reden kunnen zijn, dat de ongunstige gevolgen van een tekort overwonnen worden, te bedenken valt toch, dat het uitoefenen van weerstand, d.w.z. het verrichten van aanpassingen, slechts onder bepaalde omstandigheden mogelijk is. Indien b.v. een bepaalde stof beslist onmisbaar is voor het verrichten van een bepaalde functie, dan is op geen enkele wijze een aanpassing aan dit gemis denkbaar.

Daar staat dan echter tegenover, dat ook aan andere „wetten" vermoedelijk geen algemeene geldigheid zal toekomen, en dat dit b.v. bij Liebig's wet van het minimum ook alleen het geval zal zijn, indien bepaalde voorwaarden verwezenlijkt zijn. Beide opvattingen sluiten elkaar dus slechts dan uit, zoolang men ze als absolute wetten beschouwt. Het zal daarom vermoedelijk juister zijn deze regels slechts als gedachtenbeelden te beschouwen, die men opstelt om in de veelheid der feiten een zekere ordening te brengen. In werkelijkheid zullen er vermoedelijk allerlei overgangen bestaan, die meer of minder bij het eene, of wel bij een ander principe onder te brengen zijn.

Op een geheel ander gebied, namelijk bij de studie van de koolzuurassimilatie van de planten is schrijver dezes tot overeenkomstige opvattingen gekomen. Het bleek bij dit onderzoek (23, 24), dat de werking van een in minimum verkeerende factor soms grootendeels afhankelijk kan zijn van den toestand waarin de plant verkeert, terwijl in andere gevallen de verschijnselen meer door den directen invloed van een uitwendigen factor bepaald worden en de inwendige toestand geen duidelijken invloed heeft.

Voor het verdere onderzoek is het van belang, dat bekend wordt, of de werkelijke verhoudingen meer in de richting van het eene

principe, dan wel met die van een ander principe overeenkomen, en welke factoren hiervoor beslissend zijn. Dit zal een nadere analyse van de groeiverschijnselen vereischen, die gedeeltelijk op plantenphysiologisch gebied zal liggen. Het landbouwkundige feitenmateriaal zal aanwijzingen kunnen geven, in welke richting zal moeten worden gezocht. Voor de landbouwkunde is het evenzeer van belang te weten, aan welk principe onder de omstandigheden van de praktijk een overwegende beteekenis toekomt. Hierdoor zal zich een algemeene basis kunnen vormen voor landbouwkundige beschouwingen en voor praktische voorlichting.

In de derde paragraaf zullen, zooals gezegd, de resultaten van twee algemeene bemestingsproefvelden nader worden geanalyseerd, en zal blijken, in hoeverre er reden bestaat, de hier uiteengezette principes voor geldig te houden.

Voordat wij hiertoe zullen overgaan, willen wij eerst nagaan, of er in de literatuur aanwijzingen gevonden worden, welke ten gunste van het principe van het variabele weerstandsvermogen zouden kunnen worden uitgelegd. Inderdaad blijkt het, dat er verspreid eenige feiten worden meegedeeld, die aan de genoemde opvatting eenigen steun zouden kunnen verleenen.

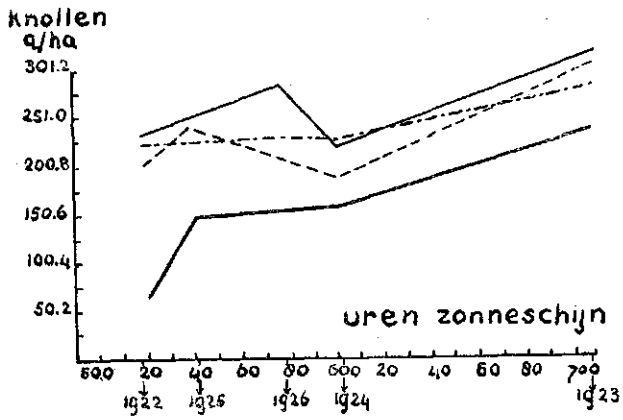
Volgens *Dirks* (4), die de resultaten van enkele Duitsche algemeene bemestingsproefvelden heeft bewerkt, zou de jaarlijksche opbrengst bij onvoldoende voeding met N, P en K veel meer aan schommelingen onderhevig zijn dan bij volledige voeding. Een bevestiging hiervan verkregen *Miller* en *Bauer* (17) op Amerikaansche tarweproefvelden. De opmerking van *Visser* (32), dat de proeffout van op onvruchtbare grondsoorten aangelegde proefvelden grooter is dan van proefvelden op vruchtbaren grond, slaat op een overeenkomstig verschijnsel.

Uit deze uitkomsten blijkt slechts, dat de oogstfluctuaties het grootst zijn op gronden met een laag vruchtbaarheidsniveau. Een verdergaande conclusie zou mogelijk zijn, als aangetoond kon worden, dat oogstdepressies op den minder vruchtbaren grond vooral voorkomen, indien daarenboven ook nog andere groeifactoren ongunstig zijn (b.v. het weer), maar dat de opbrensten relatief gunstig zijn, als het met de overige factoren beter gesteld is. Zoo meent *Russell* (27), dat fosforzuur- en kaligebrek vooral in ongunstige jaren zeer schadelijk is. Fig. 3, die uit de aangehaalde publicatie overgenomen is, geeft een beeld, hoe de opbrengst op veldjes van een proefveld, die niet met kali bemest werden, in zonlooze jaren een, vooral relatief, sterkere daling vertoont dan op behoorlijk met kali bemeste veldjes.

Iets dergelijks werd trouwens reeds in 1922 door *Jegorow* ingezien (geciteerd naar *Lemmermann* en *Hasse*, 12). Volgens zijn ervaring kan de graanoogst in de Oekraïne in slechte zomers nog vrij voldoende zijn als er met fosforzuur bemest wordt, hoewel een fosforzuurbemesting in gunstige zomers geen merkbaren invloed heeft.

*Butkewitch* (2) heeft later een verklaring van dit verschijnsel trachten te geven. Slechte zomers zijn volgens hem in de Oekraïne droge zomers; de regenval is de alles beheerschende factor. Aangezien *Butkewitch* gevonden had, dat de fosforzuurconcentratie bij geringere hoeveelheid bodemvocht afneemt, meent hij, dat hier-

in de oorzaak van het fosforzuurgebrek in droge zomers gezocht moet worden. *Butkewitch* ziet dus de oorzaak niet in door de fosforzuurbemesting verhoogden weerstand van het gewas (zich b.v. uitend in betere aanpassing tegen waterverlies of diepere beworteling), maar geeft, in dit geval misschien zeer terecht, aan het ver-




FIGUUR 3.

De opbrengsten van aardappelen in gunstige jaren met veel, en in ongunstige jaren met weinig zonneschijn met (bovenste lijnen) en zonder kalibemesting (onderste dikke lijn). Zonder K is de depressie in ongunstige jaren ernstiger (volgens Russell).

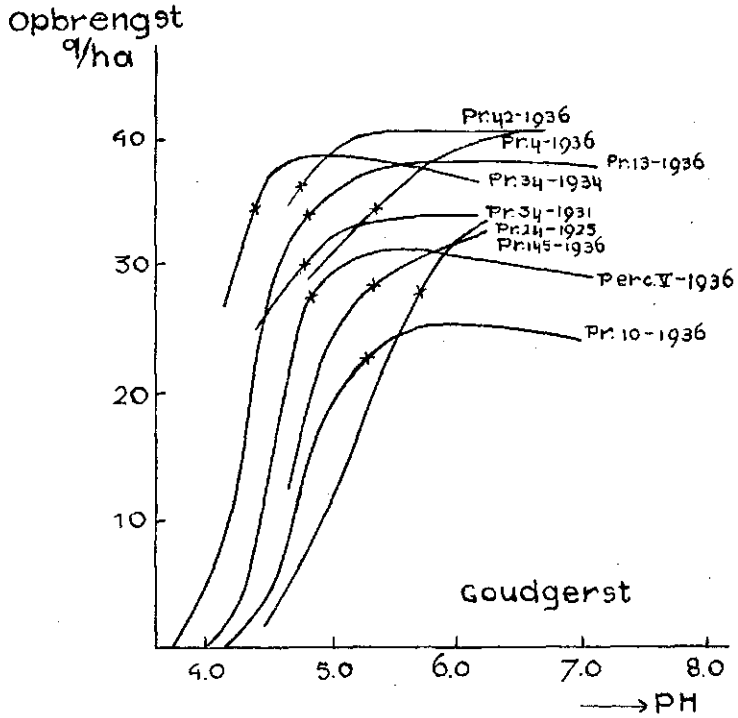
*Kartoffelerträge in günstigen Jahren mit vielen, und in ungünstigen Jahren mit wenigem Sonneschein mit (obere Linien) und ohne Kalidüngung (untere Linie). Die Ertragsdepression ist ohne Kali in ungünstigen Jahren grösser (nach Russell).*

schijnsel de verklaring, die hierboven besproken werd in § 2 (1e deel).

Een soortgelijke verklaringswijze zoeken *Görbing,* en in Nederland *Cleveringa* (3), voor de door hen waargenomen verschijnselen (zie *Visser* en *Hogen Esch,* 34). Fosforzuurgebrek zou volgens deze onderzoekers veel minder voorkomen op gronden met goede structuur en een krachtig bacterieleven, dan op in minder goeden toestand verkeerende gronden. Het fosforzuur zou door de bacteriën in een beter opneembaren vorm worden gebracht. Deze bacteriologische verklaring zoekt de oorzaak van de veranderde fosforzuurwerking eveneens in den bodem, maar niet in de plant zelf. Het laatste is echter ook denkbaar, als namelijk het opnemend vermogen van de plant door den verbeterden cultuurtoestand van den grond bevorderd zou zijn.

*Von Kreybig* (geciteerd volgens *Lemmerman,* 12) deed in 1927 in Hongarije reeds de waarneming, dat gebrek aan fosforzuur bij gunstig weer en goede bodembewerking niet voorkomt.

Belangwekkend materiaal over de ligging van de pH-opbrengstkromme van diverse gewassen is door *Visser* (33) bijeengebracht. Fig. 4, uit deze publicatie overgenomen, geeft een samenvatting van de in diverse jaren op verscheidene proefvelden met zomergerst verkregen uitkomsten. In deze figuur is onmiskenbaar een verschuiving van de opbrengstkrommen aanwezig ; het optimum van de op hooger niveau liggende krommen, welke op vrucht-




FIGUUR 4.

pH-opbrengstkrommen onder verschillende omstandigheden met goudgerst verkregen. Het optimum blijkt bij een hoogere ligging van de kromme bij een lagere pH te vallen (volgens Visser).

*Der Zusammenhang zwischen pH-Wert und Ertrag bei Sommergerste. Bei höherer Lage der Kurve ist der optimale Ertrag nach tieferen pH-Werten verschoben (nach Visser).*

baren grond, of in gunstige jaren verkregen zijn, ligt overwegend naar links geschoven. Overeenkomstige resultaten werden door *Bruin* (1) bij rogge gevonden. Het schijnt alsof het bij het hoogere vruchtbaarheidsniveau gegroeide gewas beter tegen den schadelijken invloed van een te lage pH bestand is dan het onder minder gunstige voorwaarden gegroeide gewas.

Het blijkt dus, dat er in de literatuur gegevens aangetroffen worden, die volgens het principe van het variabele weerstandsvermogen zouden kunnen worden geïnterpreteerd, al willen wij niet ontkennen, dat er ook andere mogelijkheden tot verklaring zijn.

## § 3. Bewerking van de resultaten van twee algemeene bemestingsproefvelden met het doel na te gaan op welke wijze het optreden van oogstdepressies als gevolg van het in te geringe mate aanwezig zijn van een voedingsfactor mede afhankelijk is van het vruchtbaarheidsniveau.

In het bovenstaande is uiteengezet, dat, afgezien van den invloed van de systematische fout, die bij de bepaling van een groeifactor in den grond begaan wordt, op den vorm van de opbrengstkromme (zie § 2, 1), de opbrengst op een drietal wijzen afhankelijk van een groeifactor kan zijn.

De eerste vorm van afhankelijkheid is belichaamd in *Liebig*'s wet van het minimum, en het daaruit afgeleide principe van de harmonische voeding. De wet houdt in, dat de opbrengst steeds bepaald wordt door één factor, welke in het minimum verkeert; de opbrengst zal bij toeneming van dezen factor evenredig stijgen, totdat een andere factor deze beperkende functie overneemt. Wordt deze tweede factor vergroot, dan kan de eerste factor opnieuw beperkend worden. Naarmate de overige groeifactoren gunstiger zijn, en er m.a.w. een hooger vruchtbaarheidsniveau bestaat, zal een grootere portie van den eerstgenoemden factor noodig zijn, om het voor dezen factor optimale punt te bereiken. In dat geval kan men ook zeggen, dat de voedingsfactor in harmonische verhouding met de overige bemestingsfactoren is gekomen. Kenmerkend voor deze opvatting is, dat het optimum niet bij een constante waarde van een groeifactor bereikt wordt, maar bij een des te hoogere waarde gevonden wordt, naarmate de overige factoren gunstiger zijn.

Daarentegen houdt de tweede wijze van afhankelijkheid, die zijn uitdrukking vindt in de door *Mitscherlich* geformuleerde wet van de constante werkingsfactoren, in, dat het optimum onder alle omstandigheden bij dezelfde waarde van een groeifactor zal vallen, onverschillig de gesteldheid van de overige groeifactoren, die het totale vruchtbaarheidsniveau beheerschen. Volgens deze opvatting is de opbrengst bij een bepaalde grootte van den in minimum verkeerenden groeifactor ten opzichte van de bij een optimale doseering te bereiken opbrengst relatief wel altijd even groot, maar in absolute maat bestaat er een verschil, dat door de overige groeifactoren beheerscht wordt. De opvatting van *Mitscherlich* brengt dus tot uiting, dat de opbrengst niet door één, maar steeds door alle groeifactoren gezamenlijk bepaald wordt.

De derde wijze van afhankelijkheid is gesteld in het principe van het variabele weerstandsvermogen, dat uitdrukt, dat het weerstandsvermogen van het gewas verhoogd zal zijn, als het met de overige groeifactoren gunstiger gesteld is. Dit principe, dat in volstrekte tegenstelling is met de wet van het minimum, legt in nog sterkere mate dan de tweede opvatting den nadruk op den invloed van de overige groeifactoren. Van den toestand waarin deze verkeeren zou het weerstandsvermogen van het gewas afhangen, en daardoor het gedrag ten opzichte van den minimum-factor bepaald zijn. Evenals bij den eerstgenoemden vorm van afhankelijkheid ligt het optimum niet bij een constante waarde; in dit geval is het bij gunstige gesteldheid van de overige groeifactoren naar een lagere waarde van den in het minimum verkeerenden groeifactor verschoven.

Dit drietal opvattingen kan getoetst worden aan de resultaten van proefvelden, waarop de invloed van eenzelfden factor onder verschillende omstandigheden kan worden nagegaan. Geschikt materiaal voor een dergelijke studie levert het ongeveer een halve eeuw oude bemestingsproefveld Pr 8 te Sappemeer (*Meijer,* 15). Op dit proefveld treft men naast een volledig met N, P en K bemest object veldjes aan, waarop een of meer van deze meststoffen steeds zijn weggelaten. Men is hierdoor in staat een vergelijking te maken tusschen de uitwerking van het weglaten van een der meststoffen, b.v. K, bij overigens volledige voeding (NP), en het effect dat weglaten (van K) heeft bij een minder volledige voeding (alleen N of

alleen P). Een overeenkomstige studie over het effect van het nalaten van een bemesting bij twee verschillende bemestingsniveaux is mogelijk bij het bemestingsproefveld van het Rijkslandbouwconsulentschap voor Zuidelijk Groningen, ZGr 1, gelegen op de Proefboerderij te Borgercompagnie, dat echter nog niet zulk een langen levensduur heeft, en waar dus minder gegevens ter beschikking staan (31) [1]). Om echter niet alle conclusies aan de resultaten van een enkel proefveld te ontleenen, zijn ook de gegevens van dit proefveld aan eenzelfde onderzoek onderworpen.

Aangezien het a priori vrij waarschijnlijk is, dat er verschillen bestaan tusschen de onderscheidene gewassen, zijn deze afzonderlijk behandeld. Te Sappemeer werden verbouwd aardappelen afwisselend met rogge of haver; te Borgercompagnie aardappelen in wisselbouw met rogge of wintertarwe; dit laatste gewas is slechts twee maal verbouwd.

De resultaten worden alle in grafischen vorm meegedeeld. In elke grafiek zijn tegen elkaar uitgezet de relatieve opbrengsten verkregen bij het weglaten van een groeifactor (b.v. P-weggelaten, bemest met N en K) in verhouding tot de opbrengsten verkregen bij volledige voeding (NPK), en de relatieve opbrengsten bij weglaten van dezelfde voedingsfactor (P) als tevens de bemesting met een andere stof (b.v. K) wordt nagelaten, ten opzichte van de op het kalilooze niveau met volledige voeding (NP) verkregen opbrengsten.

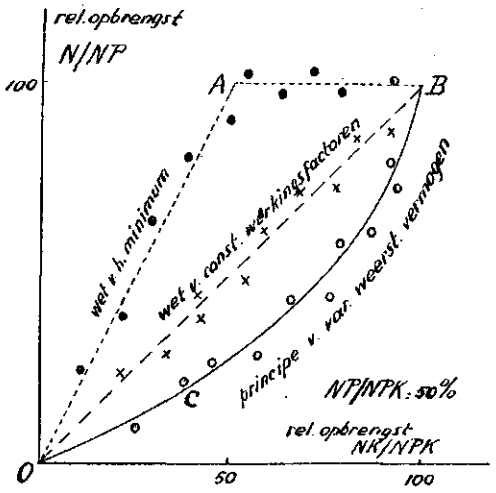
In de schematische figuur 5 is weergegeven, hoe deze grafieken moeten worden gelezen. Deze figuur geeft het hierboven genoemde voorbeeld weer. Op de abscis is de opbrengstenverhouding van de objecten NK/NPK in procenten uitgezet, op de ordinaat de opbrengstverhouding van de objecten N/NP. Wij willen nu bovendien veronderstellen, dat de opbrengsten op het vruchtbaarheidsniveau NP gemiddeld in dit geval b.v. 50 % bedragen van de opbrengsten op het niveau NPK. Indien nu de door de wet van het minimum uitgedrukte opvatting juist zou zijn, dan zouden de stippen zich met een zekere spreiding welke door de meerdere of mindere groote nauwkeurigheid van de opbrengstbepalingen beheerscht wordt, moeten groepeeren om een lijn OAB. Immers het P-gebrek zal op het minder volledig bemeste object (N) eerst optreden, zoodra de opbrengstdepressie van het object NP ten opzichte van NPK grooter dan 50 % is geworden. Boven dit punt is niet de factor P, maar de factor K beperkend. De opbrengst van N is boven dit punt dus 100 in verhouding tot die van NP; beneden dit punt vindt een rechtlijnige daling plaats van 100 tot 0.

Volgens de opvatting van de constante werkingsfactoren *(Mitscherlich)* zal de mate van P-gebrek relatief onafhankelijk zijn van de hoogte van het vruchtbaarheidsniveau, dus onverschillig of dit door N + K, of slechts door een van deze beide factoren beheerscht wordt. De verhouding is in beide gevallen dezelfde, en de stippen zullen zich derhalve groepeeren langs de bissectrice OB.

Tenslotte zullen de stippen bij geldigheid van het principe van het variabele weerstandsvermogen beneden deze lijn OB moeten vallen, aangezien betrekkelijk geringe depressies op het object NK

[1]) In de Juli-aflevering van dit Tijdschrift verscheen een overzicht van de resultaten van dit proefveld van de hand van den Heer P. Sneeuw (blz. 624).

vergezeld zullen gaan van grootere depressies op het object N. Langs de abscis worden dus grootere waarden uitgezet dan langs de ordinaat. De stippen zouden zich dus kunnen groepeeren op een wijze, als door de lijn OCB aangegeven wordt.




FIGUUR 5.

Schematische figuur, die de mogelijkheden weergeeft, volgens welke de stippen zich bij de hier gevolgde wijze van uitzetten kunnen groepeeren. Een groepeering volgens de lijn OAB geeft een bevestiging van de wet van het minimum van Liebig, volgens de bissectrice OB van Mitscherlich's wet van de constante werkingsfactoren; volgens de lijn OCB is er overeenstemming met het principe van het variabele weerstandsvermogen. In dit geval waren tegen elkaar op abscis en ordinaat uitgezet de relatieve opbrengsten verkregen bij weglaten van P, maar overigens volledige NK-bemesting en de relatieve opbrengsten verkregen bij weglaten van P bij overigens onvolledige basisbemesting (in dit voorbeeld alleen N, geen K).

*Erklärung im Text der deutschen Zusammenfassung.*

In de figuren 6 tot 10 is de bissectrice steeds door een onderbroken lijn weergegeven terwijl een stippellijn aangeeft, hoe de ligging van de punten gemiddeld zou moeten zijn bij geldigheid van de wet van het minimum.

Het vellen van een oordeel aan de hand van deze grafieken zal gemakkelijk zijn, als de punten zich volgens het vereischte van de wet van het minimum duidelijk boven, of volgens het principe van het variabele weerstandsvermogen beneden de lijn OB scharen. Moeilijker valt daarentegen de beoordeeling, als de punten zich met een vrij groote spreiding zoowel boven als beneden de bissectrice groepeeren. In dit geval zal het niet uit te maken zijn, of inderdaad de wet van de constante werkingsfactoren geldigheid heeft, ofwel dat in verschillende jaren afwisselend verschillende principes verwerkelijkt zijn geweest. Een onweerlegbare bevestiging van de wet van *Mitscherlich* zou uit een dergelijke groepeering niet kunnen worden afgeleid, hoewel de uitkomsten dan wel dezen indruk vestigen.

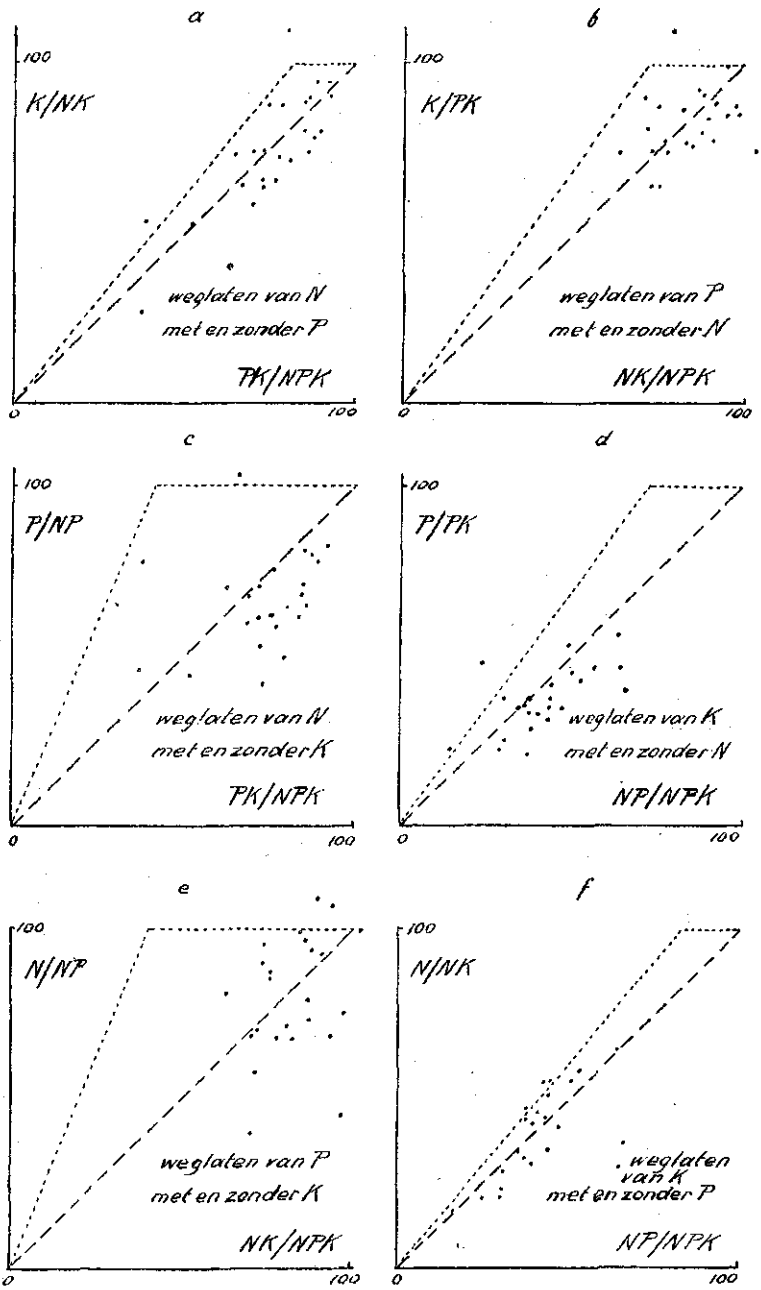
Voordat wij nagaan, welke conclusies uit deze figuren getrokken kunnen worden, dient nog op een enkel punt de aandacht gevestigd te worden. De te maken vergelijking zou eerst dan volledig exact zijn, indien de objecten NK en N volkomen vergelijkbaar waren

wat de factor P betreft. Dit is echter niet het geval. Een vollediger bemest object brengt namelijk als regel een grootere oogst voort, en zoodoende is de P-uitputting van den grond bij een meerjarige proef ongetwijfeld op het vollediger bemeste object NK iets sterker dan op het onvolledig bemeste object N. Het P-gebrek zal hierdoor iets ernstiger zijn op het object NK dan op het object N, zoodat de stippen in de figuur in werkelijkheid iets hooger zullen vallen, dan bij volkomen gelijkheid, wat de factor P betreft, het geval zou moeten zijn. De gewekte indruk is daardoor iets meer in het voordeel van de wet van het minimum dan in die van het principe van het variabele weerstandsvermogen. Dat deze ongelijkheid van den grond inderdaad bestaat, en niet slechts op een bloote veronderstelling berust, wordt door de uitkomsten van het grondonderzoek bevestigd. Op het proefveld Pr 8 bedroeg het kaligetal op het object zonder K (object NP) 7.4 (gemiddelde van 9 afzonderlijke bepalingen), op het object zonder K en P (alleen N) 8.2 (9 bep.) en zonder K en N (alleen P) 8.1 (17 bep.); het Pcitr. bedroeg op het met N en K bemeste object 10, op de uitsluitend met N, of alleen met K, bemeste objecten 13, resp. 16. Dit lijken weliswaar vrij onbeteekenende verschillen, maar hiertegenover staat, dat een klein verschil juist dan de grootste invloed uitoefent, als een factor ernstig in het minimum verkeert.

Fig. 6 omvat 6 grafiekjes, waarin de uitkomsten met aardappelen zijn weergegeven. Achtereenvolgens zien wij bij *a* het effect van het weglaten van N met en zonder P, bij *b* van weglaten van P met en zonder N, *c* idem van N met en zonder K, en *d* omgekeerd, *e* idem van P met en zonder K, en *f* omgekeerd.

Het is in de eerste plaats zeer opvallend, dat de stippen zich niet op de door de wet van het minimum vereischte wijze (aangegeven door de stippellijn) groepeeren. Bij a en b groepeeren de stippen zich veeleer om de bissectrice; hetzelfde is het geval bij e en f. De factorencombinaties N en P, resp. P en K schijnen zich dus volgens de wet der constante werkingsfactoren (*Mitscherlich*) te gedragen, al is er misschien een iets grootere ophooping van stippen beneden de bissectrice. Bedenken wij echter, dat, zooals hier boven werd uiteengezet, de stippen altijd iets hooger liggen dan bij volkomen gelijkheid van den grond op de onvolledig bemeste objecten, wat de ontbrekende factor betreft, het geval zou moeten zijn, dan kan in deze ligging een zekere aanwijzing gezien worden ten gunste van het principe van het variabele weerstandsvermogen. Op veel overtuigender wijze blijkt dit echter uit de figuren *c* en *d*, die het effect van het gecombineerde weglaten van de factoren N en K weergeven. Zeer duidelijk blijkt, dat de stippen zich overwegend beneden de bissectrice ophoopen. Dit wil zeggen, dat N-gebrek, resp. K-gebrek, veel nadeeliger gevolgen voor de opbrengst heeft, als tevens de andere factor ontbreekt, dan in het geval, dat de bemesting overigens volledig is, wat in duidelijke tegenstelling met de voorstellingen van *Liebig* is.

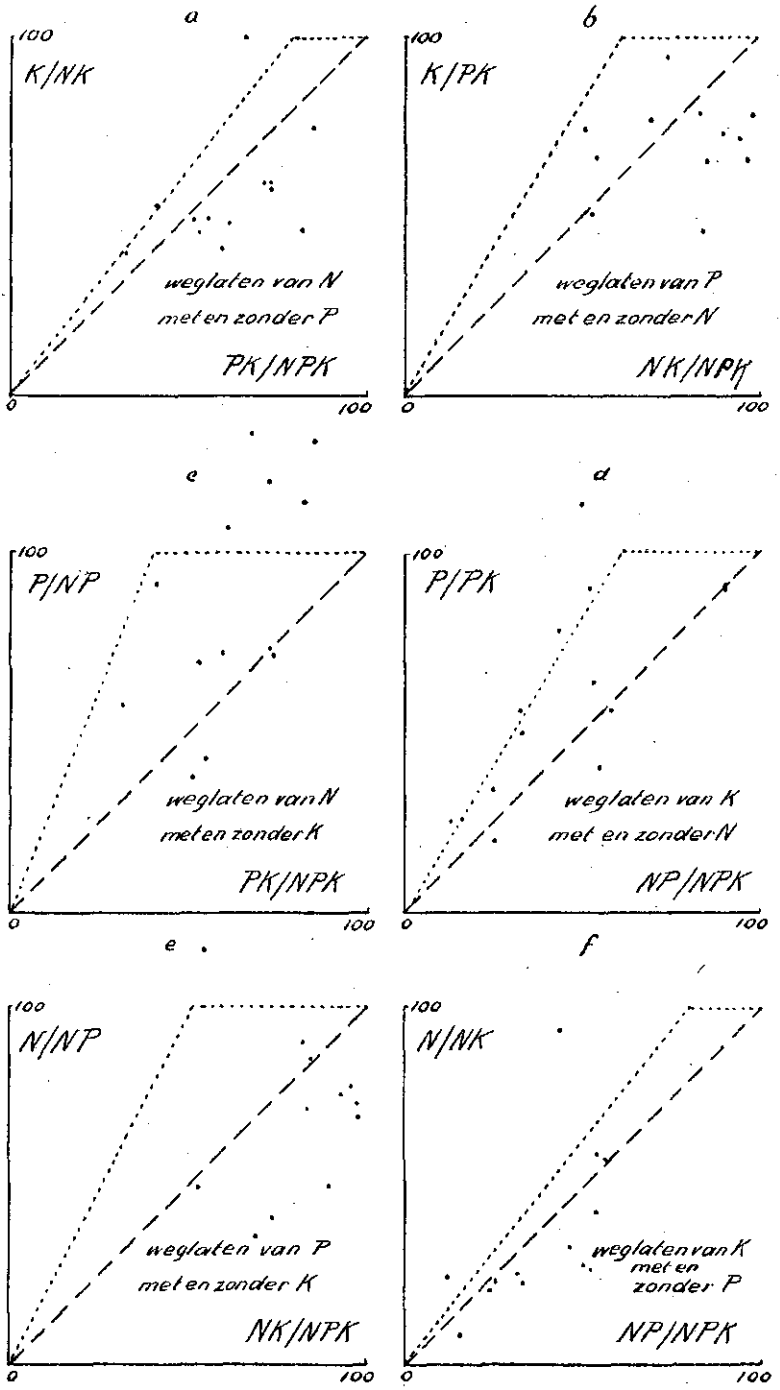
Voor rogge (fig. 7) blijkt zoowel het gecombineerde weglaten van N en P (*a* en *b*), als van P en K (*e* en *f*) meestal bizonder ongunstig te zijn. In deze gevallen wordt duidelijk gedemonstreerd, dat de weerstand tegen de nadeelige werking van het ontbreken van een dezer factoren in de meerderheid van de gevallen bij het belangrijk lagere vruchtbaarheidsniveau aanzienlijk verminderd




FIGUUR 6.

Het effect van weglaten van N, P of K bij onvolledige basisbemesting ten opzichte van hetzelfde bij volledige basisbemesting bij aardappelen op het proefveld te Sappemeer.

*Der Effekt der Weglassung der N-, P- oder K-Düngung bei unvollständiger Grunddüngung im Verhältnis zu demselben bei volständiger Grunddüngung bei Kartoffeln auf dem Versuchsfeld Sappemeer.*




FIGUUR 7.
Als figuur 6 bij rogge.
*Wie Abb. 6 bei Roggen.*

is. Anders is het gesteld bij de combinatie N en K (*c* en *d*), waarbij de stippen zich eenigszins volgens de door de wet van *Liebig* vereischte wijze groepeeren. Dit is vooral het geval bij *d*, minder duidelijk is *c*. In het laatste geval is het 5 maal voorgekomen, dat de opbrengst van het object P grooter was dan die van het object NP. De N was hier blijkbaar in een schadelijke overmaat aanwezig, die een daling van de opbrengst tot gevolg had.

Aangezien haver in veel mindere mate nadeel van het ontbreken van voedingsstoffen ondervond dan de andere gewassen, kwamen hierbij slechts enkele gevallen voor een nadere bestudeering in aanmerking (fig. 8). Bij de combinatie N en K (*c*) wordt weer, evenals bij rogge, een zekere overeenstemming met de wet van het minimum gezien; de combinatie N en P (*a* en *b*) geeft echter wederom een overtuigende aanwijzing ten gunste van het principe van het variabele weerstandsvermogen. De resultaten met de combinatie P en K waren wegens de geringe afmetingen van de optredende oogstdepressies onzeker.

De resultaten van het proefveld te Sappemeer overziend, blijkt het duidelijk, dat er geen sprake is van een algemeene geldigheid van de wetten van *Liebig* en *Mitscherlich*. Dit is evenmin met het principe van het variabele weerstandsvermogen het geval, maar vaak bestaat er toch een hiermede overeenkomende samenhang, die met de veel algemeener geaccepteerde oudere opvattingen in tegenspraak is.

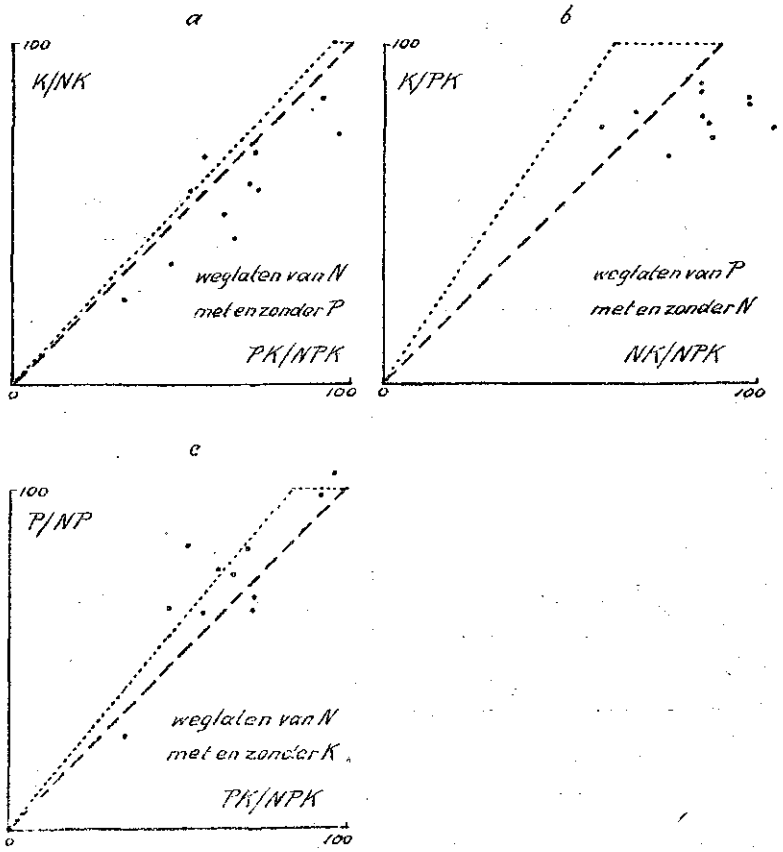
De resultaten van het proefveld te Borgercompagnie wijken echter in niet onbelangrijke mate af van de op het proefveld te Sappemeer verkregen uitkomsten. De factorencombinatie K en N, die bij aardappelen aanwijzingen in de richting van het principe van het variabele weerstandsvermogen verschafte, geeft hier een indicatie ten gunste van het principe van *Mitscherlich* (fig. 9, *c* en *d*). Zelfs liggen de stippen meerendeels boven de bissectrice, hetgeen echter misschien terug te brengen is op den niet volkomen gelijken toestand van den grond, wat de beperkende factor betreft (blz. 810-811). Evenzoo schijnt het gesteld bij de combinatie N en P (*a* en *b*); de overeenstemming met *Mitscherlich's* wet is ongetwijfeld grooter dan met die van *Liebig*. De combinatie P en K (*e* en *f*) toont evenwel een samenhang, die vrij goed met de wet van het minimum in overeenstemming is.

De uitkomsten met rogge zijn in fig. 10 opgenomen. Tevens zijn de beide oogsten van tarwe door kruisjes weergegeven. De stippellijnen, die in deze grafiekjes het door de wet van het minimum vereischte verloop aanduiden, zijn uitsluitend voor rogge toepasselijk.

Bij rogge en tarwe is het niet gemakkelijk uit te maken, of er voor de combinatie N en P (*a* en *b*) een verband volgens *Liebig*, of volgens *Mitscherlich* bestaat; de overeenstemming met de opvatting van eerstgenoemde schijnt grooter. Voor de combinatie N en K bestaat een afhankelijkheid, die evenals bij Pr 8, met het door de wet van het minimum vereischte overeenstemt (*c* en *d*). De combinatie P en K (*c* en *f*) geeft met rogge nogal uiteenloopende resultaten; het tweetal jaren met tarwe zou op een geldigheid van het principe van de variabele weerstand kunnen wijzen.

Samenvattend kan niet gezegd worden, dat het proefveld te Borgercompagnie veel aanwijzingen ten gunste van het principe van

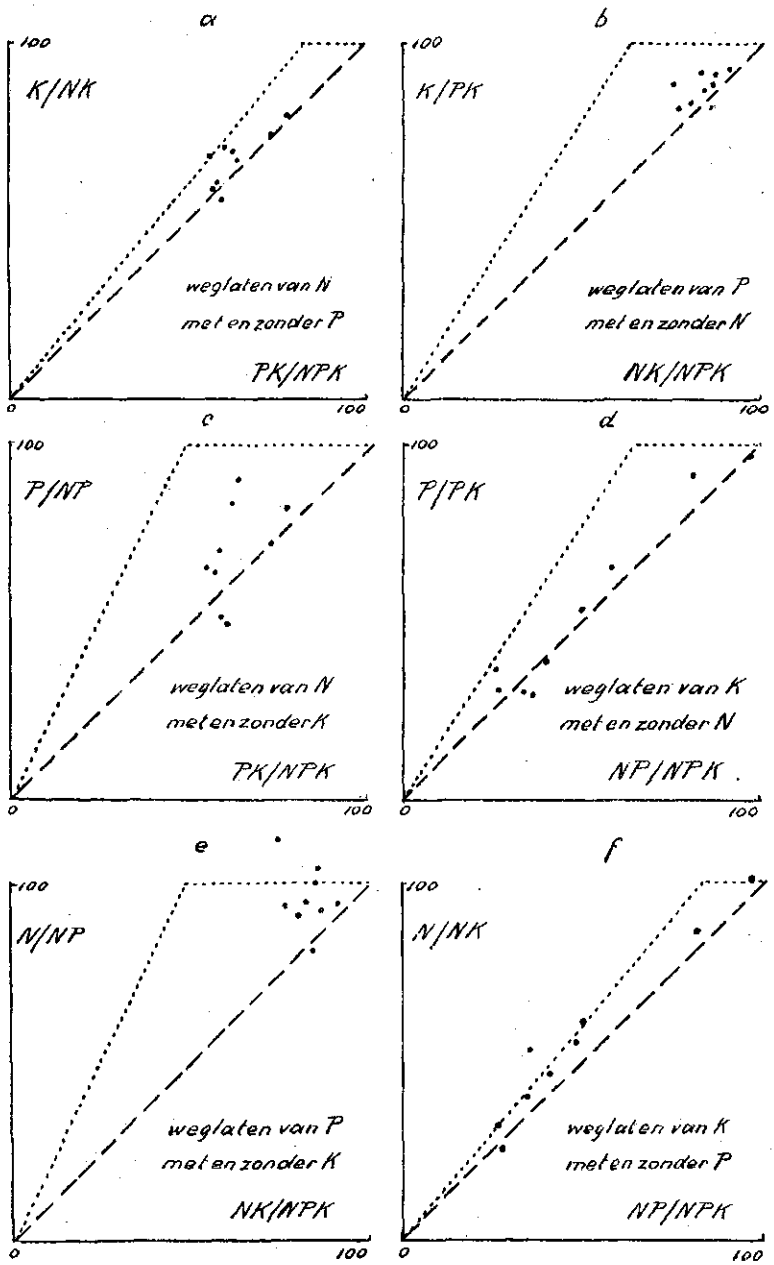
het variabele weerstandsvermogen oplevert. De op het proefveld te Sappemeer verkregen uitkomsten worden dus niet bevestigd. Integendeel blijken de meeste aanwijzingen in de richting van de wet van de constante werkingsfactoren te liggen, waarbij men natuurlijk in acht moet nemen, dat de toestand van den grond op de verge-




FIGUUR 8.
Als figuur 6; eenige gevallen bij haver.
*Wie Abb. 6, einige Beispiele bei Hafer.*

leken objecten niet volkomen gelijk was, wat ongetwijfeld voor een zekere verschuiving van de stippen (in de figuren naar boven) aansprakelijk te stellen is. Hieruit blijkt, dat er niet alleen een verschil tusschen de gewassen bestaat, maar dat ook de geaardheid van den grond beslissenden invloed uitoefent op de wijze van afhankelijkheid.

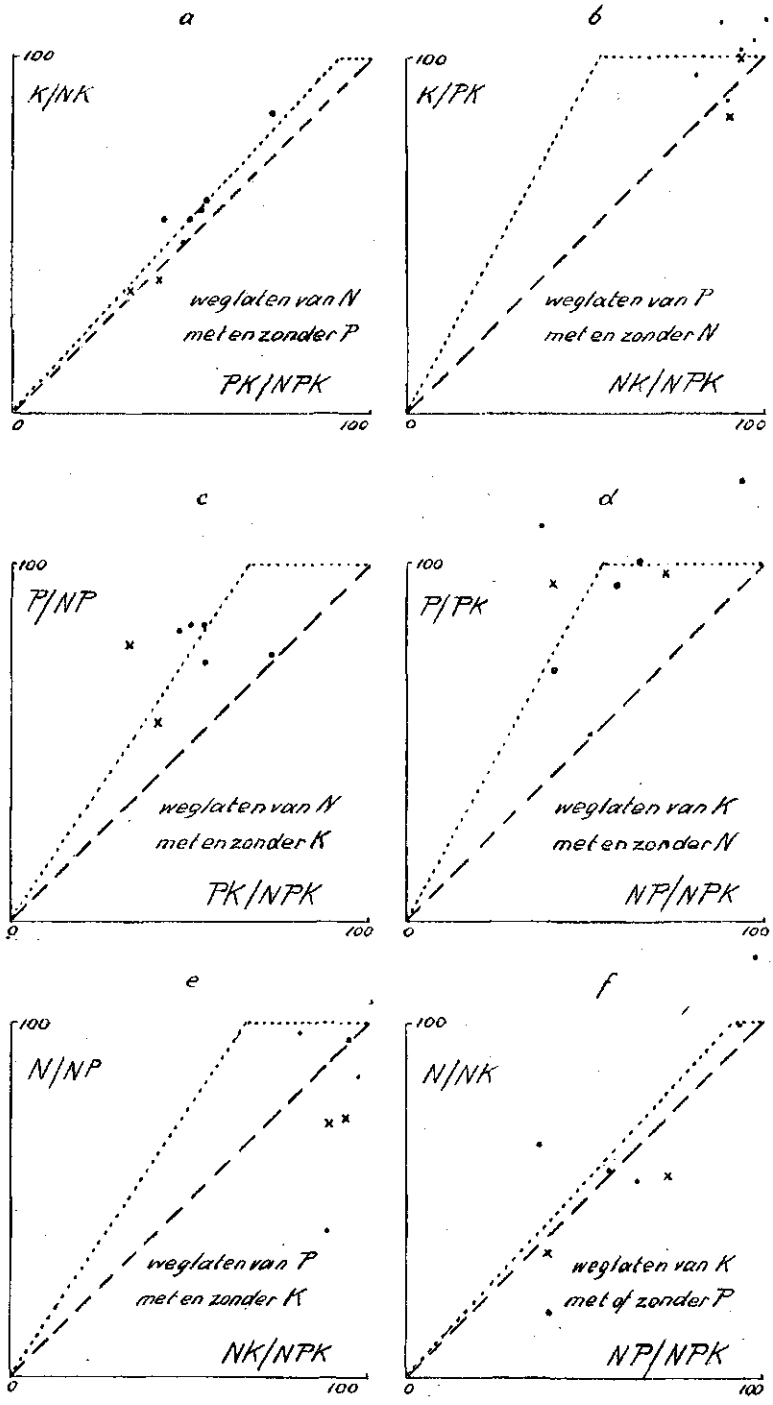
De geldigheid van het drietal opvattingen is bovendien nog op een andere wijze getoetst. De jaarlijksche opbrengsten zijn onder invloed van de weersomstandigheden aan schommelingen onderhevig geweest. Men kan nu een vergelijking maken tusschen de grootte van de opbrengsten bij volledige en onvolledige bemesting in goede jaren met hoog, en slechte jaren met laag vruchtbaarheids-




FIGUUR 9.

Als fig. 6, bij aardappelen op het proefveld te Borgercompagnie.

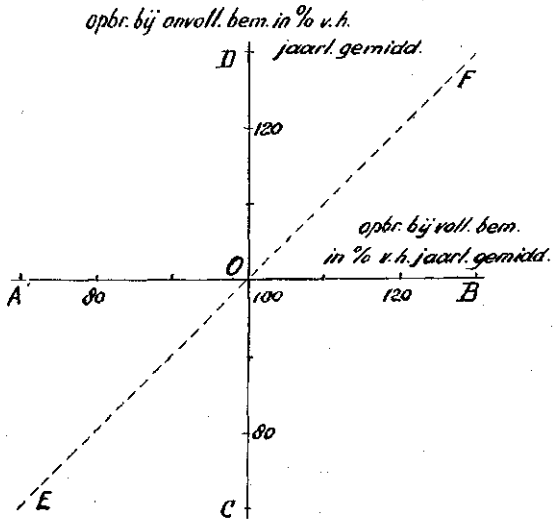
*Wie Abb. 6, bei Kartoffeln auf dem Versuchsfeld Borgercompagnie.*




FIGUUR 10.
Als fig. 9 bij rogge (stippen) en tarwe (kruisjes).
*Wie Abb. 9 bei Roggen (Tüpfeln) und Weizen (Kreuzen).*

niveau, om na te gaan, of de tengevolge van onvolledige bemesting optredende oogstdepressies in goede en slechte jaren relatief dezelfde zijn geweest (principe *Mitscherlich*), of dat er in de eene of andere richting afwijkingen bestonden. Het zal dan kunnen zijn, dat het gebrek aan een voedingsstof in jaren met slechte opbrengsten minder tot uiting komt, omdat andere groeifactoren in het minimum zijn geraakt (*Liebig*), of het kan zijn, dat het gewas in slechte jaren dermate verzwakt is, dat juist daardoor de gevolgen van een voedselgebrek des te ernstiger zijn (principe van het variabele weerstandsvermogen).

Deze bewerking kon alleen bij de met aardappelen en rogge op Pr 8 verkregen resultaten uitgevoerd worden, daar een vrij groot aantal gegevens, en een behoorlijke variatie in de opbrengstcijfers vereischt is. De resultaten zijn in de assenfiguren 12 tot 15 grafisch uitgezet. Ter toelichting is in fig. 11 een dergelijke grafiek




FIGUUR 11.

Schematische figuur ter verduidelijking, hoe de stippen zich kunnen groepeeren bij uitzetten van de relatieve jaaropbrengsten (relatief ten opzichte van een over talrijke jaren berekend gemiddelde) verkregen bij volledige (abscis) en onvolledige bemesting (ordinaat). Voor uitleg zie tekst.

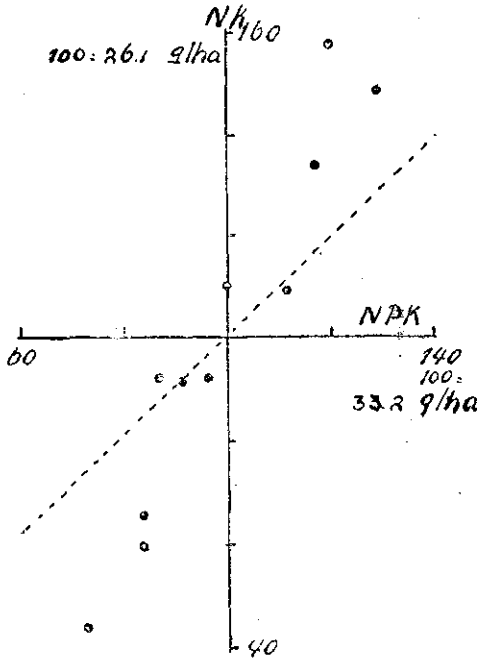
*Erklärung im Text der deutschen Zusammenfassung.*

schematisch weergegeven. Op de abscis zijn uitgezet de opbrengsten van het volledig bemeste object (NPK), op de ordinaat de opbrengsten van een object, waar een dezer meststoffen ontbreekt (dus NP, PK of NK). De opbrengsten zijn uitgedrukt in procenten van de gemiddelde opbrengst op het object in den loop der jaren verkregen. De boven het gemiddelde vallende opbrengsten van het object NPK liggen in deze figuur rechts van de ordinaat, en dergelijke opbrengsten van het onvolledig bemeste object boven de abscis.

Indien de opbrengsten in eenzelfde jaar op beide objecten steeds of beneden, of boven het gemiddelde zouden liggen, dan zouden dientengevolge de stippen uitsluitend in de kwadranten rechtsboven, resp. links-onder moeten voorkomen. Wanneer de oogst-

depressie verder in alle jaren procentueel gelijk zou zijn, onverschillig welke hoogte het vruchtbaarheidsniveau heeft (principe *Mitscherlich*), dan zullen de stippen zich in beide kwadranten moeten groepeeren langs de bissectrice EOF. Is daarentegen de oogstdepressie in slechte jaren bij onvolledige bemesting relatief grooter en in gunstige jaren geringer (principe variabel weerstandsvermogen), dan zal een goede opbrengst op het object NPK samengaan met een relatief extra-goede op het onvolledig bemeste object, en omgekeerd zal een slechte opbrengst van het NPK-object met een extra-slechte op het andere object moeten samentreffen. De stippen zullen zich dan ophoopen in het door de ordinaat CD en de bissectrice EF begrensde vlak. Volgens de wet van het minimum eindelijk zouden de stippen (althans een deel hiervan) zich langs de abscis, of een daaraan evenwijdige lijn, moeten groepeeren. Er zou echter wel betwijfeld kunnen worden, of deze wet ook voor een geval als dit bedoeld en nog toepasselijk is.

Om deze bewerking uit te voeren bleek het bij aardappelen noodig tevoren een bepaalde correctie aan te brengen. Als gevolg van de afnemende beschikbaarheid van den weggelaten voedingsfactor zijn de opbrengsten op de onvolledig bemeste opjecten namelijk mettertijd geleidelijk teruggeloopen. Teneinde dezen invloed te elimineeren zijn de opbrengstcijfers op grafische wijze op eenzelfde vruchtbaarheidsniveau herleid. Bij rogge was deze teruggang van de beschikbaarheid minder duidelijk in de opbrengstcijfers waarneembaar, en bleef deze correctie daarom achterwege.

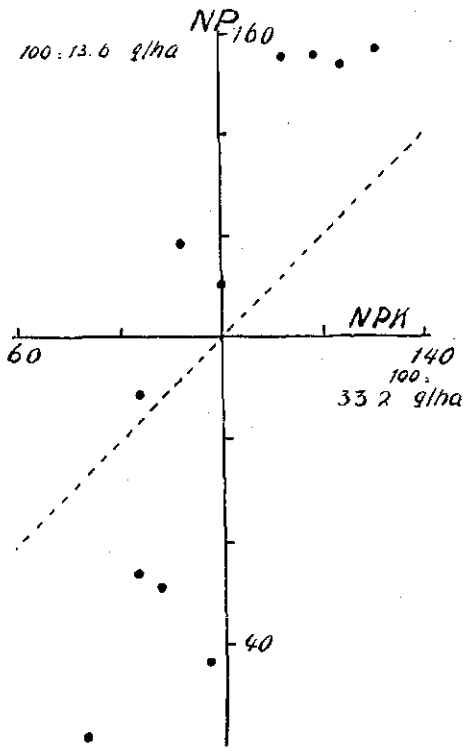



FIGUUR 12.

Vergelijking van de opbrengsten van rogge in verschillende jaren bij steeds weglaten van de P-bemesting met de opbrengsten bij volledige bemesting. *Vergleich zwischen die Roggenerträge in verschiedenen Jahren, bei fortgesetzter Weglassung der P-Düngung und die Erträge bei Volldüngung.*

Fig. 12 geeft de uitkomst van de vergelijking van het object zonder P-bemesting (NK) en het volledig bemeste object (NPK) bij rogge. Het blijkt, dat de stippen uitsluitend aangetroffen worden in de kwadranten links-onder en rechts-boven. Dit wil zeggen, dat de opbrengsten in de voor den volledig bemesten grond gunstige jaren op het onvolledig bemeste perceel eveneens gunstig waren, en ongunstige opbrengsten op beide deelen van het proefveld ook gelijktijdig optraden. Een verdergaande conclusie is echter mogelijk, want niet alleen komen de stippen slechts in beide genoemde kwadranten voor, maar liggen ze daarin overwegend gegroepeerd in het door de ordinaat en de bissectrice begrensde vlak. Het blijkt hieruit, dat een op het volledig bemeste object boven het middelmatige liggende opbrengst samenvalt met een relatief uitermate goede opbrengst op het object zonder P en eveneens, dat opbrengsten beneden het middelmatige vergezeld gaan van relatief extra-lage opbrengsten op het onvolledig bemeste object. In andere woorden gezegd is het nadeel van het weglaten van de P-bemesting in goede jaren gering, in slechte jaren echter zeer groot. Deze uitkomst is in overeenstemming met het principe van het variabele weerstandsvermogen.

Eenzelfde resultaat wordt verkregen bij de beschouwing van het object zonder K (NP) in fig. 13. De depressies, die als gevolg van het weglaten van K opgetreden zijn, zijn belangrijk grooter, dan de door P-gebrek veroorzaakte opbrengstdalingen. Niettemin is het beeld in hoofdtrekken gelijk. In vier slechte jaren was de opbrengst




FIGUUR 13.
Als fig. 12 bij weglaten van de K-bemesting bij rogge.
*Wie Abb. 12, bei Weglassung der K-Düngung bei Roggen.*

op het veldje zonder K zeer gering, in vier goede jaren evenwel nog vrij behoorlijk.

Het weglaten van N heeft iets minder sprekende resultaten opgeleverd, hoewel ook hierbij eenzelfde wetmatigheid leek te gelden. Enkele iets afwijkende gevallen maken de conclusie, wegens de geringheid van het materiaal, wat minder zeker. Dit geval blijft daarom buiten beschouwing.

Een iets grooter materiaal is met aardappelen verkregen. Fig. 14 toont de vergelijking van de relatieve opbrengsten met en zonder P-bemesting. Hoewel enkele gevallen wat afwijkend zijn, ligt hier toch een overwegend aantal van de punten in het door ordinaat en bissectrice begrensde vlak. Blijkbaar is het nadeel van P-gebrek ook in gunstige jaren minder groot dan in slechte jaren.

Zonder K werden herhaaldelijk zeer ernstige misoogsten verkregen. Het kon wel vastgesteld worden, dat de opbrengsten in jaren, die voor het volledig bemeste perceel gunstig waren, ook op het veldje met K-gebrek meestal behoorlijk waren, maar dat zij bizonder gunstig zouden zijn, kon hier niet worden vastgesteld. Wegens de ruime spreiding is het resultaat vrij onzeker.

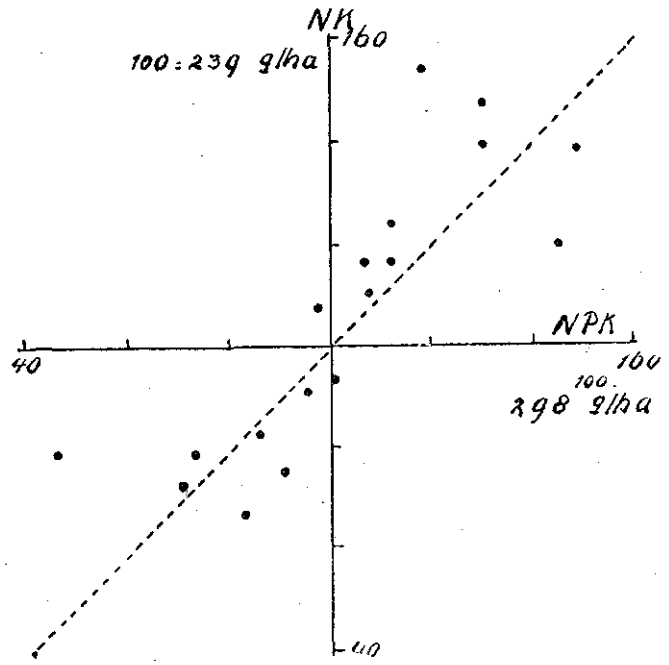
Fig. 15 geeft eindelijk de uitkomsten bij weglaten van N. Opnieuw zijn goede jaren op het volledig bemeste object ook gunstig geweest voor het perceel, waar N werd weggelaten. Er bestaat echter geen aanwijzing voor relatief nog betere resultaten in gunstige, en relatief slechtere uitkomsten in ongunstige jaren. De stippen liggen vrij regelmatig langs de bissectrice verdeeld. De uitkomst is dus behoorlijk in overeenstemming met de voorstellingswijze van *Mitscherlich.*

Uit het hier meegedeelde blijkt duidelijk, dat de opbrengstkromme van eenzelfde gewas op eenzelfde grondsoort ieder jaar verschillend valt. Voor wat K- en P-gebrek betreft, blijkt de gevoeligheid in overeenstemming met hetgeen door *Russell* (27) gevonden is, in gunstige jaren minder groot. Bij een hooger vruchtbaarheidsniveau is het optimum meestal naar een lagere waarde van den groeifactor verschoven.

Bovenstaande resultaten leveren een belangrijke aanvulling van de overige op dit proefveld verkregen aanwijzingen, die ten gunste van het principe van het variabele weerstandsvermogen pleiten.

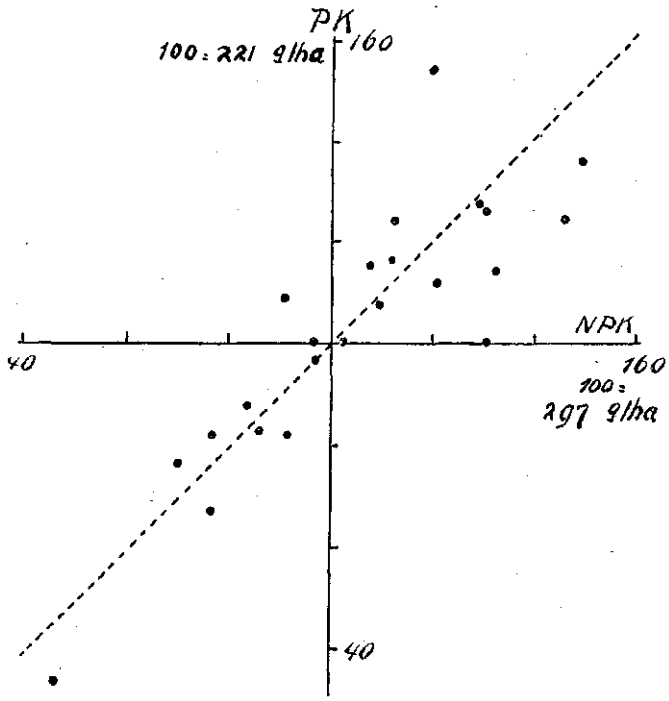
In tabel 1 hebben wij de verkregen resultaten nog eenmaal samengevat. Uit dit overzicht blijkt duidelijk, dat van een algemeene geldigheid van geen der opvattingen sprake is. In sommige gevallen blijken de combinaties, die bij Pr 8 in een bepaalde groep vallen, bij ZGr 1 in een lager geplaatste groep voor te komen. De onderlinge volgorde van de verschillende combinaties is echter op beide proefvelden niet principieel anders.

De uitkomsten wettigen het vermoeden, dat het gebreklijdende gewas op Pr 8 grootere mogelijkheden heeft om bij overigens gunstige groeivoorwaarden aan de gevolgen van eenzijdig voedselgebrek te ontkomen dan op ZGr 1 het geval is. Dit vermoeden is inderdaad niet van allen grond ontbloot. Bij Pr 8 is de bouwvoordikte ruim 15 cm, bij ZGr 1 daarentegen slechts 10 cm. Bovendien is de humusrijkdom van den eerstgenoemden grond hooger dan van laatstgenoemden (resp. 27.5 en 13 %). De doorworteling van den




FIGUUR 14.

Als fig. 12, bij weglaten van de P-bemesting bij aardappelen.
*Wie Abb. 12, bei Weglassung der P-Düngung bei Kartoffeln.*




FIGUUR 15.

Als fig. 12 bij weglaten van de N-bemesting bij aardappelen.
*Wie Abb. 12 bei Weglassung der N-Düngung bei Kartoffeln.*

TABEL 1.

Overzicht van de bij verschillende combinaties van groeifactoren verkregen overeenstemming met het drietal principes van afhankelijkheid der groeifactoren.

*Uebersicht über die bei verschiedenen Faktorenkombinationen erhaltenen Uebereinstimmung mit den aufgestellten Prinzipen.*

| Principe<br>*Prinzip* | Pr 8 Sappemeer | | | ZGr 1, Borgercompagnie | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | aardappelen<br>*Kartoffeln* | rogge<br>*Roggen* | haver<br>*Hafer* | aardappelen<br>*Kartoffeln* | rogge<br>*Roggen* | (tarwe)[1]<br>*Weizen* |
| 1. Wet van het minimum (Liebig)<br>*Minimum-Gesetz* | | N + K | N + K | P + K | N + K | (N + K) |
| 2. Wet van de constante werkingsfactoren (Mitscherlich)<br>*Gesetz konstante Wirkungsfaktoren* | N + P[2])<br>P + K[2])<br>N + weer (Wetter) | | | N + P<br>N + K | N + P | (N + P) |
| 3. Principe van het variabele weerstandsvermogen<br>*Prinzip variabele Widerstandsfähigkeit* | N + K<br>P + weer | N + P<br>P + K<br>P + weer<br>K + weer | N + P | | | (P + K) |
| Onzeker<br>*Ungewiss* | K + weer | N + weer | P + K | | P + K | |

[1]) slechts 2 oogstjaren.
*nur 2 Versuchsjahre.*

[2]) geringe aanwijzingen voor het 3e principe.
*schwache Andeutungen zu Gunsten des dritten Prinzips.*

ondergrond is echter op beide proefvelden vrijwel gelijk en van nogal geringe beteekenis.

Te Borgercompagnie bestaan dus omstandigheden, die eenigszins met die van potcultures vergelijkbaar zijn. Zooals reeds eerder werd opgemerkt, is de geldigheid van de wetten van *Liebig* en *Mitscherlich* steeds bij potcultures gedemonstreerd. In een dergelijke proef is inderdaad slechts een strikt begrensde voedselvoorraad beschikbaar, en vermag geen aanpassing van het wortelstelsel dit gebrek te overwinnen. Het is daarentegen beter denkbaar, dat de planten op het proefveld te Sappemeer bij weglating van een noodzakelijke voedingsstof maar bij overigens volledige bemesting eerder in de mogelijkheid hebben verkeerd zich aan dezen ongunstigen factor aan te passen dan de minder krachtig ontwikkelde planten, die bovendien nog een andere voedingsstof ontbeerden. Hetzelfde geldt voor het aanpassingsvermogen van planten, die op onvoldoende bemesten grond, maar onder gunstige weersomstandigheden zijn opgegroeid.

Het feit, dat op verschillende proefvelden niet dezelfde principes geldig zijn, moet daarom niet uitgelegd worden op een wijze, als zou het zoeken naar algemeene principes een hopelooze zaak zijn; integendeel zal juist het bestaan van deze tegenstrijdigheden bij nader onderzoek den weg kunnen wijzen tot het begrijpen van de beslissende omstandigheden. Het staat echter vast, dat op het oogenblik geen van deze principes een theoretische basis voor de bemestingsleer kan leveren. Men moet echter, zooals gezegd, de beteekenis van deze principes niet zoozeer zien als algemeen geldige „natuurwetten", dan wel als waardevolle hulpmiddelen, hypothesen, die dienen om nader in deze materie wegwijs te geraken. De mogelijkheid is geenszins uitgesloten, dat deze principes alle naast elkaar onder bepaalde omstandigheden een beperkte geldigheid bezitten.

De ongelijke wetmatigheden, die voor verschillende factorencombinaties bij eenzelfde gewas gelden, mogen evenmin aanleiding zijn, om aan deze uitkomsten waarde te ontzeggen. Zij leveren integendeel een van plantenphysiologisch standpunt zeer belangrijk materiaal. Zoo is b.v. gebleken, dat het factorenpaar N en K bij rogge, haver en tarwe steeds de wet van het minimum heeft gevolgd. Dit wekt den indruk, dat beide factoren zeer onafhankelijk van elkaar op het gewas inwerken. Bij aardappelen, waarbij de ontwikkelingsgang zoo'n geheel andere is als bij granen, vinden wij daarentegen wel een wederzijdsche beïnvloeding van beide factoren.

## § 4. Slotbeschouwing.

De in het theoretische gedeelte van dit artikel aannemelijk gemaakte variatie in de reactie van het gewas op groeifactoren blijkt inderdaad in de praktijk voor te komen. Deze variaties zijn niet bij een algemeen geldend principe onder te brengen, maar blijken verschillende regels te volgen. Niettemin was het duidelijk, dat er bepaalde wetmatigheden bestaan, die echter geen van alle voor alle factorencombinaties geldigheid bezitten. Geen van de opgestelde principes is geschikt een algemeene basis te vormen voor de bemestingsleer. Wel is het natuurlijk mogelijk, dat nader onderzoek zal aantoonen, dat aan een van deze principes een veel algemeener geldigheid zal toekomen dan aan alle andere. Indien dit zoo mocht

blijken te zijn, zou dit een zaak van groot belang zijn, omdat een bepaald principe dan door grootere waarschijnlijkheid min of meer de waarde van een algemeen geldig principe zou verkrijgen. Het is inderdaad voor de practische voorlichting zeer belangrijk, welke principes als grondslagen van de bemestingsleer gelden. Volgens de oude wet van het minimum is een hoogere opbrengst uitsluitend te verkrijgen door de beperkende factor te verbeteren, hetgeen tot een vergrooting van de bemesting noopt; volgens het principe van het variabele weerstandsvermogen is een verbetering van andere factoren in staat niet alleen de opbrengst te verbeteren, maar zelfs de beperkende werking van de in het minimum verkeerende factor op te heffen. Het is dus duidelijk, dat de practische adviezen geheel afwijkend kunnen luiden, naarmate de voorlichter op het eene, of op het andere principe georiënteerd is.

Ook voor de beoordeeling van de door het grondonderzoek bepaalde waarden is het van belang, dat er geen vaststaande optima en grenswaarden bestaan, zooals het principe van de constante werkingsfactoren van *Mitscherlich* suggereert. Integendeel is het zeer goed mogelijk, dat een waarde, die in het eene geval geheel voldoende is voor het verkrijgen van een volledige oogst, in een ander geval geheel onvoldoende zal blijken. Bepaalde grenswaarden (b.v. een pH 5.0, een P-getal 10) hebben daarom slechts een betrekkelijke, een gemiddelde, waarde; zij geven aan, dat in het ter beschikking staande materiaal een dergelijke waarde in doorsnee voldoende is voor het verkrijgen van een goede opbrengst. Behoorlijke zekerheid, dat dit in één bepaald geval ook zoo zal zijn, is niet aanwezig. Een vermeerdering van het proefveldmateriaal op allerlei grondtypen in Nederland is noodzakelijk, zoowel om deze gemiddelde grenswaarden nauwkeuriger te kunnen vaststellen, als ook om de zekerheid te bepalen, waarmee dergelijke gemiddelde cijfers voor bepaalde gevallen bruikbaar zijn.

*Samenvatting.*

Het verband tusschen de door het grondonderzoek bepaalde waarden en de opbrengst, dat grafisch weergegeven kan worden door een opbrengstkromme, is van belang voor een pactische waardeering van deze grootheden. Deze waardeering zal slechts mogelijk zijn op grond van een ruim proefveldmateriaal, aangezien het verband zeer gevarieerd is.

Voor deze variatie is in de eerste plaats het feit aansprakelijk, dat geen enkele bodemgrootheid precies datgene uitdrukt, waarop de plant reageert. De methode heeft daardoor een zekere systematische fout, hier de biologische fout genoemd. Daarnevens is de verschillende wijze van reageeren van het gewas onder ongelijke condities oorzaak van belangrijke variaties.

Als principes, welke de samenhang tusschen de bodemgrootheid en de opbrengst zouden kunnen beheerschen, worden genoemd (1) *Liebig's* wet van het minimum — volgens welk principe de opbrengst geheel van den in minimum verkeerenden factor afhankelijk is, en het optimum bij een des te *hoogere* waarde valt, naarmate de overige factoren gunstiger zijn — en het uit deze deze wet afgeleide principe van de harmonische voeding. Verder (2) de wet van de constante werkingsfactoren van *Mitscherlich,* volgens welk principe de opbrengsten bij eenzelfde bodemwaarde, wat absolute grootte betreft,

wel in afhankelijkheid van de overige groeifactoren kunnen varieeren, maar de relatieve opbrengst bij een bepaalde waarde steeds dezelfde zou zijn, en dus ook het optimum *onveranderlijk* bij een bepaalde waarde zou liggen. Eindelijk is (3) een principe behandeld, volgens hetwelk de nadeelige gevolgen van het in minimum verkeeren van een bepaalden groeifactor des te geringer zijn, naarmate het weerstandsvermogen van het gewas door gunstige constellatie van de overige factoren bevorderd is. Deze opvatting, welke het principe van het variabele weerstandsvermogen genoemd is, brengt mee, dat het optimum bij een *lagere* waarde van den in het minimum verkeerenden factor valt, naarmate de andere factoren, die het vruchtbaarheidsniveau bepalen, gunstiger zijn. Voor de geldigheid van deze opvatting zijn aanwijzingen in de literatuur te vinden.

De analyse van de resultaten van een tweetal algemeene bemestingsproefvelden te Sappemeer en te Borgercompagnie, waarbij het effect van het weglaten van bepaalde meststoffen bij ongelijke niveaux van vruchtbaarheid vergeleken werd, bracht aan het licht, dat alle principes naast elkaar een zekere geldigheid bezitten. Het bleek, dat sommige combinaties van groeifactoren duidelijke aanwijzingen konden geven ten gunste van een bepaald principe, terwijl andere combinaties voor een ander principe pleitten. Als voorbeeld is te noemen, dat P-gebrek, resp. N-gebrek bij weglaten van de bemesting met de andere stof bij rogge en haver op het proefveld te Sappemeer veel ongunstiger resultaten gaf dan bij volledige basisbemesting, hetgeen een bevestiging is van het principe van het variabele weerstandsvermogen, terwijl daarentegen de combinatie van N en K zich volgens de eischen van de wet van het minimum gedroeg (zie verder tabel 1, blz. 29).

Op het proefveld te Sappemeer werd in een overwegend aantal gevallen gevonden, dat het principe van het variabele weerstandsvermogen geldigheid bezit; het proefveld te Borgercompagnie gaf resultaten, die hiermee in tegenstelling waren, en die meer overeenstemming vertoonden met de opvattingen van *Liebig* en *Mitscherlich*. Naast den aard van het gewas is blijkbaar ook de geaardheid van den grond beslissend voor het optredende verband.

De verschillen tusschen beide proefvelden zijn mogelijk terug te brengen op het feit, dat te Sappemeer een belangrijk dikkere en humusrijkere bouwvoor voorkomt, waardoor er voor het gewas mogelijkheden tot aanpassing van het wortelstelsel open staan, die te Borgercompagnie minder aanwezig zijn.

De opvatting werd verdedigd ,dat geen van deze principes als een werkelijk algemeen geldige wet te beschouwen is, maar dat zij slechts geldig zijn, indien aan bepaalde voorwaarden is voldaan. Een vermeerderd weerstandsvermogen zal b.v. alleen tot uiting kunnen komen, als inderdaad mogelijkheden tot aanpassing aanwezig zijn; de wet van het minimum zal kunnen gelden, als dergelijke mogelijkheden ontbreken.

De wijze waarop de gecombineerde factoren samenwerken (tabel 1) is van belang voor de plantenphysiologische analyse van de groeiverschijnselen.

Het vraagstuk van het verband tusschen groeifactoren en opbrengst, en de hierbij aansluitende bestudeering van de nevenomstandigheden, die dit verband bepalen, werd voor eenige jaren

door *Prof. Dr. O. de Vries* op het Rijkslandbouwproefstation te Groningen aan de orde gesteld. De onder zijn leiding gevoerde onderzoekingen en discussies, waaraan voornamelijk door *Dr. Th. B. van Itallie, Ir. W. C. Visser* en schrijver dezes werd deelgenomen, vormden de aanleiding tot het uitvoeren van deze nadere studie. De vruchtdragende besprekingen met collega's van het Rijkslandbouwproefstation bevorderde het werk zeer; de schrijver is in het bizonder aan de genoemde Heeren dank verschuldigd.

## LITERATUUR.


1. *Bruin P.:* Versl. Landb.onderz. *42A*, 773 (1936).
2. *Butkewitch, W. W.:* Landw. Jahrb. *66*, 977 (1927).
3. *Cleveringa, O. J.:* Landb. Tijdschrift *50*, 18 (1938).
4. *Dirks, B.:* Kühn Arch. *38*, 164 (1933).
5. *Goedewaagen, M. A. J.:* Versl. Landb.onderz. *38A*, 179 (1932).
6. ——: idem, *39A*, 343 (1933).
7. *Gregory, F. G.:* Ann. Rev. Biochem. *6*, 557 (1937).
8. *Itallie, Th. B. van:* Versl. landb.onderz. *43A*, 13 (1937).
9. ——: idem, *43A*, 721 (1937).
10. *Kirssanof, A. F.:* Bodenk. u. Pfl.ern. *5*, 25 (1937).
11. *Kletschkowsky, W. M.* en *P. A. Shelesnow:* Landw. Jahrb. *74*, 353 (1931).
12. *Lemmermann, O. en P. Hasse:* Zeitschr. Pfl.ern. D. u. Bodenk. *B 7*, 352 (1928).
13. *Maschhaupt, J. G.:* Versl. landb.onderz. *40A*, 1025 (1934).
14. ——: idem, *42A*, 543 (1936).
15. *Meijer, C.:* idem, *40A*, 939 (1934).
16. *Meijer, R.:* Zeitschr. Pfl.ern. D. u. Bodenk. *A10*, 329 (1928).
17. *Miller, L. B.* en *F. C. Bauer:* Journ. Am. Soc. Agron. *29*, 728 (1937).
18. *Mitscherlich, E. A.:* Die Bestimmung des Düngerbedurfnisses des Bodens, 3. Aufl., Berlin 1930.
19. ——: Landw. Jahrb. *52*, 279 (1919).
20. ——: Erster Bericht über die Arbeiten und über die Tagung der Arbeitsgemeinschaft zur Prüfung der Laboratoriumsmethoden für die Bestimmung des Kali- und Phosphorsäurebedürfnisses der Böden. Königsberg (Pr), 12. bis 19. Juli 1936, p. 70 e.v.
21. *Mitscherlich, E. A.* en *H. Wagner:* Landw. Jahrb. *58*, 645 (1923).
22. *Mitscherlich, E. A., E. von Boguslawski* en *A. Gutman:* Schriften Königsberger Gelehrten Ges. *12*, Naturw. Kl. 31 (1935).
23. *Paauw, F. van der:* Rec. trav. bot. néerl. *29*, 497 (1932).
24. ——: Planta *24*, 353 (1935).
25. ——: Versl. landb. onderz. *42A*, 393 (1936).
26. *Rippel, A.* Das Ertragsgesetz, Handb. Pflanzenern. u. Düngerlehre (Honcamp), Bd. I, 602, Berlin (1931).
27. *Russell, J.:* Die Ernährung d. Pflanze *24*, 258 (1928).
28. *Schmalfuss, K.:* Das Kalium. Naturw. u. Landw. H. *19*, München (1936).
29. *Scholz, W.:* Zeitschr. Pfl.ern. D. u. Bodenk. *38*, 340 (1935).
30. *Schreven, D. A. van:* Meded. Inst. Suikerbietenteelt, Afl. 7 (1937).
31. Verslagen over de jaren 1918—1938, Proefboerderijen te Borgercompagnie en Emmercompascuum.
32. *Visser, W. C.:* Versl. landb.onderz. *43A*, 225 (1937).
33. ——: idem: *44A*, 313 (1938).
34. *Visser, W. C. en J. A. Hogen Esch:* Publ. „Fonds Landbouw Export Bureau 1916—1918", Wageningen, *No. 19*, Wageningen (1937).
35. *Vries, O. de:* Zeitschr. Pfl.ern. D. u. Bodenk. *43*, 83 (1936).
36. ——: Bodenk. u. Pfl.ern. *4*, 291 (1937).
37. ——: Landb. Tijdschr. *46*, 677 (1934).
38. *Vries, O. de* en *C. W. G. Hetterschij:* Die Phosphorsäure *5*, 38 (1935).
39. ——: Der Phosphorsäure-Haushalt im Heidesandboden. Sonderdruck Rijkslandbouwproefstation Groningen, Niederlande (1936).
40. *Williams, R. F.:* Austr. Journ. Exp. Biol. Med. Sci. *14*, 165 (1936).

## Ueber den Zusammenhang zwischen Wachtstumfaktoren und Ertrag, und die Prinzipen, welche diese Beziehung bestimmen.

Kenntnis der Beziehung in welcher die durch die Bodenuntersuchungen festgestellten Werte und den Ertrag zu einander stehen, bildet eine notwendige Voraussetzung für ihre praktische Auswertung. Es hat sich jedoch in manchen Feldversuchen herausgestellt, dass dieser Zusammenhang recht verschieden sein kann.

Die Tatsache dass keine einzige, nach einer chemischen Methode bestimmte Grösse genau dasjenige, worauf die Pflanze reagiert, ergreift, und die chemische Untersuchung deshalb immer an einem methodischen Mangel leidet, ist im erster Instanz für diese Variation verantwortlich zu stellen.

Daneben ist das ungleichartige Verhalten des Gewachses unter ungleichen Wachstumsbedingungen als Ursache dieser Variatonen anzusehen. Drei Prinzipen werden besprochen, nach welchen der Zusammenhang zwischen den gefundenen Werten und den Erträge sich gestalten kann. 1. *Liebig's* Gesetz des Minimums, welches aussagt dass der Ertrag vollständig von dem sich in minimum befindenden Faktor bestimmt wird, und dass der optimale Ertrag bei einem um so höheren Wert dieses Faktors gefunden wird, um so günstiger die übrigen Wachstumsfaktoren ausgestaltet sind. 2. *Mitscherlich's* Gesetz der konstanten Wirkungsfaktoren, demzufolge die Erträge bei einer konstanten Verfügbarkeit des Minimumfaktors — obwohl sie nach absoluter Grösse wechseln können — relativ, im Verhältnis zum Optimum, stets dieselbe Grösse haben, und auch der optimale Ertrag unveränderlich bei einem bestimmten Wert des Wachstumsfaktors erreicht wird. 3. Ein „Prinzip der variabelen Widerstandsfähigkeit", das die Möglichkeit annimt, dass die unter günstigen Bedingungen erzogenen Pflanzen einen grösseren Widerstand gegen einen Mangel an einem bestimmten Nährstoff zeigen werden als die mehr abgeschwächten Pflanzen. Diese Widerstandsfähigkeit wird sehr breit aufgefasst. Unter erhöhter Widerstandsfähigkeit sind nämlich alle Fälle zu verstehen in welchen das Gewachs unter Einfluss der günstigeren Bedingungen mehr leistet in Beizehung zu dem sich in minimum befindenden Faktor; wobei die Ursache z.B. sein kann die erhöhte Möglichkeit zur Anpassung, die unter Einfluss des verstärkten Stoffwechsels erhöhte Stoffaufnahme, die durch gute Wachstumsbedingungen geförderte Durchwurzelung, oder sogar die Eindringung in tiefere, für das schwächere Gewachs unerreichbare Bodenschichten, u.s.w.

Die letzte Auffassung besagt also dass, je höher die Fruchtbarkeit des Bodens, um so geringer der Wert des Wachstumsfaktors ist, welcher für die Erreichung eines optimalen Ertrags erforderlich ist.

Diese drei Prinzipen sind vielmehr als Gedankenbilder, welche die Bearbeitung des unübersichtlichen Materials ermöglichen, nicht aber als absolute Gesetze aufzufassen. Tatsächlich bestehen vermutlich viele Übergänge, und gelten die Prinzipen nur dann absolut, wenn ganz bestimmte Prämissen erfüllt sind. Für unsere Einsicht in Düngungsfragen, somit für die Wertung der durch die Bodenuntersuchungen festgestellten Grössen, ist es jedoch wertvoll um orientiert zu sein, welchem Prinzip im allgemeinen die grösste praktische Bedeutung zukommt.

Der Versuch wurde gemacht mittels einer Analyse der Ergebnisse von zwei langjährigen Düngungsversuchen auf moorkolonialen Böden mehr Klarheit in diese Frage zu bringen. Der Einfluss, welcher die Weglassung der Stickstoff- resp. Phosphorsäure- oder Kalidüngung auf den Ertrag ausübte, wurde bei verschiedener Grunddüngung verglichen.

In den Abbildungen 6—10 sind die bei Weglassung eines Düngstoffs in Beziehung zu den bei Volldüngung mit diesem Stoff erzielten relativen Erträge, welche gefunden wurden bei resp. vollständiger und unvollständiger Grunddüngung, gegen einander eingetragen. Die schematische Abbildung 5 zeigt in welcher Weise diese Abbildungen zu lesen sind. Würde der relative Ertrag stets unabhängig von der absoluten Grösse desselben sein (*Mitscherlich*), dann würden die Punkte sich an der Halbierungslinie OB entlang gruppieren müssen. Nach dem Gesetz des Minimums *(Liebig)* werden Ertragsdepressionen bei vollständiger Grunddüngung früher eintreten als bei unvollständiger Grunddüngung. Im letzten Fall wird nämlich der im ersten Fall bereits zu geringe Wert des Wachstumsfaktors noch genügen, weil ein andrer, in der Grunddüngung weggelassener, Faktor beschränkend wirkt. Die Punkte sollen sich also laut dieses Prinzips entlang der Linie OAB gruppieren. Sollte aber dem Prinzip der variabelen Widerstandsfähigkeit überwiegende Bedeutung zukommen, so ist der Gegenteil der Fall, und werden die unvollständig gedüngten Gewächse relativ grössere Ertragsdepressionen zeigen als die widerstandsfähigeren vollgedüngten Gewächse; die Punkte werden sich also etwa nach der Linie OCB gruppieren.

Die Abbildungen 6—10 zeigen, dass die drei Prinzipen nebeneinander verwirklicht sind. So zeigt z.B. Abbildung 7, dass die Weglassung der N-Düngung mit und ohne P in der Grunddüngung (Abb. 7a), und umgekehrt die Weglassung der P-Dungüng mit und ohne N-Dungüng (7b) (K ist in allen Fällen gegeben), bei Roggen auf dem Versuchsfeld Sappemeer eine Übereinstimmung mit dem Prinzip der variabelen Widerstandsfähigkeit aufweist. Dasselbe zeigen die Abbildung 7e und f für die Faktoren P und K in der Mehrzahl der Versuchsjahre. Bei der Kombination der Faktoren N und K (Abb. 7c und d) gilt jedoch vielmehr das Gesetz des Minimums.

Während verschiedene Ergebnisse des Versuchsfeldes Sappemeer auf die Gültigkeit von dem Prinzip der variabelen Widerstandsfähigkeit hindeuteten, war dies auf dem Versuchsfeld Borgercompagnie nicht der Fall. Es zeigte sich also ein Unterschied, welcher vielleicht zurückzuführen ist auf der dickeren und humusreicheren Krume zu Sappemeer, welcher Faktor eine Variation in der Widerstandsfähigkeit des Gewachses ermöglichte, welche zu Borgercompagnie, wo vielmehr die Bedingungen der Topfkultur gelten, nicht vorhanden ist.

Ausserdem wurde auf dem Versuchsfeld Sappemeer verglichen, in welcher Weise die Erträge bei unvolständiger Düngung und bei Volldüngung in günstigen und in slechten Jahren variierten. Die bei unvollständiger Düngung in mehreren Jahren erhaltenen, auf den auf 100 Gesetzten Mittelwert bezogenen, relativen Erträge wurden in den Abbildungen 12—15 mit einander in Beziehung gebracht. Es zeigt sich dass die Punkte in den Abbil-

dungen 12, 13 und 14 sich überwiegend in der durch die Halbierungslinie EOF (siehe die schematische Figur 11, S. 818) und die Ordinate COD begrenzten Fläche anhäufen. Die Erträge auf den unvollständig gedüngten Parzellen sind also in Jahren, worin auf der vollgedüngten Parzelle über den Mittelwert ausgehende Erträge geerntet wurden, relativ noch günstiger gewesen; in ungünstigen Jahren wurden jedoch auf den Mangelparzellen um so grössere Misserfolge erzielt. P-, resp. K- und N-Mangel schadete also am meisten in schlechten Jahren, wenn das Gewachs durch die ungünstigen Wachstumsbedingungen geschwächt war, was mit dem Prinzip der variabelen Widerstandsfähigkeit im gutem Einklang ist. Nur bei N-Mangel bei Kartoffeln (Abb. 15) sehen wir, dass die Resultate mehr mit dem Mitscherlichschen Gesetz der konstanten Wirkungsfaktoren übereinstimmen, weil die Punkte sich ziemlich regelmässig der Halbierungslinie entlang gruppieren.

Eine ähnliche Bearbeitung der Ergebnisse des Versuchsfeldes Borgercompagnie war, der Beschränktheit des vorhandenen Materials wegen, nicht möglich.

Eine Zusammenstellung der erhaltenen Ergebnisse findet sich in Tabelle 1, S. 823.

Zusammenfassend sehen wir also dass, obwohl gewisse Gesetzmässigkeiten unverkennbar sind, zur Zeit keine allgemeingültige Regel anzugeben ist, welche für die Verhältnisse der Praxis passend, und für die Auswertung der durch die Bodenuntersuchungen festgestellten Werten und die Düngungsberatung massgebend ist. Jedenfalls ist es klar, dass die älteren, auf Topfversuchen sich stützenden Auffassungen *Liebig*'s und *Mitscherlich*'s nicht ohne weiteres für die mehr komplizierten Verhältnisse der Kultur im Felde anwendbar sind.