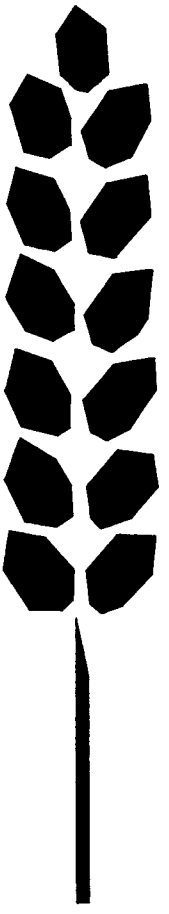
INSTITUUT VOOR BODEMVRUCHTBAARHEID

1890
1965



Instituut voor
Bodemvruchtbaarheid 1890
Groningen 1965

17872 speciaal f 10.-



Gedenkboek uitgegeven ter gelegenheid

Instituut voor Bodemvruchtbaarheid Groningen

van het 75-jarig bestaan

1890
1965

Voorwoord

Het is een goede gedachte ter gelegenheid van de herdenking van het 75-jarig bestaan van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid een boek samen te stellen, waarin de ontwikkeling en de betekenis van het onderzoek worden geschetst. Er wordt op deze wijze verantwoording afgelegd van het gevoerde beleid door de jaren heen en uiteengezet waartoe het instituut thans in staat is en welke perspectieven het onderzoek biedt.

De directie en de onderzoekers, het bestuur van de stichting en de beleidsorganen van land- en tuinbouw moeten zich telkens de vraag stellen of het niveau van het onderzoek aan de eisen van het ogenblik voldoet, of het juist gericht is, en of de resultaten op geëigende wijze naar voren worden gebracht en efficiënt in de praktijk worden toegepast. Er rust een grote verantwoordelijkheid op het vruchtbaarheidsonderzoek in een land, waar jaarlijks voor meer dan 400 miljoen gulden aan kunstmeststoffen wordt besteed en waar aan de grond door de steeds voortschrijdende mechanisatie zware eisen worden gesteld. De bedrijfsboekhouding leert dat een beschouwing der kosten inderdaad belangrijk is, maar dat zeker niet minder de baten de uiteindelijke winst bepalen. Een goede verzorging van grond en gewas is daarvoor een eerste vereiste.

De lijn die in dit boek wordt gevolgd, loopt van de methodiek van het onderzoek op het terrein van de vruchtbaarheid van de grond via uiteenzettingen over de betekenis van resp. de chemie, de fysica en de biologie voor het onderzoek naar de toepassing van de resultaten in land- en tuinbouw. Tenslotte wordt een beeld gegeven van de ontwikkeling van het landbouwkundige onderzoek aan de Groningse instellingen van 1890–1965. De schrijvers hebben niet naar volledigheid gestreefd, maar getracht een karakteristiek van het onderzoek te geven.

De resultaten van het onderzoek die in de loop der jaren zijn verkregen, zijn ongetwijfeld van grote betekenis voor de handhaving van de concurrentiepositie van land- en tuinbouw. Wij zijn ervan overtuigd dat voor vele resultaten nog praktische toepassingen kunnen worden gevonden en dat het onderzoek nog vele perspectieven biedt.

Op de onderzoekers rust de taak in samenwerking met de voorlichtingsdiensten de resultaten zo goed mogelijk aan de praktijk door te geven, maar ook het bedrijfsleven moet het oog gericht houden op het grote belang van het behoud en de verbetering van de vruchtbaarheid van de grond en van de efficiënte bemesting der gewassen.

Ik wens het instituut verder een behouden vaart toe.

H. J. MATHOT

Voorzitter van het Bestuur van de Stichting
Instituut voor Bodemvruchtbaarheid

TH. J. FERRARI

Naar een bodemvruchtbaarheid in dimensies

"Wij hebben ons vertrouwd moeten maken met de gedachte, dat er voor het kennen der natuur te werken valt met niet-euclidische meetkunde en met meer dan drie dimensies."

J. HUIZINGA in 'In de schaduwen van morgen'.

Inleiding

Om misverstanden te voorkomen wil ik direct omschrijven wat in het vervolg onder onderzoek over de bodemvruchtbaarheid wordt verstaan: alle verstandelijke en andere werkzaamheden die een beter begrip van de samenhang tussen de plantengroei onder cultuuromstandigheden en de bodemfactoren en tevens een beheersing van de groei door een beïnvloeding van die factoren ten doel hebben. Het gaat om de invloed van de grond op het gewas. Het biologische, chemische en fysische onderzoek dat nodig is om de ecologische factoren zelf te bestuderen, wordt buiten beschouwing gelaten. Het betreft onderzoek dat meer in relaties dan in verborgen mechanismen geïnteresseerd is.

De ervaring heeft geleerd, dat deze relaties complex zijn en dat generalisatie van resultaten van onderzoek moeilijk is; de natuur stelt de onderzoeker steeds voor verrassingen. Dit betekent dat waarnemingen onder natuurlijke omstandigheden nodig zijn om veronderstelde relaties te toetsen. Aan de betekenis van deze waarnemingen voor de voortgang van het vruchtbaarheidsonderzoek en de wijze waarop zij verzameld en gebruikt worden, kortom de methodiek, zal in het volgende aandacht worden besteed.

Het is begrijpelijk dat de methodiek in de beginperiode van het onderzoek van de bodemvruchtbaarheid weinig te betekenen had. Wel had BOUSSINGAULT in 1834 als eerste een zg. veldproef aangelegd, waarop vijf vruchtwisselingen bestudeerd werden, maar de kennis en ervaring waren in de komende 50–70 jaren nog te gering om de noodzaak van een eigen methode in te zien. Het was de beginperiode, waarin men de ervaring opdeed, dat bepaalde stoffen de

opbrengst kunnen verhogen. Men bepaalde zich ertoe dit te demonstreren.

De proefvelden die in deze periode aangelegd werden, hadden als objecten bijv. bepaalde hoeveelheden stikstof, fosforzuur of kali om aan te tonen, dat zij al of niet in combinatie dezelfde opbrengst als een gift stalmest kunnen geven. Het oudste proefveld in Nederland bij A. G. MULDER te Sappemeer aangelegd in 1881, is hiervan een voorbeeld. De opzet was antwoord te krijgen op de vraag of met kunstmest, nl. stikstof, fosforzuur en kali, ook op den duur goede oogsten zouden kunnen worden verkregen, d.w.z. even grote oogsten als met stalmest alleen, en verder of één van deze plantevoedende stoffen met voordeel weggelaten zou kunnen worden. Objecten waren: alleen stalmest, volledig kunstmest, half stalmest en half kunstmest, volledig kunstmest zonder stikstof, fosforzuur of kali, alleen stikstof, fosforzuur of kali en tenslotte onbemest.

Een indruk met welke vragen men zich in Nederland omstreeks de eeuwwisseling bezighield, geeft ADDENS in 'De ontwikkeling van het proefveldwezen in de provincie Drenthe gedurende de periode 1890 t/m 1914'. Men begon met de werking van kainiet en thomasmeel op grasland te onderzoeken; daarna kwam de vraag of hierbij nog een kalk- of stikstofbemesting nodig was aan de orde. Vergelijkingen tussen soorten van meststoffen en niet te vergeten proeven over de tijd van toediening waren zeer gebruikelijk. Vergelijkingen tussen de werkingen van chilisalpeter en zwavelzure ammoniak werden steeds herhaald, "wijl de gegevens over een reeks van jaren, in verband met de wisselende weersomstandigheden, nodig werden geacht, om een enigszins juiste conclusie te kunnen trekken." Deskundigen waren niet erg enthousiast over de kwaliteit van deze proefvelden. MAYER-GMELIN schrijft in 1909 in zijn 'Verslag over een studiereis naar Denemarken' tenminste: "Geeft het in Denemarken gebruikelijke stelsel van proefneming al aanleiding tot eenige kritiek, wat zou een soortgelijke kritiek op ons stelsel van proefneming niet al kunnen aanmerken. In wetenschappelijken zin dikwijls weinig betrouwbaar, voor het verkrijgen van bruikbare gemiddelde (statistische) uitkomsten niet geschikt, moeilijk praktisch veel te verbeteren, zou waarschijnlijk het oordeel luiden."

Men ondervond, dat de resultaten van de veldproeven wisselvallig waren en dat het moeilijk was algemeen geldige conclusies te trekken. Een van de eersten die zich met dit probleem bezighield, was WAGNER. In zijn 'Beiträge zur Ausbildung der Düngungslehre' van 1883 vroeg hij zich of waarom men na 25 jaar onderzoek nog altijd dezelfde proeven doet en waarom geen betrouwbare conclusies getrokken kunnen worden. Hij antwoordde hierop met: "Wir haben keine exakte und kritische Methode der Düngungsversuche." Ik kan niet nalaten nu reeds te wijzen op de uitspraak van BRADFIELD, bijna 80 jaar later, waarin deze precies hetzelfde voor de laatste 25 jaar stelt.

Van belang is te weten hoe in die en in latere tijd conclusies getrokken worden. Een indruk hierover geeft de studie van TUINZING van 1902 over 'Graslandbemesting. Rentabiliteit van verschillende kunstmeststoffen gedurende het eerste jaar'. Hij schrijft: "Wat de statistieke methode der behandeling van bemestingsproeven aangaat, zoo is duidelijk, en sinds jaren erkend, dat – een voldoend getal van bijzondere proefnemingen verondersteld – men op deze wijze in zijne conclusiën onafhankelijk wordt van de toevallige omstandigheden van weersgesteldheid en andere variabelen, incluis waarnemingsfouten, en dat men zoodoende, omdat men deze omstandigheden niet vooruit bepalen kan, de gemiddelde kansen vindt voor de rentabiliteit van eene bepaalde bemesting."

HUDIG critiseert in 1912 dergelijke bewerkingen van proefveldgegevens. "Het is gewoonte geworden, wanneer men bijv. de werking van verschillende meststoffen vergelijken wil, proefvelden op verschillende plaatsen aan te leggen. De bedoeling zit daarbij voor, door op verschillende plaatsen tegelijk de proef te nemen eerder en beter antwoord op de gestelde vraag te verkrijgen, dan wanneer de proef op één plaats genomen wordt. Immers men wil algemeene geldigheid van het resultaat bereiken en tegelijkertijd door een gemiddeldeberekening uit een groot aantal cijfers de waarheid trachten te benaderen." Het is duidelijk, men heeft de ervaring dat de proefvelden zeer uiteenlopende resultaten opleveren. HUDIG schrijft verder: "Men kent deze statistisch behandelde verslagen wel, menigeen zullen zinnen als deze in de oren naklinken: 'er waren zóó vele gevallen ten gunste van deze meststof, en zóó vele ten gunste van die', 'in het algemeen kan worden gezegd: deze meststof werkte iets beter dan die, wanneer men de berekende gemiddelden beschouwt'. Het resultaat "schrijft hij verder" van dit soort werk is meestal weinig bevredigend, omdat positieve antwoorden gewoonlijk niet te geven zijn; de ervaring leert dat er gevallen zoowel ten gunste van de eene als van de andere meststof zijn. Zoolang we niet weten, welke factoren de betere werking van de ééne stof en welke de betere werking van de andere stof in de hand hebben, weten wij niet veel, en wat meer is, wij hebben bij deze methode van 'proefvelden overal' geen inzicht in de betrouwbaarheid van 't materiaal."

HUDIG weet de teleurstellende resultaten van de proefvelden in die periode van zijn leven nog voornamelijk aan de onbetrouwbaarheid van de proefvelden. Met het oog hierop had hij reeds in 1911 in Cultura een Nederlandse vertaling van het Engelse artikel van WOOD en STRATTON over 'De interpretatie van proefveldresultaten' gepubliceerd, terwijl hij in een discussie onder de titel 'Nog eens de betekenis der "waarschijnlijke fout"-berekening' een en ander toelicht. Het zo juist aangehaalde was een citaat uit deze discussie. Hij vervolgt: "Men kan nu twee wegen inslaan: òf die factoren leeren kennen en leeren berekenen

en de veldproeven tot zoolang uitstellen, òf maatregelen nemen waarmede men de proeffouten zooveel mogelijk opheft. Den eersten weg zal wel niemand als de alleenige uitkomst aanbevelen, den tweede wel. Die maatregelen zijn dan deze, dat men het aantal parallelle proefperceeltjes groot neemt en over het geheele perceel zoo gelijk mogelijk verdeelt. Men volgt dan de regelen der kansberekening, aannemende dat een gemiddelde van een groot aantal verspreide percelen het ware gemiddelde het meest nabijkomt."

Ik heb hier HUDIG iets uitvoeriger geciteerd dan misschien voor het betoog noodzakelijk was, maar het is toch wel interessant hem als een voorstander van het gebruik van de waarschijnlijkheidsrekening bij de bewerking van proefveldgegevens te zien. Zijn gedachten ontwikkelden zich later in de andere richting. In de in 1918 verschenen publikatie 'De Hooghalensche ziekte' schrijven HUDIG en MEIJER tenminste: "Men denke aan de gevallen, waarbij in den treure slakkenmeel met super en chili met zwavelzure ammoniak werden vergeleken, eigenlijk met geen ander resultaat dan dat in sommige deze en in andere gevallen die meststof beter werkte. Ja .... het zijn juist die sommige gevallen – die moeten wij leeren kennen en dan geeft het niets of men al die uitkomsten van voor- en nadeel optelt en de hoegrootheid ervan door gemiddelde-berekening op papier zet. Zulke berekeningen maken de zaak veel duisterder." Uit enkele publikaties uit die tijd blijkt verder dat hij grote betekenis aan het grondonderzoek ter verklaring van deze verschijnselen hechtte.

Hierin waren al anderen hem voorgegaan. WAGNER beantwoordde in 1889 de vraag of het nodig was de oogst en de grond chemisch te onderzoeken, als volgt: "Diese Frage ist entschieden zu bejahen, denn um eine nach allen Richtungen hin befriedigende Einsicht in das Düngebedürfnis des betreffenden Bodens zu gewinnen und um ein volkommen klares Urtheil über die stattgehabten Wirkungen der Düngungen zu erlangen, ist es nothwendig, nicht nur die Erträge an Erntemasse, sondern auch die in der Erntemasse enthaltenen Mengen an Stickstoff, Phosphorsäure und Kali kennen zu lernen, sowie den Vorrath zu wissen, den der betreffende Boden an Pflanzennährstoffen besitzt." Ook SJOLLEMA denkt in zijn publikatie van 1901 'Onderzoek naar het gehalte aan opneembare stoffen' in deze richting, wanneer hij schrijft: "Of door het uittrekken met citroenzuur van 1 %, op de wijze als door mij is aangegeven, bij de meeste grondsoorten met voldoende juistheid de hoeveelheid der plantenvoedingsstoffen, welke werkelijk voor de planten beschikbaar is, gevonden zal worden, kan slechts door nadere onderzoekingen worden uitgemaakt." TUINZING stelde in zijn reeds eerder aangehaalde publikatie een overeenkomstige oplossing voor: "Interessant is het ook, de resultaten van zoodanige statistieke berekeningen na te gaan, indien men hen voor de verschillende categorieën van grondsoorten

groepeert." Hij ziet inderdaad verschillen tussen de gemiddelde reacties als hij de gronden groepeert in veengrond, kleigrond, kleiachtige veengrond en zandgrond. Hij besluit met de woorden: "Wanneer er veelvuldiger gebruik ware gemaakt van de gelegenheid om van de gronden der proefvelden eene mechanische en chemische analyse te doen uitvoeren, zouden de gevallen, waarin de bemesting tot teleurstellende resultaten aanleiding gaf, stellig minder talrijk zijn geweest." De tijden waren echter nog niet rijp om deze gedachten tot uitvoering te brengen.

Deze beschrijving kan voldoende zijn om te laten zien dat de ervaringen uit de beginperiode van het onderzoek over de bodemvruchtbaarheid de onderzoekers met het vraagstuk van de methodiek van het landbouwkundige onderzoek in het algemeen en van het onderzoek over de vruchtbaarheid in het bijzonder confronteerden. Er begonnen zich hierbij twee richtingen te vormen. De eerste richting zag de oplossing voornamelijk in het verkrijgen van meer nauwkeurige gegevens en heeft later een grote aanhang gekregen. *De onderzoekers op het gebied van de bodemvruchtbaarheid in Groningen hebben het meer gezocht in een verklaring voor de afwijkingen en hiervoor een methode tot ontwikkeling gebracht. Zij weken hierin sterk van de opvattingen van andere centra af.*

Men leert de problemen van het onderzoek over de bodemvruchtbaarheid en de inhoud van de methodiek het best kennen door het hoe en waarom van de methode ook in zijn ontwikkeling na te gaan. Pos schrijft in zijn 'Filosofie der wetenschappen': "Het vooruitbrengen der wetenschap is primair vergeleken met de kennis van het verleden der wetenschap. Volledig wordt een wetenschap eerst doordat in beide richtingen wordt gewerkt." Dit rechtvaardigt een meer uitvoerige bespreking van de ontwikkeling van de methodiek van Groningen. Ik stel me voor de feitelijke ontwikkeling van deze Groningse richting als raam te gebruiken. In dit kader zal ik de huidige methodologische opvattingen beschrijven, waaraan de ontwikkeling zelf weer beoordeeld kan worden. Een en ander zal met voorbeelden en citaten toegelicht worden. Hiermede wordt tevens een verantwoording van eigen opvattingen gegeven.

Het begin

De aanpak van bepaalde bodemziekten, t.w. de veenkoloniale haverziekte en de Hooghalensche ziekte is achteraf bezien het beginpunt van een Groningse school geweest. In het begin van de 20e eeuw traden bij haver op veenkoloniale gronden in toenemende mate ziekteverschijnselen op. SJOLLEMA en HUDIG verzamelden praktijkervaringen, waaruit bleek dat de zg. alkalische bemesting een oorzaak kon zijn. Dit was aanleiding om het gedrag van zure en basische meststoffen op proefvelden te onderzoeken. Het bleek al spoedig, dat de ziekte inder-

daad met de alkalische reactie van de grond samenhangt. Kort daarna, omstreeks 1913, werd HUDIG met het optreden van de zg. Hooghalensche ziekte geconfronteerd. Hij vond, dat in dit geval het gebruik van alkalische meststoffen de remedie is. Het was ongetwijfeld een prestatie van HUDIG dat hij reeds in die tijd een verbinding tussen beide ziekten heeft gelegd. In 1915 schrijft hij: "Maar .... hier begint voor de practijk een grote moeilijkheid, want zet men de alcalische behandeling te lang voort, dan ziet men langzaam de cultuurresultaten achteruitgaan, totdat de 'Veenkoloniale haverziekte' optreedt. De gulden middenweg schijnt hier de beste, maar hoe kan de practijk die vinden? Men vergete niet, dat de zure meststoffen beter effect hebben op gronden, die tot de Veenkoloniale haverziekte neigen (zonder dat zij eigenlijk ziek zijn) en omgekeerd de alcalische meststoffen op de tot Hooghalensche ziekte geneigde bodems. De practicus zal zijn grond dus door en door moeten kennen. Ook voor ons is moeilijk in deze te adviseren vóór de ziekte er is. Daarom heeft schrijver dezes er zoo voor geijverd, dat er een proefboerderij tot stand kome, waarop men alle gradaties van zuurheid en alcaliteit kan maken, als 't ware." Men ziet hierin reeds het programma, dat hem voor ogen stond: trappenproefvelden aanleggen om een eventuele maat voor de zuurheid te toetsen.

Voorlopig moest HUDIG het doen met het bekende proefveld te Spitsbergen, oorspronkelijk bedoeld voor vergelijking tussen zure en alkalische bemestingen. Later werden er ook kalktrappen op aangelegd, o.a. om na te gaan hoeveel kalk gegeven moet worden om de kwaal op te heffen. In een verslag over dit proefveld in 1916 deelde hij mede, dat men bezig is een methode uit te werken om langs scheikundige weg de kalkbehoefte te bepalen. HUDIG en MEIJER lieten in 1920 op een foto van de stand van het gewas in potten bemest met verschillende hoeveelheden zure en alkalische meststoffen, de eerste optimum kromme zien, die bij landbouwkundig onderzoek is verkregen.

HUDIG introduceerde omstreeks 1923 het in het laboratorium te bepalen begrip kalktoestand. Op alle objecten van de bestaande proefvelden werden de kalktoestanden bepaald. De objecten werden alleen met hun kalktoestand aangeduid, zodat de indruk gewekt wordt, dat men met opzettelijk aangebrachte kalktoestanden te doen heeft. Op verschillende plaatsen in Nederland worden eenvoudige proefvelden aangelegd, waarop een kalktekort, een kalkovermaat en een neutrale toestand vergeleken werden. Van grote betekenis is het 'Bericht van het Rijkslandbouwproefstation No. 24' over het proefveld te Spitsbergen. HUDIG en MEIJER drukten hier de opbrengsten in procenten van de hoogste opbrengst uit. Zij wezen erop, dat men een goede indruk van de betekenis van de kalktoestand krijgt door rangschikking in een tabel van de opbrengsten in volgorde van toenemende kalktoestand. De tabel laat zodoende de later zo bekend ge-

worden optimum kromme zien. Dit bericht heeft een historische betekenis, omdat hier voor het eerst een kwantitatieve samenhang tussen een bodemfactor en de opbrengst gegeven wordt. Een en ander gaf aanleiding op de proefboerderij te Borgercompagnie een proefveld aan te leggen, waarop verschillende kalktoestanden werden aangebracht. MEIJER gaf hieraan de naam 'curveproefveld', zich hierbij baserend op de reeds verkregen ervaringen.

Het is nu het moment de schets van de historische ontwikkeling even te onderbreken en stil te staan bij de toenmalige opvattingen over de wijze waarop onderzoek verricht moet worden, welke wegen bewandeld moeten worden om tot een vermeerdering van kennis te komen enz. De beoefenaars van het landbouwkundige onderzoek in die periode waren meestal mensen met een biologische, chemische of fysische opleiding. Met hun gespecialiseerde kennis brachten zij ook de in die wetenschappen als juist aanvaarde methode mee. Een landbouwwetenschap bewust van een eigen problematiek bestond niet. Men kan hoogstens stellen, dat een dergelijke wetenschap bezig was te ontstaan. HUDIG en MANSHOLT zijn de eersten geweest, die in een artikel getiteld 'Aard van het landbouwkundig onderzoek; eene proefboerderij voor den akkerbouw' (1910) getracht hebben een richting aan te geven. Het is begrijpelijk dat zij hierin met de toenmalige ervaring en kennis niet ten volle zijn geslaagd.

Ter verduidelijking van mijn later betoog vat ik de natuurwetenschappelijke methode kort samen. Zoals in alle empirische wetenschappen verloopt de vermeerdering van kennis in de natuurwerenschappen zó, dat aan de hand van ervaring en kennis een hypothese ter verklaring van het te onderzoeken verschijnsel wordt opgesteld. Aan de hand van uit deze hypothese afgeleide voorspellingen wordt onderzocht of de natuur in overeenstemming is met deze voorspelling. De gedachtengang is hierbij als volgt. Als hypothese A inderdaad juist is, dan kan hieruit afgeleid worden dat B waar moet zijn. Nu vinden wij B inderdaad als waar. Hieruit volgt dat A inderdaad een aannemelijke hypothese is. Dit betekent niet, dat men bewezen heeft, dat hypothese A juist is; het betekent alleen maar, dat hypothese A iets aannemelijker is geworden. Of, om COHEN en NAGEL te citeren: "The verification of theories is only approximate. Verification simply shows that, within the margin of experimental error, the experiment is compatible with the verified hypothesis." Vermeerdering van kennis in bovengenoemde zin is een iteratief proces, waarbij steeds getracht wordt door herhaald onderzoek de hypothese aannemelijker te maken. Het is verder duidelijk dat de hypothese een grote rol in het geheel speelt. Het is bekend dat vermeerdering van kennis ook wel via andere wegen gaat. Het is in de natuurwetenschappen bijzonder vruchtbaar gebleken de hypothese aan gegevens die kunstmatig verkregen zijn, te toetsen en vooral door één factor te veranderen en de andere

constant te houden (ceteris-paribus-principe).

Het grote probleem waarmede elke beginnende wetenschap te maken heeft, is dat er nog zo weinig ervaring en kennis is. De hypothese-vorming is daarom nog eenvoudig en gebrekkig, zij gaat tastend haar weg en is sterk heuristisch ingesteld. Het is duidelijk, dat het vruchtbaarheidsonderzoek hieronder ook te lijden heeft gehad en nog altijd heeft. Van één ding was men echter overtuigd, dat vermeerdering van kennis, ook over de bodemvruchtbaarheid, alleen te verkrijgen is door een ingreep toe te passen, bijv. één factor te veranderen en de andere constant te houden. Dit principe is de achtergrond van het gebruik van proefvelden geweest. Door de ontwikkeling van een speciale statistische bewerkingstechniek is de waarde van dit principe sterk overschat en omgekeerd. Ik kom hierop nog terug.

De landbouwkundige onderzoeker tracht op de eerste plaats zijn kennis te vergroten om adviezen te kunnen geven. De landbouwwetenschap is een praktische wetenschap, die meer gebaat is met vergroting van kennis van samenhangen dan van mechanismen die een proces bepalen, hoe belangrijk deze laatste kennis indirect ook kan zijn. Hij zal in sterke mate met natuurlijke omstandigheden te maken hebben, met factoren die de boer niet of moeilijk kan veranderen of voorzien. De boer heeft bij de vruchtbaarheid van zijn grond met een samenstel van factoren te maken, die elkaar in hun werking kunnen beïnvloeden. De ervaring is dan ook, dat de resultaten van onderzoekingen van een verschijnsel sterk kunnen uiteenlopen, dat onderzoekers tot verschillende conclusies komen enz. Dit is, zoals wij reeds gezien hebben, ook de ervaring van de eerste onderzoekers op het gebied van de vruchtbaarheid van de grond geweest. Enerzijds weet men dit aan de gebrekkige proeftechniek, anderzijds merkte men dat de factoren invloed op elkaar hebben. Het is bijzonder gevaarlijk te generaliseren. Dit ondervond HUDIG die van een kalktoestands*wet* sprak. Men merkte echter op, dat de invloed van bepaalde meststoffen op de grond niet steeds gelijk was, dat de verzurende werking afhing van de aard van de grond enz. Men leerde ook al spoedig, dat een bemesting niet steeds dezelfde werking vertoonde, hetgeen weer aanleiding was de rijkdom van de grond hiervoor verantwoordelijk te stellen. Men leerde dat de optimale kalktoestand niet voor alle gronden gelijk was. Maar de periode vóór 1930 leverde voldoende ervaring op om te laten zien dat de gebruikelijke methode van onderzoek niet geschikt was om alle problemen op het gebied van de vruchtbaarheid van de grond tot oplossing te brengen.

De periode na 1930

Zo was de stand van zaken, toen O. DE VRIES in 1930 hoofddirecteur van het

Rijkslandbouwproefstation en Bodemkundig Instituut werd. Zonder anderen te kort te doen kan men stellen, dat hiermede de periode DE VRIES-VISSER aangebroken is. Zij hebben met medewerking van BRUIN en vooral van VAN DER PAAUW na 1930 hun stempel op de aard van het vruchtbaarheidsonderzoek gedrukt. Nieuwe ideeën werden gelanceerd, waarvan niet altijd precies kan worden aangegeven van wie zij afkomstig zijn.

De eerste stap werd gedaan door duidelijk te stellen, dat de opbrengst een functie is van vele factoren en dat de vruchtbaarheid van de grond als een meerdimensionaal geheel moet worden beschouwd. Het onderzoek moet van uit dit gezichtspunt worden uitgevoerd. Hiervan uitgaande ontvouwde DE VRIES in een lezing in 1934: 'Düngungsfragen in ihren gegenseitigen Beziehungen als polydimensionales Problem' een werkprogramma. Hij stelde niet alleen dat de opbrengst afhankelijk is van een groot aantal factoren, maar ook dat de werking van een factor op de opbrengst door een andere factor kan worden beïnvloed. Dit heeft als consequentie dat men de proefvelden zo moet aanleggen, dat twee of meer factoren tegelijk onderzocht kunnen worden. Hij geeft een voorbeeld, hoe de werking van een bekalking door de hoogte van de fosfaatbemesting wordt beïnvloed. Voor dit verschijnsel hadden EDEN en FISHER in 1929 reeds het woord 'interactie' gebruikt. De proefopzet om deze interacties vast te stellen was trouwens reeds bekend. Als zodanig brachten dergelijke voorbeelden dus geen nieuws. De grote betekenis is gelegen in het feit, dat een werkprogramma gegeven werd om deze verschijnselen te onderzoeken en dat dit niet werd beperkt tot factoren die kunstmatig veranderd kunnen worden.

In verband hiermede is het door VISSER uitgewerkte voorbeeld betreffende de factoren die de grootte van de pH verhogende of verlagende werking van een stikstofmeststof in de grond bepalen, van grote betekenis geweest. Ook in dit voorbeeld werd een interactie onderzocht, maar één factor in dit onderzoek werd niet kunstmatig door de onderzoeker veranderd. Wegens de grote betekenis die deze aanpak voor de latere ontwikkeling heeft gehad, zal de uitwerking kort worden weergegeven.

Men had het volgende probleem. Van een aantal meerjarige proefvelden was de uiteindelijke stijging of daling van de pH bekend, die de grond door voortgezette bemesting met zwavelzure ammoniak of met chilisalpeter ondergaat. De bewerking leerde dat deze dalingen of stijgingen op de verschillende proefvelden niet even groot waren. Op sommige proefvelden was de pH sterk gestegen, andere lieten slechts een geringe stijging zien. Hier komt dus weer het oude probleem naar voren, waar de onderzoekers steeds tegenaan liepen. Het is een ingenieuze gedachte geweest een bepaalde bodemeigenschap als oorzaak voor deze verschillen tussen de proefvelden aan te nemen en de resultaten van

de proefvelden uit dit gezichtspunt op een bepaalde wijze met elkaar in verband te brengen. In dit geval is als verklarende factor Q_n genomen, t.w. de verhouding tussen het aantal kg stikstof per ha en het aantal tonnen humus per ha bouwvoor. Men mocht op grond van bepaalde overwegingen over de bereikte eind pH een dergelijke invloed verwachten. Inderdaad werd een duidelijke samenhang tussen Q_n enerzijds en de dalingen en stijgingen van de pH anderzijds gevonden; in een driedimensionale voorstelling werd deze gedemonstreerd. Hiermede was de hypothese bevestigd en een schatting van de grootte van de invloed verkregen. Het was nu mogelijk de verandering van de pH onder invloed van de stikstofbemesting te voorspellen.

In vier artikelen (1936–1938) getiteld 'Das Serienprinzip in Feldversuchen' en 'Het serieprincipe bij veldproeven' gaf DE VRIES een overzicht van de ideeën die zich binnen het Rijkslandbouwproefstation langzamerhand ontwikkeld hebben. Een en ander is met door BRUIN, VAN DER PAAUW en VISSER uitgewerkte voorbeelden toegelicht.

Allereerst bracht hij de betekenis van het zg. serieprincipe in een veldproef naar voren. Hiermede bedoelde hij de in de fysiologie reeds lang bekende werkwijze om de invloed van een factor in de vorm van een toe- of afnemende reeks te bestuderen (bijv. opklimmende hoeveelheden van een meststof). De samenhang tussen deze groeifactor en de teweeggebrachte verandering kan door een kromme worden weergegeven. Hij wees erop, dat het op deze wijze mogelijk is het zo belangrijke maximum te vinden en legde er de nadruk op dat de hiervoor nodige uitbreiding van het aantal objecten ten koste van het aantal herhalingen mag gaan; het aantal benodigde veldjes behoeft dus niet te worden vergroot om dezelfde nauwkeurigheid in de conclusies te bereiken. DE VRIES heeft hier een richting gekozen, die sterk van de toen geldende "herhalingen boven alles om een grote nauwkeurigheid te verkrijgen" afweek. Hoe belangrijk deze keuze voor de Nederlandse landbouw is geweest, laat zich het best demonstreren met de volgende uitspraken. PETERSON stelt in zijn artikel 'Examples of the influence of soil science on agronomic practice' (1957) dat het landbouwkundige onderzoek in de Verenigde Staten in gebreke is gebleven omdat geen aandacht is geschonken aan de ideeën van GILE die met die van DE VRIES te vergelijken waren. Hij schrijft: "Had his admonitions been followed, I believe we would have been using higher rates of fertilizer much earlier and we would not have been penalizing row crops so heavily for so long in land-use recommendations." BOYD (Rothamsted) uitte in 1961 in een lezing voor 'The Fertiliser Society' getiteld 'Current fertiliser practice in relation to manurial requirements', een klacht van gelijke strekking: "An unfortunate feature of a large part of the experimental work on fertilisers done since the war has been the restricted range of rates tested.

Timidity tends to be the besetting sin of the experimenter, and it is hardly surprising that, in a period of such rapid increases in fertiliser use, the rates of fertiliser used in the experiments should have lagged behind those being applied in practice." Hij besluit met: ". . . .and it was not until the new series of sugar experiments begun in 1957 that anything like the full range of fertiliser rates being applied on British farms was tested in practice." Hierbij zij aangetekend, dat het ontbreken van voldoende trappen een consequentie van het Engelse proefveldsysteem is.

DE VRIES heeft erop gewezen, dat het serieprincipe belangrijk is om de werking van verschillende vormen van een voedingsstof te vergelijken. Hij schreef dat de nog altijd gebruikelijke methode om meststoffen te vergelijken in één bepaalde hoeveelheid, volkomen fout is: "Een vergelijking van diverse meststoffen, elk in één object moet in zulke gevallen even beslist en bewust veroordeeld en verworpen worden, als men tot nu toe – en terecht – een proefveld zonder herhalingen veroordeelde en verwierp." De methode is later ook gebruikt om de wijze van bemesting (breedwerpig en in rijen) en de werking van organische meststoffen te vergelijken.

Het systeem van punten in een serie kan ook in andere richtingen worden uitgebreid. Aan de hand van een voorbeeld toonde DE VRIES aan dat men meer inlichtingen van een proefveld krijgt door de parallellen niet samen te vatten, maar als afzonderlijke objecten te gebruiken. Dit werd gedemonstreerd door op eèn fosfaatproefveld het fosfaatgehalte in de grond van elk parallelveldje te bepalen en vervolgens deze gehalten in verband te brengen met de verkregen opbrengsten. De vermeerdering in kennis ten opzichte van de oude methode is inderdaad opvallend. Het zou later blijken dat deze gedachtengang bijzonder vruchtbaar was.

Reeds eerder, in 1936, had BRUIN de resultaten van een bewerking van een aantal proefvelden met 760 oogstjaren volgens de bij het Rijkslandbouwproefstation aanwezige principes uitgevoerd. Hij vond op de meeste proefvelden een duidelijk verband tussen de pH en de bijbehorende opbrengst. Het bleek verder dat de proefvelden onderling zeer verschillende opbrengstkrommen lieten zien. Hij vond een verband tussen de ligging van de optimale pH en het opbrengstniveau. VISSER vond in 1938 iets dergelijks en kwam tot de volgende uitspraak: "Hoe slechter de toestand van de grond of van de andere groeiomstandigheden voor een gewas is, des te groter zal over het algemeen het nadeel zijn van een tekort aan noodzakelijke groeifactoren of een teveel aan schadelijke." De inhoud van deze uitspraak is voor ons doel van minder belang; van meer betekenis is het feit dat het mogelijk bleek door gebruikmaking van gegevens van verschillende proefvelden tot een uitspraak te komen.

Binnen het raam van het serieprincipe deed VISSER een stap verder door van systematische gekozen objecten af te zien. Hij nam hiertoe de gegevens van vier meerjarige proefvelden gelegen op perceel 5 van de proefboerderij te Borgercompagnie, waarop geheel verschillende problemen onderzocht waren (vergelijking van soorten stikstofmeststoffen en stalmest onder verschillende omstandigheden, kalktoestandstrappen en vergelijkingen van fosfaat- en van kalimeststoffen). Hij gebruikte alle 130 veldjes om het verband tussen opbrengst en pH onder verschillende cultuuromstandigheden na te gaan.

Van grote betekenis is het onderzoek van VAN DER PAAUW over het kalivraagstuk op zand- en dalgronden geweest, waarvan de resultaten in 1936 zijn gepubliceerd. Voortbordurend op het serieprincipe en gebruikmakend van de ervaringen en ideeën binnen het Rijkslandbouwproefstation, was het hem mogelijk de kalitoestand van verschillende proefvelden en de opbrengstreactie op een kalibemesting met elkaar in verband te brengen. De gegevens van verschillende proefvelden aangelegd door de Rijkslandbouwvoorlichtingsdienst en van enkele eigen proefvelden stonden hem ter beschikking. Het waren meerjarige proefvelden van eenvoudige opzet; de objecten waren meestal wel en niet bemest. Hij vereenvoudigde het probleem tot een samenhang met betrekkelijk weinig dimensies door de opbrengsten van de objecten in procenten van de hoogste opbrengst van het proefveld uit te drukken. Deze relatieve opbrengsten bracht VAN DER PAAUW met het bijbehorende kaligetal (als maat voor de kalitoestand van grond) in verband; hij zette deze gegevens tegen elkaar uit in een grafiek en trok een zg. gemiddelde lijn. Hij verkreeg zodoende de bekende kromme die later in zovele onderzoekingen teruggevonden zou worden. Waren het in het reeds besproken onderzoek van DE VRIES alleen verschillen in fosfaattoestand binnen één perceel, in dit geval werden kalitoestanden in de bewerking opgenomen, die niet door de proefnemer tot stand waren gebracht. Dit onderzoek is tevens een demonstratie van de ontwikkeling van het begrip 'serie' in betrekkelijk korte tijd. Tegenwoordig kennen wij het woord meer in de betekenis van series van proefvelden.

De stap naar dit stelsel lag voor de hand. Hierbij wordt een serie betrekkelijk eenvoudige bemestingsproefvelden (één- of meerjarige) aangelegd. Het aantal herhalingen is gering, de objecten worden zo gekozen dat het gehele traject van de opbrengstkromme wordt verkregen, waarbij steeds wordt getracht ten minste de maximale opbrengst te bereiken. Dit geldt voor vergelijkingen binnen één proefveld en voor die tussen proefvelden. Dit laatste betekent dat men steeds tracht de proefvelden aan te leggen op percelen, die slecht, matig en goed voorzien zijn van het te onderzoeken element. Dit geldt ook voor factoren die de reactie kunnen beïnvloeden. Het is op deze wijze mogelijk de opbrengstreactie

bij alle toestanden na te gaan. Het eerste onderzoek dat op deze wijze is uitgevoerd en het voorbeeld voor latere onderzoekingen is geweest, is dat van VISSER naar de kali- en fosfaathuishouding van de Groningse klei- en zavelgronden in 1938 en 1939.

Grafische bewerkingstechniek

De bruikbaarheid van deze methodologische opvattingen is door het gebruik van de zg. grafische bewerkingstechniek sterk bevorderd. Men had in het begin van de jaren dertig in de economie reeds veel ervaring met deze grafische werkwijze. Het boek van RICHTER-ALTSCHÄFFER 'Theorie und Technik der Korrelationsanalyse' (1932) beschrijft de werkwijze, zij het slechts in enkele dimensies, uitvoerig. Ook het corrigeren voor andere factoren wordt behandeld. Dit geldt eveneens voor het boek van EZEKIEL 'Methods of correlation analysis' (1930). VISSER heeft de mogelijkheden van deze methode bij het vruchtbaarheidsonderzoek ingezien en veel bijgedragen tot verbetering van de grondslagen. Het moet als een grote verdienste worden beschouwd, dat hij de principes van de lijnvereffening, waaraan VAN UVEN reeds nieuwe belangrijke elementen had toegevoegd, op deze grafische bewerking heeft toegepast. Een belangrijk punt hierbij was, dat hij bij het trekken van de lijn met de fouten (gewichten) van de variabelen rekening hield. Deze werkwijze is vooral van betekenis bij het trekken van krommen met een sterk stijgende of dalende tak. De ervaring is dat dit type van kromme betrekkelijk vaak nodig is om vruchtbaarheidsverschijnselen te beschrijven. Een algemeen geldige mathematische behandeling van het in rekening brengen van gewichten is in 1943 door DEMING gegeven.

De opvattingen binnen het Rijkslandbouwproefstation en het grote aantal beschikbare gegevens drongen VISSER in het begin van de jaren dertig als het ware in de richting van de grafische bewerking. In twee artikelen (1942 en 1943) getiteld resp. 'Over de bruikbaarheid van de grafisch-statistische bewerkingstechniek' en 'Over eenige grondslagen van het grafisch-statistisch onderzoek', heeft hij een motivering gegeven, die nog steeds geldig is. Hij schrijft in de eerste publikatie: "Het is niet bekend, hoe de reactieformule wel luidt. Een fundamenteel juiste bewerking is dus niet mogelijk. Ook de meest tijdrovende berekening zal daarom nooit meer kunnen zijn dan een exacte bewerking op wankelen grondslag, een omstandigheid, die men bij toegepast wetenschappelijk werk zoo vaak ontmoet. Er bestaat geen reden, om op deze gronden de mathematische behandeling van dit soort vraagstukken te verkiezen boven een grafische bewerking." Uit deze woorden blijkt dat ook bij hem de keuze van de grafische werkwijze op niet principiële gronden berustte; er was niets beters! Pas in de laatste tijd worden de eerste pogingen gedaan om tot mathematische formule-

ringen van opbrengstkrommen, gebaseerd op biologische principes, te komen. In Groningen zelf is men begonnen met de mathematische formulering van enkele bodemkundige processen. KORTLEVEN stelde een formule op, waarin het organische-stofgehalte een functie van een aantal factoren is; SLUIJSMANS kwam tot een soortgelijke formule bij de beschrijving van het gehalte aan voedingsstoffen in de grond.

VISSER heeft met deze keuze belangrijk werk gedaan. Toen, en ook nu nog, ontbraken de mathematische beschrijvingen, gebaseerd op fysiologische kennis, van de meeste verschijnselen. Gegeven dit feit, kan de onderzoeker twee dingen doen. Men kan op deze kennis wachten en afzien van een bewerking over deze relaties, maar dat betekent landbouwkundig gezien tamelijk onvruchtbaar werk. Een groot deel van het bodemvruchtbaarheidsonderzoek buiten Nederland heeft deze richting gekozen. Het is daar blijven steken bij de berekening van gemiddelden, zoals dat in Nederland in de beginperiode ook heeft plaatsgevonden. Men kan echter ook een andere richting uitgaan. Daarbij veronderstelt men bepaalde verbanden en gaat men heuristisch na, welke typen van krommen of vergelijkingen die relaties het best beschrijven. Een groot verschil tussen de wiskundige en de grafische werkwijzen bestaat hierbij niet. De logische beperkingen van de grafische bewerking zijn vergelijkbaar met die welke bij de keuze van de wiskundige gelden. De onderzoekers te Groningen hebben zich buiten de strijd over de juiste vergelijking gehouden; *zij zijn gaan werken!* Hoe gevaarlijk het is de meststofreactie met een willekeurige vergelijking te beschrijven, bleek uit het gebruik van de exponentiële functie in Engeland door CROWTHER en YATES in 1940. BOYD schrijft hierover in 'Fertiliser responses of manuring potatoes: A re-examination of the experimental evidence' van 1961: 'These (later aangelegde proefvelden) have been valuable in showing that the exponential type of response curve, in which responses to increasing dressings rise asymptotically to a maximum, can give an erroneous impression of the returns from high levels of manuring."

De toepassing van de grafische methode betekent overigens niet, dat deze werkwijze geen gevaren inhoudt. De vaak gehoorde kritiek over de willekeur van de grafische werkwijze zal ik hier niet behandelen. Zij berust voornamelijk op het feit dat men zonder eigen ervaring een methode beoordeelt. De meerdimensionale bewerking laat weinig ruimte voor willekeur. De kritiek op het gemis aan een objectieve beoordeling van de betrouwbaarheid is zowel uit methodologisch als uit wiskundig-statistisch oogpunt belangrijker.

Ik heb reeds medegedeeld dat de hypothesevorming van grote betekenis is voor de toeneming van onze kennis. Het is duidelijk dat een onderzoeker die een grafische bewerking toepast, reeds in de een of andere vorm een hypothese

heeft. Hij neemt een samenhang tussen de variabelen aan, met vage ideeën over de stijgende of dalende takken, de vorm en ligging van het maximum enz. Het is echter moeilijk deze hypothese nader te preciseren. Het gevolg is dan ook dat de onderzoeker meer geneigd is de suggesties die de gegevens kunnen bieden, af te wachten dan een meer uitgewerkte hypothese op te stellen en te toetsen. Het meest juiste zou zijn de verkregen suggesties in de vorm van een kromme weer als hypothese aan nieuwe gegevens te toetsen. De ervaring leert echter dat dit vaak achterwege blijft, ook al wegens de omvangrijkheid en kosten van het onderzoek.

Het ontbreken van de mogelijkheid de samenhang statistisch te toesten, heeft lange tijd heftige kritiek ontmoet. Een en ander werd nog in de hand gewerkt door het feit dat de spreiding der punten om de kromme gemakkelijk aanleiding kan geven de betrouwbaarheid van een lijn te onderschatten. Men realiseert zich niet dat een grotere spreiding aanwezig kan zijn bij een statistisch betrouwbaar gemiddelde, waarvan de grootte van de standaardafwijking alleen gegeven is. Na de invoering van de betrouwbaarheidsberekening door FERRARI in 1952 wordt een dergelijke berekening steeds toegepast. De kritiek is verdwenen en de grafische methode wordt algemeen, ook in andere wetenschappen, toegepast. Door de opkomst van de elektronische rekenmachines bestaat echter de neiging de bewerking zoveel mogelijk wiskundig uit te voeren.

De andere richting

De betekenis van de Groningse ontwikkeling kan het best beoordeeld worden door een vergelijking met de opvattingen buiten Nederland. De ontwikkeling in andere centra van bodemvruchtbaarheidsonderzoek, waarvan het meest invloedrijke het proefstation "Rothamsted" is geweest, was geheel anders. Ter vergelijking wordt nu een korte schets van deze opvattingen gegeven. Ik grijp daarvoor eerst nog terug op de opvattingen over de waarde van proefvelden in het bodemvruchtbaarheidsonderzoek in de periode 1925 tot 1930.

Wij hebben gezien, dat men betrekkelijk teleurstellende ervaringen met proefvelden had. Het bleek moeilijk algemeen geldende conclusies te trekken. De opvatting was dat dit samenhing met de onbetrouwbaarheid van de resultaten. Nu heeft deze onbetrouwbaarheid twee kanten, en het is goed deze te onderscheiden. Op de eerste plaats is er een onbetrouwbaarheid die samenhangt met een grote spreiding in resultaten tussen proefvelden; het gemiddelde resultaat heeft meestal voor de individuele gevallen weinig betekenis. Wij hebben gezien dat de Groningse school deze grote verschillen als wezenlijk beschouwt; men moet daarom de oorzaken van deze verschillen trachten op te sporen. Anderen hebben het gezocht in het verkrijgen van een kleine spreiding in de resultaten

door middel van een homogene steekproef van proefvelden. Men wijkt hiermede echter zo sterk van de normale omstandigheden af, dat het zeer de vraag is of deze methode tot resultaat kan leiden. SANDISON schreef in 1959 dan ook: "A lower between-trial error, leading to significance from fewer trials, is not necessarily a matter of a congratulation, but suggests that the trial centra or seasons may not have been sufficiently representative."

Het tweede aspect van de betrouwbaarheid hangt samen met de nauwkeurigheid binnen één proefveld. De ervaring had geleerd dat de heterogeniteit van de grond binnen een proefveld over het algemeen groot is; hierdoor is het dikwijls moeilijk vast te stellen of een verschil in opbrengst tussen de objecten door de ingreep, door het verschil in bodemgesteldheid of door beide veroorzaakt wordt. Men heeft methoden ontwikkeld om deze storende invloeden zo goed mogelijk te elimineren. Ook de Groningse onderzoekers hebben zich hiermede beziggehouden. De ervaringen van FRANKENA omstreeks 1935 met het systeem van blanco of blinde proeven waren niet gunstig. VISSER en DE VRIES zagen in de heterogeniteit nog positieve elementen. De eerste beschouwde de proefveldfout als een aanwijzing over factoren die in het minimum verkeren; deze fout is kleiner naarmate meer factoren in het optimum verkeren. Hij elimineerde de invloed van de heterogeniteit zo mogelijk met behulp van een grafische bewerking.

In de loop van de tijd is een groot aantal systemen en berekeningswijzen ontworpen om te trachten tot zo betrouwbaar mogelijke conclusies te komen en deze betrouwbaarheid in een maat uit te drukken. Bekend zijn o.m. de methoden van HOLTMARK en LARSEN, MITSCHERLICH en KNUT VIK. Het meest bekend is ongetwijfeld de methode gebaseerd op de variantie-analyse, waaraan de naam van R. A. FISHER verbonden is. Het principe ervan is dat men op allerlei manieren een voldoende scheiding tussen de verschillende variantie-oorzaken tracht te verkrijgen om daardoor een zo betrouwbaar mogelijke econclusie te trekken. Door een juiste combinatie van herhalingen en proefveldindeling tracht men de invloed van de heterogeniteit van de grond door een berekening te elimineren. De omstandigheden worden zo gunstig mogelijk gemaakt om een invloed betrouwbaar vast te stellen. Het aantal trappen van de te variëren factor wordt opgeofferd aan het aantal herhalingen. Dit betekent, dat men te weinig trappen heeft om een goede samenhang tussen factor en opbrengst, aangegeven door een kromme, te vinden. Het is meestal onmogelijk vast te stellen of men het maximum bereikt heeft of niet. Dit gemis komt nog sterker naar voren door de noodzaak interacties te onderzoeken, waardoor het aantal combinaties van objecten sterk vergroot moet worden. De methode ontstaan uit de praktijk van het landbouwkundige onderzoek in Rothamsted, is van grote betekenis gebleken en wordt

zeer veel, ook buiten het landbouwkundig onderzoek, toegepast, Deze toelichting zal wel voldoende zijn om het verschil met de Groningse school duidelijk te doen uitkomen.

Het leggen van een zo sterke nadruk op het verkrijgen van betrouwbare conclusies en de successen die hiermede behaald werden en worden, zijn ongetwijfeld ook de achtergrond geweest van het systeem deze methode ook bij de samenvatting van gegevens van verschillende proefvelden te gebruiken. Men lette meer op de betrouwbaarheid van de bij de samenvattende bewerking verkregen conclusies dan op een mogelijke verklaring van de verschillen. Hier zit een groot verschil met de Groningse opvattingen. De bewerking van series proefvelden is ook gebaseerd op de principes van de variantie-analyse, zodat men uitspraken kreeg in de vorm van "de verschillen in reactie op een kalibemesting tussen de proefvelden zijn betrouwbaar", waaraan men landbouwkundig weinig heeft. Men is er pas veel later toe overgegaan door middel van een afzonderlijke bewerking van groepen, bijv. ingedeeld volgens bodemkundige klassen, de variantie-invloeden nader aan te duiden; een verklaring tracht men hierbij niet te geven. In dit opzicht is er niet veel verschil met de bewerking van TUINZING in het begin van deze eeuw. Illustratief is een publikatie van REITH en INKSON 'Effects of fertilisers and farm-yard manure on swedes and turnips' (1963). Zij schrijven in de samenvatting: "Phosphorus increases the yield of roots in all but four of the experiments and this nutrient generally had a greater effect than either nitrogen or potassium. The response to potassium was significant in only half of the experiments and its effect on yield was normally less than that of nitrogen." De vooruitgang vergeleken met uitspraken van 60 jaar geleden in Nederland is niet groot; van een methode om de verschillen tussen de proefvelden systematisch met bepaalde causale factoren in verband te brengen merkt men weinig. Pas in de laatste jaren komt, speciaal in de Verenigde Staten, een richting naar voren, die met het werk van de Groningse school kan worden vergeleken.

Het leggen van de sterke nadruk op de verkrijging van zeer betrouwbare conclusies met als consequentie veel herhalingen en weinig trappen, heeft de onderzoekers tot meer kwalitatieve dan kwantitatieve uitspraken gebracht. De opvattingen vormen inderdaad geen goede voedingsbodem om bij de samenvattende bewerking van proefveldgegevens in de richting van functionele verbanden te gaan denken. Het een hangt met het ander samen. Daarbij komt nog dat de omstandigheden gunstig waren om de opvattingen van FISHER c.s. ingang te toen vinden, t.w. de ongetwijfeld bijzondere mathematische kwaliteiten van de variantie-analyse, de mogelijkheden om de invloed van storende factoren te elimineren en om de betrouwbaarheid van de conclusies in een getal aan te geven, de vele successen met de methode ook in andere wetenschappen ver-

kregen, de mogelijkheid de methode betrekkelijk schematisch toe te passen, en de centrale positie die Rothamsted in het Britse wereldrijk innam.

Het resultaat ziet men in de huidige statistische handboeken: uitgebreide bespreking van de variantie-analyse en de daarop gebaseerde proefveldopzet en de naar verhouding geringe aandacht die de regressie-analyse krijgt. In zijn artikel 'Causal inference from observational data '(1955) bespreekt de econometrist WOLD de moderne methoden om verschijnselen te beschrijven en te verklaren. Hij schrijft: "A fourth broad area remains – explanation on the basis of observational data. In this field, which embraces among other things a large proportion of social research, progress has been less systematic and spectacular. Current text-books reveal the stepchild treatment which this sort of problem has received from professional statisticians." De uitgebreide toepassing van de variantie-analyse te zamen met de proef met ingreep heeft de praktische betekenis van het vruchtbaarheidsonderzoek buiten Nederland sterk vertraagd. Dit hangt samen met het feit dat men de bepaling van de betrouwbaarheid en de vergroting van deze betrouwbaarheid meer als doel dan als middel is gaan beschouwen. Veelbetekenend zijn wat dit betreft de woorden van YATES in zijn artikel 'Fisher and the design of experiments' (1964) bij de dood van FISHER. Hij besluit aldus: "The most commonly occurring weakness in the application of Fisherian methods is, I think, undue emphasis on tests of significance, and failure to recognise that in many types of experimental work estimates of the treatment effects, together with estimates of the errors to which they are subject, are the quantities of primary interest. To some extent Fisher himself is to blame for this. Thus in 'The Design of Experiments' he wrote: "Every experiment may be said to exist only in order to give the facts a chance of disproving the null hypothesis". In many experiments, e.g. variety and fertilizer trials, it is known that the null hypothesis customarily tested, i.e. that the treatments produce no effects, is certainly untrue; such experiments are in fact undertaken with the different purpose of assessing the magnitude of the effects. Fisher himself was of course well aware of this, as is evinced in many of his own analyses of experimental data, but he did not, I think, sufficiently emphasise the point in his expository writings. Scientists were thus encouraged to expect final and definite answers from their experiments in situations in which only slow and careful accumulation of information could be hoped for. And some of them, indeed, came to regard the achievement of a significant result as an end in itself." Het lijkt mij in hoge mate gewenst dat alle onderzoekers van deze woorden van YATES kennis nemen.

Uitbouw en verdieping

Ik keer nu terug naar de ideeën van de Groningse school. Ik heb u laten zien, dat Groningen de richting van Rothamsted bewust *niet* gekozen heeft. Het is op zichzelf toch wel opmerkelijk dat een Groningse school met op bepaalde punten volkomen tegengestelde opvattingen zich naast die van Rothamsted heeft ontwikkeld en zich tegenover de populariteit van de andere heeft kunnen handhaven. Voor deze groei, als het ware tegen de verdrukking in, is uiteraard een bepaalde constellatie van factoren noodzakelijk geweest. Deze ontwikkeling was alleen mogelijk door de aanwezigheid van een aantal onderzoekers met de visie en de deskundigheid om een probleem te durven stellen en op hun eigen wijze de oplossing te zoeken. Ook de latere ontwikkeling heeft duidelijk gemaakt dat persoonlijke factoren vaak de belangrijkste zijn om in een bepaalde richting te gaan.

De opvatting om de vruchtbaarheid van de grond als een meerdimensionaal vraagstuk te beschouwen waarin de opbrengst de functie van een aantal factoren is, de ervaring dat de verschillen in reactie tussen de proefvelden van een zodanige orde van grootte waren dat zij door systematische verschillen in bodemfactoren en niet door onnauwkeurigheid verklaard moesten worden, en tenslotte de noodzaak deze verschillen causaal te verklaren om daardoor in staat te zijn bruikbare adviezen te geven, al deze facetten te zamen brachten de onderzoekers ertoe reeds bij de keuze van de proefvelden met hun mogelijke invloed rekening te houden. Met het oog op de bewerking tracht men een zo groot mogelijke spreiding tussen de proefvelden te verkrijgen. Het was niet nodig op het resultaat van het werk van de specialistische onderzoekers met betrekking tot de mathematische formulering van deze samenhang te wachten; de grafische werkwijze bood voldoende mogelijkheden deze meerdimensionale relaties te beschrijven. Het eerste onderzoek dat op deze wijze is opgezet, is het reeds vermelde naar de kali- en fosfaathuishouding op de Groningse klei- en zavelgronden.

In een voordracht voor de toenmalige Studiekring voor Proeftechniek in 1942 beschreef VAN DER PAAUW 'Het oplossen van landbouwkundige vraagstukken door middel van enkele groote en series van kleinere proefvelden'. In een concreet voorbeeld gaat hij van de hypothese uit dat er een verband tussen de grootte van de reactie op de bemesting en de kalitoestand van de grond bestaat: hoe armer de grond, des te groter die reactie. Zet hij het K-HCl-cijfer als maat voor de kalirijkdom tegen de opbrengstreactie (van de verschillende proefvelden) uit, dan blijkt het verband onduidelijk te zijn. Zijn tweede veronderstelling is, dat enkele andere bodemfactoren de reactie beïnvloeden. Op bodemchemische gronden mag men verwachten dat humus een dergelijke

factor is. Door vervolgens de positieve en negatieve afwijkingen ten opzichte van de gemiddelde lijn die het verband tussen K-HCl en reactie aangeeft, tegen het humusgehalte uit te zetten, vindt hij inderdaad een samenhang. VAN DER PAAUW kreeg hierdoor niet alleen een bevestiging van de juistheid van de hypothese over de invloed van het humusgehalte, maar tevens een schatting over de grootten van de invloeden van kali en humus. Hier moet tevens de nadruk worden gelegd op het feit dat op deze wijze de invloed van een factor gevonden wordt, die praktisch niet te veranderen is. Het principe van ingreep is hier onmogelijk. De werkwijze kan tot meer factoren worden uitgebreid.

De gunstige ervaringen in de eerste periode met series proefvelden hebben ertoe geleid dat de meeste bemestingsproblemen in latere jaren tot heden toe op dezelfde wijze zijn aangepakt. Wel kon de techniek der bewerking in de loop van de tijd op verschillende punten verbeterd worden. Het latere onderzoek had niet alleen op de macro-, maar ook op de micro-elementen betrekking. Deze onderzoekingen hebben de gegevens voor het huidige bemestingsadvies opgeleverd zoals deze op basis van grondonderzoek wordt gegeven. De methode werd later ook bij het onderzoek van andere vraagstukken gebruikt. FERRARI kon op deze wijze de betekenis van de structuur voor de stikstofhuishouding aantonen, VAN DER PAAUW betoogde dat deze ook voor de oplossing van fysiologische vraagstukken van betekenis zou zijn.

Achteraf beschouwd moet het gebruik van proefvelden op praktijkvelden zonder direct aanwijsbare gebreken als een gelukkige keuze worden beschouwd. De opbrengstniveaus van de proefvelden waren daardoor ongeveer gelijk, zodat het mogelijk was de opbrengstreactie in procenten van de maximale opbrengst uit te drukken. Men schakelde daarvoor de storende invloed van verschillende voor de grootte van de reactie onbelangrijke factoren uit, terwijl het aantal dimensies sterk werd gereduceerd.

Dit is in veel mindere mate, of in het geheel niet het geval, wanneer de onderzoeker zich tot taak stelt de verschillen resp. in gehalten van mineralen of in opbrengsten tussen de percelen te verklaren. Men mag verwachten dat het gehalte van het gewas over het algemeen van minder factoren afhangt. VAN DER PAAUW deed, na zijn ervaringen bij het graslandonderzoek enkele jaren tevoren, de eerste stap in 1943 met zijn onderzoek naar de waarde van het chemische grondonderzoek op fosfaat en kali met behulp van de chemische samenstelling van het gewas. Op percelen rogge en grasland verspreid over geheel Nederland, werden zowel grond- als gewasmonsters genomen; het waren ongeveer 500 rogge- en 500 graspercelen, later ook wel proefplekken genoemd.

In zijn 'Toetsing van grondonderzoek naar fosfaattoestand op Nederlands grasland' (1951) geeft VAN DER PAAUW de belangrijkste resultaten. Terwijl

tot nu toe steeds gewerkt was met gegevens, die gedeeltelijk met en gedeeltelijk zonder ingreep verkregen waren, worden thans alleen zonder ingreep verkregen waarnemingen gebruikt. Eliminatie van de invloeden van bepaalde factoren met behulp van een ingreep blijft geheel achterwege; deze moet bij de bewerking plaatsvinden. De gegevens zijn in dit opzicht vergelijkbaar met die waarmede de econometrie meestal te maken heeft. De gedachte op deze wijze te werken was bij het onderzoek van de bodemvruchtbaarheid niet nieuw. Zij was echter geen fase in een ontwikkeling van denken en de uitvoering ervan vond niet of met weinig resultaat plaats. Het eerste geldt voor het zg. statistische onderzoek naar de invloed van de pH op de opbrengst dat HISSINK omstreeks 1923 propageerde. Verder zag VAN GINNIKEN mogelijkheden in deze richting. In 1933–1939 zijn door hem en enkele medewerkers zg. statistische onderzoekingen naar de opbrengst van suikerbieten op verschillende praktijkpercelen uitgevoerd. Van de grond werden telkens de pH en de gehalten aan koolzure kalk, slib, kali en fosforzuur bepaald. De resultaten zijn nogal teleurstellend geweest, hetgeen enerzijds aan de gebrekkige gegevens, anderzijds aan de niet beschikbare mogelijkheden geweten moet worden. Alleen in het tweede jaar is een partiële regressie-analyse uitgevoerd; het bleek niet mogelijk met de bovengenoemde factoren meer dan 19 % van de variantie te verklaren.

Verbeterde bewerkingsmethoden en verkregen ervaring bij de behandeling van meerdimensionale vraagstukken maakten het VAN DER PAAUW mogelijk te onderzoeken, van welke factoren de kali- en fosfaatgehalten in de plant afhankelijk zijn. Door de aard van het vraagstuk is het aantal dimensies, waarmede de samenhang beschreven kan worden, nog betrekkelijk gering. Uitgaande van de hypothese dat de opbrengst een zij het nog onbekende functie van een groot aantal factoren is, deed VISSER tenslotte de laatste stap. Met behulp van de zg. polyfactoranalyse, waarin alle ervaringen en inzichten om meerdimensionale relaties grafisch te ontrafelen waren verzameld, trachtte hij deze factoren en de aard van de relaties vast te stellen. De benodigde gegevens worden op proefplekken verzameld. De resultaten van de eerste polyfactoriële onderzoekingen werden in 1949 door hem gepubliceerd. Dergelijk onderzoek is later ook door anderen met meer of minder succes verricht. De grote betekenis ervan is geweest dat men op deze wijze de invloed van een aantal factoren op de opbrengst kwantitatief heeft vastgesteld. Op andere wijze zou dit niet of zeer moeilijk bereikt kunnen zijn. Dit geldt in het bijzonder voor de invloed van niet of moeilijk te variëren, landbouwkundig belangrijke factoren, zoals humusgehalte, structuur, grondwaterstand enz. De meeste kennis over de invloed van bepaalde kenmerken van het profiel, over de optimale grondwaterstand enz. is op deze wijze verkregen. Het blijkt mogelijk een kwantitatieve verklaring voor de verschillen

in opbrengst tussen percelen te geven. FERRARI slaagde er in 1952 op deze wijze in de opbrengstverschillen van aardappelen met behulp van 13 factoren voor 88 % te verklaren. In dit opzicht geeft de niet verklaarde rest-variantie een indruk van de mate waarin wij met de ons bekende factoren de opbrengstverschillen kunnen verklaren.

Voor velen was het de vraag of het mogelijk zou zijn door gebruikmaking van de in de natuur aanwezige variatie alléén, de invloed van de afzonderlijke factoren vast te stellen. In hoeverre zou het verder mogelijk zijn de in de natuur bestaande correlaties tussen de zg. onafhankelijke factoren voldoende te elimineren? Tegenstanders spraken van een 'correlatieve of statistische methode' om daarmede hun twijfel uit te drukken. In een studie 'Vergelijking tussen proeven met en zonder ingreep' vergeleek FERRARI in 1960 de mogelijkheden van beide methoden. Hij liet zien dat de verklaring van een verschijnsel samenhangt met de vorming van een hypothese en met de daarop volgende toetsing van deze hypothese aan de werkelijkheid. Het doet daarbij niet terzake of deze toetsing met gegevens, die met dan wel zonder ingreep zijn verkregen, wordt uitgevoerd. Hij maakte duidelijk dat het verschil niet principieel is en dat beide methoden voor- en nadelen hebben. De ingreep beoogt de voor de conclusie storende invloeden van andere factoren op te heffen; in werkelijkheid is echter de ceteris-paribus-veronderstelling dikwijls onjuist. Bij de proef zonder ingreep tracht men de storende invloeden van andere factoren door de bewerking te elimineren. Het blijkt dat deze eliminatie dikwijls moeilijk is. Met het oog hierop zal de onderzoeker steeds moeten proberen de eliminatie op andere manieren te controleren. FERRARI bevestigde de gecombineerde invloed van kalitoestand en bemesting op de opbrengst van aardappelen met behulp van gegevens van bemestingsproefvelden, VAN DER PAAUW maakte zijn conclusies over de betekenis van de regenval in de winter voor de stikstofreactie in het komende groeiseizoen, afgeleid uit zonder ingreep verkregen gegevens, meer aannemelijk door de regenval door middel van afdekking kunstmatig te variëren.

De proef zonder ingreep brengt mee, dat een hypothesevorming vaak achterwege blijft of te weinig gespecificeerd wordt. Ik heb reeds eerder gesteld, dat het vruchtbaarheidsonderzoek (en dit geldt voor elk landbouwkundig onderzoek) in het bijzonder verbanden bestudeert. Het is onze ervaring dat hypothesen over deze relaties goed in zg. modellen weergegeven kunnen worden. Deze modellen zijn vereenvoudigde abstracties van het verschijnsel dat men onderzoekt. Deze abstracties worden in ons geval eerst in diagrammen en vervolgens in wiskundige vergelijkingen uitgedrukt. Bezinning hierover (FERRARI 1964) laat zien, dat de meeste tot nu toe gebruikte modellen gebaseerd zijn op de veronderstelling, dat een verandering van een onafhankelijke factor geen verandering

van andere onafhankelijke factoren veroorzaakt. Dit ceteris-paribus-principe wordt zowel in proeven met als zonder ingreep aangenomen. HUDIG (1939) liet al in zijn zg. "tentfiguur" zien, dat deze veronderstelling niet reëel is. In de natuur heeft men met zg. kettingprocessen en terugkoppelingen te maken. Dit betekent dat de veronderstelling van een ceteris-paribus-situatie ook in de proef met ingreep dikwijls als onjuist moet worden afgewezen. De proef met ingreep is in dat geval op een te eenvoudig model gebaseerd; de werkelijkheid is anders, waardoor ook met een ingreep geen ceteris-paribus-situatie te bereiken is. Het onderzoek zal daarom meer reële modellen moeten gebruiken, die met de gebruikelijke methoden niet meer te bewerken zijn. Het model van de aspectenanalyse (FERRARI 1957) gaat reeds in deze richting, maar is nog onvoldoende gespecificeerd. FERRARI introduceerde in 1962 de methode van de padcoëfficienten in het vruchtbaarheidsonderzoek, waarmee het mogelijk is verder uitgewerkte modellen met kettingprocessen te toetsen en te kwantificeren, waarbij men in plaats van één vergelijking een systeem van vergelijkingen moet opstellen. Hij gebruikte deze methode om de invloed van een aantal factoren op het magnesiumgehalte van gras te bepalen. Twee van deze factoren zijn het percentage onkruiden en het ruweiwitgehalte van het gras. In het oorspronkelijke model waren deze variabelen als onafhankelijke factoren aangenomen; het is duidelijk, dat dit geen reële veronderstelling is. Het werd daardoor mogelijk een model te toetsen en te kwantificeren, waarin beide variabelen oorzaak en effect waren. Bijzonder belangrijk voor het onderzoek, ook voor de proef met ingreep, lijken de uit de econometrie afkomstige zg. identificatievoorwaarden (FERRARI 1964).

Informaties over de grootte van de onverklaarde restvarianties en de behoefte om de verbanden tussen de variabelen nader te specificeren zijn als het ware een *uitdaging aan de specialistische onderzoekers.* Van de andere kant heeft de zo juist besproken ontwikkeling naar een opvatting over de bodemvruchtbaarheid als een meerdimensionaal systeem met een daarmede gepaard gaand toenemend gebruik van modellen tot gevolg, dat de wiskundige behandeling van vruchtbaarheidsproblemen steed belangrijker zal worden. Dit is de *uitdaging aan de landbouwkundige onderzoekers.*

Besluit

Het is altijd goed de eigen mening aan die van anderen te toetsen. In de overtuiging dat de ontwikkeling juist is geweest, wordt de Groningse school niet alleen gesteund door de resultaten van overeenkomstige werkwijzen in andere wetenschappen, bijv. in de econometrie, maar ook door het naar voren komen in de andere wetenschappen van de opvatting dat de algemeen aanvaarde natuurwetenschappelijke aanpak niet in alle gevallen voldoet. Zo luidde het antwoord

van VELDSTRA op een vraag na zijn lezing 'Taak en methode van de biochemie': "Men moet er inderdaad op bedacht zijn, dat naarmate problemen in het onderzoek worden betrokken waarbij in feite velerlei factoren tegelijkertijd een rol spelen, wij er met de gebruikelijke methode van: 'een factor er uit lichten en de rest constant houden', niet meer komen."

Klaagzangen, die de laatste tijd over de teleurstellende resultaten van het bodemvruchtbaarheidsonderzoek in Engeland, de Verenigde Staten en Australië worden gehoord, spreken een duidelijke taal. Enkele voorbeelden werden reeds genoemd, ik wil er nog een geven. In zijn voordracht in 1961 'A quarter century in soil fertility research and a glimpse into the future' ter gelegenheid van het 25-jarige bestaan van de Amerikaanse bodemkundige vereniging klaagt BRADFIELD: "It seems to me that we cannot escape the conclusion that the reason we continue to investigate and reinvestigate certain aspects of soil fertility is that we are not yet able to predict with confidence what will happen in the case we are interested in, because there are too many parameters involved which we are still unable to identify, measure or interpret." Maar iets eerder heeft hij reeds de weg gewezen, die ons bekend voorkomt: "The old classical dictum of experimental science of studying one factor at a time by holding all factors constant except the one under study and then vary it systematically, is very good in the laboratory; but it is always difficult, and in many cases almost impossible, in soil fertility studies involving the growing of crops in soils in either field or greenhouse."

In de Groningse school heeft zich een methodologie ontwikkeld waarvan verwacht mag worden dat zij krachtige steun kan verlenen bij de oplossing van landbouwkundige vraagstukken.

Literatuur

ADDENS, M. H. H. De ontwikkeling van het proefveldwezen in de provincie Drenthe gedurende de periode 1890 t/m 1914. Landbk. Tijdschrift **45** (1933) 504–521 en 562–590.

BOYD, D. A. Current fertiliser practice in relation to manurial requirements. Proc. Fertil. Soc. No. **65** (1961) 3–40.

BOYD, D. A. Fertiliser responses of maincrop potatoes: A re-examination of the experimental evidence. J. Sci. Food Agric. **12** (1961) 493–502.

BRADFIELD, R. A quarter century in soil fertility research and a glimpse into the future. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **25** (1961), 439–442.

BRUIN, P. Samenvatting van eenige resultaten van kalkproefvelden op bouwland. Versl. Landbk. Onderz. **42** (18) A (1936) 773–819.

COHEN, M. R. and NAGEL, E. An introduction to logic and scientific method. London (1961).

COLLIS-GEORGE, N. and DAVEY, B. G. The doubtful utility of present-day field experimentation and other determinations involving soil-plant interactions. Soils and Fertilizers **23** (1960) 307–310.

DEMING, W. E. Statistical adjustment of data. New York (1946).
EDEN, T. and FISHER, R. A. Studies in crop variation VI. Experiments on the response of the potato to potash and nitrogen. Journ. Agr. Sci. **19** (1929) 201–213.
EZEKIEL, M. Methods of correlation analysis. New York (1930).
FISHER, R. A. The design of experiments. Edingburgh (1935).
FERRARI, TH. J. Stikstofbemesting en bodemfactoren. Landbk. Tijdschrift **61** (1949) 111–120.
FERRARI, TH. J. Een onderzoek over de stroomruggronden van de Bommelerwaard met als proefgewas de aardappel. Versl. Landbk. Onderz. **58**. 1 (1952).
FERRARI, TH. J., PIJL, H. and VENEKAMP, J. T. N. Factor analysis in agricultural research. Neth. J. of Agric. Sci. **5** (1957) 211–221.
FERRARI, TH. J. Vergelijking tussen proeven met en zonder ingreep. Landbk. Tijdschrift **72** (1960) 792–801.
FERRARI, TH. J. Causal soil-plant relationships and path coefficients. Plant and Soil **19** (1963) 81–96.
FERRARI, TH. J. Auswertung biologischer Kettenprozesse mit Hilfe von Pfadkoeffizienten. Biom. Zeitschrift **6** (1964) 89–102.
FERRARI, TH. J. Models and their testing in agricultural research. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen. Rapport 15 (1964).
FERWERDA, J. D. Over de werking van stalmest op bouwland I. Versl. Landbk. Onderz. **57**. 13 (1951).
FRANKENA, H. J. Over blanco- of blinde proeven. Versl. Landbk. Onderz. **41** A (1935) 173–209.
GILE, P. L. On the plans of fertilizer experiments. J. Amer. Soc. Agron. **6** (1914) 36–41.
GINNIKEN, P. J. H., BRUINSMA, J. R. en HAAN K. DE. Statistisch onderzoek naar de opbrengst van suikerbieten op verschillende praktijkvelden in Westelijk Noord-Brabant in 1934. Meded. Inst. Suikerbietenteelt **5** (1935) 103–150.
HISSINK, D. J. Kort overzicht van de werkzaamheden van het Rijkslandbouwproefstation voor den Akker- en Weidebouw te Groningen in het tijdvak 1 mei 1916–1 mei 1923, Bodemkundige Afdeling. Groningen (1923).
HUDIG, J. en MANSHOLT, U. J. Aard van het landbouwkundig onderzoek: eene proefboerderij voor den akkerbouw. Cultura **21** (1909) 322–331; **22** (1910) 1–16 en 49–63.
HUDIG, J. De betrouwbaarheid van landbouwkundige proeven. Cultura **23** (1911) 543–565.
HUDIG, J. Nog eens de betekenis der "waarschijnlijke fout"-berekening bij het landbouwkundig onderzoek. Cultura **24** (1912) 309–314 en 355–357.
HUDIG, J. Over den ongewenschten invloed van kunstmest op bodem en gewas. Veldbode no. 662 (11 sept. 1915).
HUDIG, J. en JONKER, J. De resultaten van de bemestingsproeven op Hooghalensch zieken grond te Spitsbergen. Landbouwcourant v. d. Noord-Ooster (1916).
HUDIG, J. en MEIJER, C. De Hooghalensche ziekte; een nieuwe bodemziekte op zand- en veengronden. Den Haag (1918).
HUDIG, J. en MEIJER, C. Iets over de oorzaken der Veenkoloniale haverziekte. Cultura **32** (1920) 387–397.
HUDIG, J. en MEIJER, C. De invloed van zure en alcalische bemesting op den groei der gewassen (zes jaren praktijk op het proefveld te Spitsbergen). Versl. Landbk. Onderz. **26** (1922) 60–86.
HUDIG, J. en MEIJER, C. Het proefveld te Spitsbergen in 1925. Bericht van het Rijkslandbouwproefstation, Groningen, no. 24 (1925).
HUDIG, J. Klinisch grondonderzoek in de tropen, Landbk. Tijdschrift **51** (1939) 372–389.
HUIZINGA, J. In de schaduwen van morgen (1935).
KORTLEVEN, J. Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Versl. Landbk. Onderz. **69**. 1 (1963).

MASCHHAUPT, J. G. Zijn wij met het kalktoestandsvraagstuk in het goede spoor? Landbk. Tijdschrift **43** (1931) 452–487.

MAYER-GMELIN, H. Verslag over een studiereis naar Denemarken. Mededelingen van de Rijks Hoogere Land-, Tuin- en Boschbouwschool **II** (1909) 129–217.

PAAUW, F. VAN DER. Het kalivraagstuk op zand- en dalgronden. Versl. Landbk. Onderz. **42** (12) A (1936) 393–448.

PAAUW, F. VAN DER. Over den samenhang tussen de groeifactoren en opbrengst, en de principes, die dit verband bepalen. Landbk. Tijdschrift **50** (1938) 795–830.

PAAUW, F. VAN DER. Agronomie en Botanie. Vakblad voor Biologen **24** (1943) 107–116.

PAAUW, F. VAN DER. Het oplossen van landbouwkundige vraagstukken door middel van enkele groote en series van kleine proefvelden. Landbk. Tijdschrift **55** (1943) 150–162.

PAAUW, F. VAN DER en DE LA LANDE CREMER, L. CH. N. Toetsing van grondonderzoek naar fosfaattoestand op Nederlands grasland. Versl. Landbk. Onderz. **57.** 15 (1951).

PAAUW, F. VAN DER. Effect of winter rainfall on the amount of nitrogen available to crops. Plant and Soil **16** (1962) 361–380.

PETERSON, B. J. Examples of the influence of soil science on agronomic practice. Agron. J. **49** (1957) 651–659.

POS, H. J. Filosofie der Wetenschappen. Arnhem (1940).

PRUMMEL, J. Fertilizer placement experiments. Plant and Soil **8** (1957) 231–253.

REITH, J. W. S. and INKSON, R. H. E. Effects of fertilisers and farm yard manure on swedes and turnips. J. Agric. Sci. **60** (1963) 145-157.

RICHTER-ALTSCHÄFFER, H. Theorie und Technik der Korrelationsanalyse. Berlin (1932).

SANDISON, A. Influence of site and season on agricultural variety trials. Nature **184** (1959) 834.

SJOLLEMA, B. Onderzoek naar het gehalte aan opneembare stoffen. Landbk. Tijdschrift **9** (1901) 330–334.

SJOLLEMA, B. en HUDIG, J. Onderzoek naar de oorzaken der vruchtbaarheidsafname van enkele gronden in de Groningsche en Drentsche Veenkoloniën. Versl. Landbk. Onderz. **5** (1909) 29–157.

SLUIJSMANS, C. M. J. Wijzigingen in de magnesiumtoestand van de grond onder invloed van bemesting met kieseriet (II). P.A.W. Gestencilde verslagen van interprovinciale proeven no. 98 (1964).

TUINZING, R. W. Graslandbemesting. Rentabiliteit van verschillende kunstmeststoffen gedurende het eerste jaar. Landbk. Tijdschrift **10** (1902) 447–453.

UVEN, M. J. VAN. Mathematical treatment of the results of agricultural and other experiments. Groningen (1935).

VELDSTRA, H. Taak en methode van de biochemie. Meded. Dir. Tuinb. **25** (1962) 552–561.

VENEKAMP, J. F. N., HAMMING, G. and VERVELDE, G. J. A 4^3 factorial design with confounding in 8×8 quasi-latin square. Landbk. Tijdschrift **64** (1952) 325–327.

VISSER, W. C. De ongelijkmatigheid van den grond en de nauwkeurigheid bij proefvelden. Versl. Landbk. Onderz. **43** (7) A (1937) 225–270.

VISSER, W. C. Kalktoestand en oogstopbrengst. Versl. Landbk. Onderz. **44** (6) A (1938) 313–359.

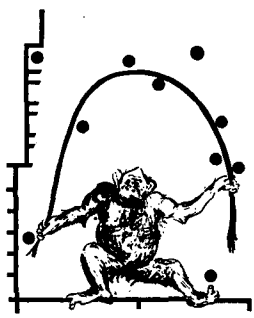
VISSER, W. C. Over de bruikbaarheid van de grafisch-statistische bewerkingstechniek. Landbk. Tijdschrift **54** (1942) 403–416.

VISSER, W. C. Over eenige grondslagen van het grafisch-statistisch onderzoek. Landbk. Tijdschrift **55** (1943) 163–170.

VISSER, W. C. De samenstelling van produktiviteitsschattingen op grond van vruchtbaarheidskenmerken. Landbk. Tijdschrift **61** (1949) 321–334.

VRIES, O. DE. Düngungsfragen in ihren gegenseitigen Beziehungen als polydimensionales Problem. Ernährung der Pflanze **30** (1934) 373–382.

VRIES, O. DE en VISSER, W. C. De veranderingen in den grond door lang voortgezette bemesting met enkele stikstofmeststoffen. Versl. Landbk. Onderz. **40** A (1934) 505–541.
VRIES, O. DE. Eenigeaspec ten van het kalktoestandsvraagstuk. Landbk. Tijdschrift **46** (1934) 677–705.
VRIES, O. DE. Das Serienprinzip in Feldversuchten I, II, III. Z. Pfl. Ernähr. Düng. **43** (1936) 83–93. Z. Pfl. Ernähr. Düng. **4** (49) (1937) 291–294. Z. Pfl. Ernähr. Düng. **8** (53) (1938) 73–77.
VRIES, O. DE. Het serieprincipe bij veldproeven. Landbk. Tijdschr. **50** (1938) 340–358.
VRIES, O. DE. Opbrengstcurven en opbrengstwetten; de wisselwerking der groeifactoren. Landbk. Tijdschrift **51** (1939) 727–763.
WAGNER, P. Beiträge zur Ausbildung der Düngungslehre. Landwirtschliche Jahrbücher **12** (1883).
WOLD, H. Causal inference from observational data. Journal of the Royal Statistical Society, Series A, **119** (1956) 28–60.
YATES, F. Sir Ronald Fisher and the design of experiments. Biometrics **20** (1964) 307–321.



A. J. DE GROOT

Ontwikkeling van het scheikundige onderzoek

Het scheikundige onderzoek aan ons instituut is van zeer uiteenlopende aard geweest, mede als gevolg van het dikwijls sterk toegepaste karakter ervan. In het algemeen werd echter de grootste diepgang bereikt bij die onderzoekingen, waarbij aan de scheikunde een sterke eigen taak bij de problemen van grond en gewas kon worden toegekend. Zoals uit dit overzicht zal blijken, was dit vooral het geval bij het onderzoek over de samenstelling van de grond en de bodemvormende processen.

In dit artikel zijn het werk van vroegere onderzoekers en dat van de huidige generatie afzonderlijk behandeld. De scheiding van beide perioden is ongeveer bij 1950 gelegd, met dien verstande dat enkele onderzoekingen van na 1950 bij het voorgaande tijdvak zijn ondergebracht omdat ze hiermee naar aard en opzet sterk zijn verweven.

De indeling naar rubrieken van onderzoek is voor beide perioden dezelfde. Dit plaatst de historische ontwikkeling in een helderder licht. De lijnen van onderzoek die thans niet meer actueel zijn, moesten grotendeels onvermeld blijven.

Onderzoek in het verleden

Het onderzoek over de samenstelling van de grond en bodemvormende processen is gedurende vele jaren sterk beheerst door drie onderzoekers: HISSINK (1916–1939), MASCHHAUPT (1907–1947) en VAN DER SPEK (1918–1953). Het werk van deze onderzoekers vormt een fraaie aaneensluiting van onderwerpen en is van blijvende betekenis voor de bodemscheikunde geweest.

Het chemische onderzoek van de bodemvruchtbaarheid hangt voor een belangrijk deel samen met de verstrekking van adviezen voor de praktijk. Dit onderzoek is in het verleden zeer uitgebreid geweest; bij de beschrijving ervan is het nodig ons sterk te beperken. Bij de behandeling van het analytische onderzoek dat in de geschiedenis van het instituut zeer verschillende doelstellingen heeft gehad, zal in hoofdzaak de ontwikkeling van de methoden worden geschetst.

A. Samenstelling van de grond en de bodemvormende processen

1. *Adsorptiecomplex*

Het is de verdienste van HISSINK geweest het verschijnsel van de adsorptie en de uitwisseling van kationen in de grond fysisch-chemisch te verklaren en te maken tot een grondslag voor verder baanbrekend onderzoek over de kationenhuishouding van de grond, mede in verband met de plantevoeding.

Het eerste onderzoek van HISSINK over dit onderwerp dateert reeds van voor zijn komst naar Groningen. Hij stond hierbij sterk onder invloed van VAN BEMMELEN die reeds in 1888 proeven deed over uitwisselingsadsorptie, die echter nagenoeg onopgemerkt zijn gebleven. Reeds in 1850 publiceerde WAY zijn ervaringen over het vrijmaken van een aantal metalen uit de grond door behandeling met een oplossing van een neutraal zout. HISSINK vatte de draad weer op bij zijn studies over gronden die na een breuk van de Schelde-dijk in 1906 waren verzilt. Vastgesteld werd dat de uitwisseling van kationen in de grond tegen andere kationen met grote snelheid plaats vindt, waaruit werd afgeleid dat deze uitwisseling aan het oppervlak van de gronddeeltjes geschiedt. Deze gronddeeltjes waren volgens HISSINK de klei- en humuszuren, zodat de kleihumussubstantie als drager van het adsorptievermogen te beschouwen is. HISSINK bepaalde in zijn verdere werk de verhouding van de uitwisselbare kationen in de Nederlandse kleigronden en gaf een oordeel over de bindingssterkte van de kationen aan het sorptiecomplex (Ca > Mg > K > Na).

Het onderzoek van het adsorptiecomplex werd tevens in verband gebracht met de pH van grondsuspensies. De kleihumussubstantie bleek naast uitwisselbare basen tevens uitwisselbare waterstofionen te bevatten. Deze kunnen door Ca worden vervangen, hetgeen neerkomt op een verdere verzadiging van de bodemzuren met een base.

Voor een beschrijving van de verzadigingstoestand van de grond voerde HISSINK nieuwe begrippen in. De verzadigingstoestand (V) definieerde hij als de verhouding tussen het gehalte aan uitwisselbare kationen dat de grond bevat (S) en het gehalte aan kationen dat de grond totaal adsorberen kan (T), waarbij de beide laatste grootheden worden uitgedrukt in milliequivalenten per 100 g grond.

Het onderzoek van HISSINK over het adsorptiecomplex van de grond trok internationaal grote belangstelling, o.a. tijdens een voordracht voor de Faraday Society in Londen (HISSINK 1925, 1926 en 1936). De bepaling van de waarden S, T en V heeft vele nieuwe feiten aan het licht gebracht, o.a. dat het adsorptievermogen van humus belangrijk groter is dan dat van klei. De genoemde grootheden fungeren nog heden ten dage als basis voor de berekening van de kalk-

behoefte van zand-, veen- en kleigronden (DE VRIES en DECHERING, vierde druk 1960). De bepaling van de verzadigingstoestand van de grond werd uitgewerkt door MASCHHAUPT en TEN HAVE (1934).

De betekenis van HISSINK voor het scheikundige onderzoek van de grond is met het bovenstaande geenszins volledig weergegeven, we willen hier echter volstaan met op te merken dat hij veel belangrijk werk heeft verricht over de fysisch-chemische en chemische eigenschappen van in te polderen buitendijkse gronden en over de veranderingen die na het in cultuur brengen hierin optreden. Daarbij doet hij zich kennen als een geestverwant van MASCHHAUPT, wiens onderzoek in het volgende wordt behandeld.

Geen grootheid van de grond is in de loop der jaren zo zeer aan onderzoek en discussie onderhevig geweest als de pH, die in het voorgaande in verband met de uitwisseling van kationen al indirect naar voren kwam.

Omstreeks 1915 was men voor de bepaling van de zuurgraad van de grond op de waterstofelectrode aangewezen. Deze had echter de bezwaren dat moeilijk constante aflezingen van de potentiaal konden worden verkregen en de methode tijdrovend was. Ook werd de pH van de grond wel kolorimetrisch bepaald, maar hiervoor had men een helder en liefst kleurloos grondextract nodig. Dit leidde tot het gebruik van zoutoplossingen in plaats van water bij de pH-bepaling, waardoor ongewenste uitwisselingsreacties en te lage pH-waarden optraden.

Een tijdelijke uitkomst was de invoering van de chinhydron-electrode, die in 1924 voor het eerst voor grond werd gebruikt. Deze leende zich goed voor de routine bepalingen van het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek. HETTERSCHIJ construeerde speciaal ten dienste van dit onderzoek een potentiometer. In de loop van de tijd schonk deze electrode echter steeds minder bevrediging, daar de zo gemeten potentiaal op vele gronden driftverschijnselen vertoont (reductie van mangaanoxiden door hydrochinon).

Het was een grote vooruitgang toen in 1930 in Amerika een glassoort werd uitgevonden, die als betrouwbare electrode voor de bepaling van de waterstofionenconcentratie gebruikt kon worden. De glaselectrode werd in Groningen in 1935 bij het bodemkundige onderzoek met gunstige resultaten in gebruik genomen (VAN DER SPEK 1935).

Met het verkrijgen van een constante instelling van de potentiaal met behulp van de glaselectrode waren zeker niet alle problemen van de pH-bepaling opgelost. Zo besteedde BRUIN (1935) veel aandacht aan het optreden van seizoenschommelingen van de pH; hij wist deze te elimineren door het gebruik van een 1N.KCl-oplossing voor de bepaling (pH-KCl). Hiermee was men in zekere zin tot de ongewenst geachte toevoeging van zouten (bij de koloritmetrische methode)

teruggekeerd. Nog heden ten dage achten sommige onderzoekers het gebruik van de pH-KCl-methode, die bij de landbouwkundige adviesgeving gemeengoed is geworden, niet juist. Voor sporenelementen kan bijv. een geringe wijziging in de pH, die door het gebruik van KCl wordt gemaskeerd, konsekwenties hebben voor de beschikbaarheid voor het gewas. Voor verdere beschouwingen over de methodiek van de pH-bepaling van grond en haar betekenis zij verwezen naar een tweede publikatie van BRUIN (1935).

2. *Veroudering van kleigronden*

MASCHHAUPT heeft naast onderzoek over de chemische samenstelling van gewassen onder Nederlandse omstandigheden baanbrekend werk verricht over aanslibbingen en de hieruit bedijkte cultuurgronden. Hiervan moeten in het bijzonder genoemd worden de bodemkundige onderzoekingen in het Dollardgebied (1948, 1956). Dit grote werk werd in 1921 aangevangen op verzoek van de Gedeputeerde Staten van Groningen om de Dollardbodem te leren kennen in verband met inpolderingen.

De regelmatige opeenvolging van polders naar hun ouderdom in dit gebied gaven MASCHHAUPT de gelegenheid het verouderingsproces van kleigronden diepgaand te bestuderen. In verschillende opzichten is dit belangrijke onderzoek nog actueel. Van de studie over het chemische rijpingsproces van de Dollardgronden noemen we hier het onderzoek over humus en koolzure kalk.

Het humusgehalte van de grond bereikt volgens MASCHHAUPT pas 150 jaar na de bedijking de laagste waarde, waarna dit gehalte weer zou toenemen als gevolg van een geringere afbraak (afnemende aëratie bij toenemende ouderdom van de grond).

Het verloop van het gehalte aan koolzure kalk is door MASCHHAUPT intensief onderzocht. Twee kernpunten van dit onderzoek zijn nu nog van groot belang: de herkomst van de kalk en de snelheid van ontkalking. MASCHHAUPT maakt bij de herkomst onderscheid naar fysisch-chemische en microbiologische processen, die zich buitendijks afspelen en waarbij $CaCO_3$ uit het zeewater wordt geprecipiteerd, en naar de bijdrage van de schelpen, zonder echter tot een voldoende kwantificering van deze processen te komen. Bij de behandeling van het recente onderzoek zullen we zien dat dit ook thans nog niet het geval is. Wel werd later door schrijver dezes vastgesteld dat in de Dollard diatomeeën in staat zijn $CaCO_3$ in zeer fijne vorm in het sediment neer te slaan (DE GROOT 1963). Over de snelheid van ontkalking komt MASCHHAUPT tot de uitspraak dat deze in de goed ontwaterde Dollardgronden met relatief fijn verdeelde carbonaten 1% in 27 jaar bedraagt, tenzij het gehalte tot een paar procent is gedaald. In slecht ontwaterde gronden, zoals door MASCHHAUPT (1933) op Ysselmonde

zijn onderzocht, verloopt de ontkalking veel langzamer. Er is in latere jaren een polemiek ontstaan over de snelheid van ontkalking in de Dollardpolders, waaraan werd deelgenomen door EDELMAN, MASCHHAUPT en HISSINK.

De kalktoestand van de Dollardgronden werd in analytisch-chemisch opzicht ook onderzocht door BRUIN (1938). Door gebruik van verdund azijnzuur naast verdund zoutzuur voor de extractie van carbonaten werd vastgesteld, dat in de Dollard- en andere zee- en rivierkleigronden naast $CaCO_3$ CaMg-carbonaat aanwezig is dat alleen in het sterkere extractiemiddel zoutzuur oplost. Het feit dat Mg-carbonaat in een bepaald afzettingsgebied ten opzichte van Ca-carbonaat in een bepaalde verhouding voorkomt en Mg-carbonaat in zijn oplosbaarheid met gemalen dolomiet overeenkomt, maken het volgens BRUIN waarschijnlijk, dat wij hier met een CaMg-carbonaatverbinding van dolomitische aard te maken hebben.

3. *Verandering van de aard van kleigronden*

Naast het normale verouderingsproces, waaraan alle kleigronden onderhevig zijn, kunnen bijzondere omstandigheden optreden waardoor het karakter van de gronden verandert. Zo ontstaan o.a. knip- of knikgronden, katteklei en roodoorngronden.

Het is de verdienste van VAN DER SPEK de chemische processen die in verband met afwijkende milieufactoren tot de vorming van deze grondsoorten leiden, nauwkeurig te hebben onderzocht.

Knikgronden ontstaan volgens VAN DER SPEK (1952) bij afzetting van slib in ondiep brak water, omstandigheden die zich voorheen bij afwezigheid van dijken o.a. aan de randen van het Dollardgebied hebben voorgedaan. Het wezenlijke van knikvorming is het verloren gaan van koolzure kalk tijdens het opslibbingsproces als gevolg van de weelderige plantegroei en van de door oxidatie van sulfiden ontstane zure verbindingen. Bij het in cultuur nemen bevat de gevormde bodem geen of bijna geen $CaCO_3$, daarentegen hoge gehalten aan uitwisselbaar Mg door aantasting van het CaMg-cabonaat. De ontstaanswijze van deze gronden maakt dat zij in natte toestand zeer stug zijn en onder droge omstandigheden keihard.

Katteklei ontstaat indien de milieuomstandigheden zodanig zijn, dat bij de oxidatie van de ijzersulfiden (FeS_2) in het geheel geen $CaCO_3$ meer aanwezig is. In uiterst minutieuze onderzoekingen komt VAN DER SPEK (1950) tot de conclusie dat hierbij primair ferrisulfaat en vervolgens door hydrolyse basisch ferrisulfaat en vrij zwavelzuur ontstaan. De kattekleien zijn doorgaans zuur, doch kunnen ook een meer neutrale reactie hebben indien het vrije zwavelzuur in voldoende mate is afgevoerd, waarbij ferrisulfaat de meest basische vorm kan aannemen.

De roodoorngronden ontstaan eveneens doordat tijdens de bodemvorming de aanwezige koolzure kalk verdwijnt. Maar bij deze gronden is vooral het ijzer mobieler geworden dan bij knikgronden, terwijl dit ijzer niet is afgevoerd (roodachtige kleur van roodoorn). Tot de verhoging van het ijzergehalte werd verder bijgedragen door aanvoer van zuur, ijzerhoudend veenwater.

4. *Verdere aspecten van bodemvorming*

VAN DER SPEK beschikte over een diepgaand inzicht in de vormen en reacties waarin ijzer in verschillende bodemtypen kan optreden en bijdraagt tot de bodemvorming. Dit blijkt niet alleen uit het onderzoek over de vorming van verschillende typen zeekleigronden, maar evenzeer uit de studies over het gleyverschijnsel (1953), de rol van ijzer bij bodemvormingen die in archeologisch verband werden onderzocht (zie bijv. zijn commentaar op "Rood zand" en praehistorische bewoning, 1949) en de podzolvorming. De betekenis van ijzer bij de vorming van Nederlandse heidepodzolprofielen werd door DE VRIES en VAN DER SPEK (1941) naar voren gebracht in een bijeenkomst van de Nederlandse bodemkundige vereniging.

Iets uitvoeriger staan wij stil bij een onderzoek over bodemvorming dat nog grotendeels werd uitgevoerd door HOOGHOUDT (1960), doch na diens overlijden voortgezet door VAN DIJK. Dit was gericht op de oorzaken van de irreversibele indroging (als gevolg van ontwatering) van veengronden in West-Nederland en de maatregelen tot verbetering.

Het onderzoek toonde aan dat de geringe waterbinding van uitgedroogde veengronden niet, zoals wel werd beweerd, kon worden toegeschreven aan harsen, wassen, vetten, ijzerhumaten, luchtadsorptie of in het algemeen aan een te grote grensvlakspanning tussen grond en water. Op grond van moderne inzichten in de kolloidchemie kon aannemelijk worden gemaakt, dat de eigenlijke oorzaak van de irreversibiliteit ligt in het optreden van bindingen (waarschijnlijk waterstofbruggen) in en tussen de organische deeltjes gedurende het inkrimpingsproces. Iedere maatregel die de verkitting van organische deeltjes gedurende de indroging vermindert of verhindert verhoogt de reversibiliteit van de wateronttrekking (gunstige werking van doorvriezen van het veen of vermenging met andere bestanddelen).

De kennis verworven bij dit onderzoek is ook van fundamenteel belang gebleken voor de tuinbouw, waar veen voor vele doeleinden wordt gebruikt (verg. de bijdrage van VAN DER BOON in dit boek). Anderzijds vindt dit onderzoek een voortzetting in de studie van VAN DIJK over de wording en verwording van organische stof in veenkoloniale grond.

B. Chemisch bodemvruchtbaarheidsonderzoek

1. *Ontwikkeling van extractiemethoden voor macroëlementen*

De ontwikkeling van dergelijke methoden, met de bedoeling een indruk te krijgen van de bodemtoestand ten aanzien van de opneming van deze elementen door de gewassen, wordt hier voor fosfaat en kali besproken.

Het onderzoek over de bemesting met fosfaat kwam in 1930 op gang door de invoering op het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek van het P-getal, bepaald door een extractie met water van 50° C. De gedachte was dat hierdoor informatie werd verkregen over de fosfaatconcentratie van de bodemoplossing, die naar men meende, het direct voor de plant beschikbare fosfaat bevatte. Kort daarna (1933) volgde het P-citroenzuurgetal, bepaald door extractie van de grond met een 1% citroenzuuroplossing. Hiermee trachtte men een indruk te krijgen van de voorraad beschikbaar fosfaat. P-getal en P-citr werden geruime tijd naast elkaar bepaald.

De chemische betekenis van beide methoden werd later door DE VRIES, HETTERSCHIJ en VAN DER PAAUW (1937) uitvoerig onderzocht. Door herhaalde extractie en variatie van de schudverhouding werd het duidelijk, dat noch P-getal noch P-citr de totale hoeveelheid resp. in water en 1% citroenzuur oplosbaar bodemfosfaat aangeeft. DE VRIES (1933) concludeerde dat het P-getal een maat is voor de oplosbaarheid van het fosfaat in de grond en vatte het dus op als een kwalitatieve maat.

Naast P-citr en P-getal werd voor bijzonder onderzoek het gehalte aan totaal fosfaat bepaald door de grond te koken met koningswater volgens LEMMERMANN. In bovengenoemde publikatie uit 1937 wordt onderzoek beschreven over de verbanden tussen de drie genoemde fosfaatwaarden voor de verschillende grondsoorten, waarbij grote verschillen in de samenstelling van het fosfaat in de bodem aan het licht komen. Onderzoek over de verdeling van het fosfaat in de grond demonstreerde de onregelmatigheid hiervan, voornamelijk als gevolg van de geringe beweeglijkheid van het fosfaat.

Hierna werd door het instituut veel aandacht besteed aan de toetsing van de genoemde methoden in veld- en potproeven en de uitwerking van een adviesbasis voor de bemesting op verschillende grondsoorten en bij verschillend gebruik van de grond (vergelijk de bijdrage van SLUYSMANS in dit boek). P-citr dat jaren lang diende als een basis voor het bemestingsadvies, werd in 1958 om redenen van laboratoriumtechniek vervangen door het hieraan in landbouwkundig opzicht gelijkwaardige P-AL-getal, bepaald door extractie van de grond met ammoniumlactaat-azijnzuuroplossing (EGNÉR, RIEHM en DOMINGO 1960). Deze methode zal echter waarschijnlijk in de nabije toekomst voor bouwland

vervangen worden door een belangrijk verbeterde water-extractie methode. Bij de behandeling van het huidige onderzoek wordt dit nader besproken.

Het grondonderzoek over kalium werd in de jaren kort na de oprichting van het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek (1927) uitgevoerd door een waterstofperoxidebehandeling (zand- en dalgronden), doch enkele jaren later vervangen door een extractie van de grond met 0,1 N. zoutzuur alle gronden). Deze methode heeft tot heden stand gehouden. Men beoogde ermee overwegend de in uitwisselbare vorm aan het kleihumuscomplex gebonden kali in oplossing te brengen.

Als typisch voorbeeld van moeizaam chemisch grondonderzoek kan in dit verband het werk van DE VRIES en HETTERSCHIJ (1945) genoemd worden. Zij trachtten het inzicht in de vrij gecompliceerde aard van de kalihuishouding van de grond te verdiepen. Herhaalde extractie met zoutzuur en extractie met zowel zoutzuur als water bij gevarieerde schudhoudingen leerde, dat verschillende bindingsvormen van kali in het evenwicht bij de extractie betrokken zijn en dat met name ook de kali uit bepaalde mineralen hieraan deelneemt.

Voor het geven van adviezen bleef de extractie met 0,1 N. zoutzuur, aangeduid als K-HCl, gehandhaafd.

Verdere vervolmaking van de in gebruik zijnde methoden van grondonderzoek in samenwerking met het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek heeft voortdurend aandacht gevraagd.

Op meer fundamentele aspecten van het kalivraagstuk komen we nog uitvoeriger terug bij de behandeling van het chemisch-mineralogische onderzoek.

2. *Ontwikkeling van extractiemethoden van sporenelementen*

De extractie van sporenelementen uit de grond en daaraan gekoppeld de bepaling van deze elementen is aanvankelijk sterk microbiologisch georiënteerd geweest. Het was nl. mogelijk om de sporenelementen Cu, Zn, Mo en B in zeer lage concentraties met een redelijke nauwkeurigheid te bepalen met behulp van de schimmel Aspergillus niger (GERRETSEN 1952, MULDER 1948, 1953). Deze methode had in het begin belangrijke voordelen boven de chemische werkwijzen, maar door verbetering van methoden en apparatuur zijn de microbiologische bepalingen nu geheel verdrongen.

Een ander aspect bij het verlaten van de Aspergillus-methode is de voorkeur, die door het routine laboratorium aan een chemische extractieprocedure wordt gegeven boven een microbiologische, die minder goed past in de chemische stijl van werken van een dergelijke instelling. Het meeste werk is verricht over koper, waarvoor naast Cu-Aspergillus de gehalten aan totaal Cu, aan in EDTA een chelerend agens) en aan in verdund salpeterzuur oplosbaar Cu werden

getoetst. Het Cu-HNO_3-getal bleek even doeltreffend te zijn als het Cu-Aspergillus en gaf sneller en gemakkelijker resultaten (HENKENS 1961). Voor borium wordt een extractie met heet water toegepast, voor de bepaling van zink in grond is een methode in voorbereiding die van belang kan worden ter vaststelling van een ongewenste Zn-accumulatie in gras. Voor molybdeen bestaat momenteel nog geen aan Nederlandse omstandigheden aangepaste chemische extractiemethode.

3. *Chemisch-mineralogisch onderzoek*

Het chemisch-mineralogische onderzoek dat in 1947–1957 door VAN DER MAREL werd verricht (na 1957 overgedragen aan de Stichting voor Bodemkartering), is van veel belang geweest in verband met de betekenis van de mineralen in onze grondsoorten, in het bijzonder voor de K- en Mg-voeding van de gewassen. Daarnaast heeft dit onderzoek veel inzicht verschaft in de adsorptiecapaciteit van het minerale deel van de lutumfractie (fractie $<$ 2 micron), aangezien deze door de samenstelling der mineralen wordt bepaald (adsorptiecapaciteit montmorilloniet $>$ illiet $>$ kaoliniet $>$ kwarts). Zo vertoonden zeekleigronden verschillen door hun wisselende montmorilloniet- en kwartsgehalten. Extreem zijn de sedimenten van de Berkel (veel montmorilloniet, hoge ads. cap.), de rivierlemen (vrij veel kwarts, lage ads. cap.) en de keilemen (geen montmorilloniet en vrij veel kwarts, lage ads. cap.) (VAN DER MAREL 1950a). Hij paste bij zijn onderzoek voornamelijk de Röntgen-diffractiemethode toe en heeft tevens veel bijgedragen tot verbetering van de techniek van de methode en tot de inventarisatie van Röntgen-diffractie-opnamen van vele kleimineralen in zuivere toestand (VAN DER MAREL 1950b).

Het onderzoek over de relaties tussen de minerale samenstelling van de grond en de plantevoeding betrof in het bijzonder het verschijnsel van de kali-fixatie. VAN DER MAREL (1954) stelde vast dat deze fixatie in Nederlandse gronden wordt veroorzaakt door het voorkomen van een variëteit van het kleimineraal illiet, doch in dit geval niet zoals gewoonlijk met gesloten, doch met open roosterplaten. Open illiet heeft de naam ammersooiet gekregen en ontstaat door verwering uit gesloten illiet. In het rivierkleigebied kan de lutumfractie wel voor 80% uit open illiet bestaan. Over het mechanisme van de fixatie dat uitvoerig werd onderzocht, zij hier alleen vermeld, dat het rooster zich samentrekt na indringing van de K-ionen binnen de lagen.

VAN DER MAREL en VENEKAMP (1955) hebben de landbouwkundige betekenis van de kali-fixatie nader onderzocht en stellen dat deze minder nadelig is voor suikerbieten en granen, dan voor aardappelen. Op kaliarme, sterk fixerende gronden zou de grote overmaat Ca- en Mg- ten opzichte van K-ionen de op-

neming van kalium door de aardappel bemoeilijken.

PRUMMEL (1962) heeft de betekenis van een voorraadbemesting met kali op rivierkleigronden onderzocht. Een voorraadbemesting geeft aanvankelijk een belangrijke verhoging van de kalitoestand van de grond (K oplosbaar in 0,1 N.HCl) en een afneming van de kali-fixatie. Na enkele jaren treedt echter weer een achteruitgang van de kalitoestand op, bij weinig fixerende gronden waarschijnlijk als gevolg van uitspoeling naar diepere lagen en bij sterk fixerende als gevolg van vastlegging. Gelijktijdig met de daling van het gehalte aan gemakkelijk oplosbare kali neemt het fixerende vermogen op dergelijke gronden weer toe. PRUMMEL die zijn onderzoek uitvoerde met aardappelen, is dan ook van oordeel dat het voor dit gewas economischer is jaarlijks ruim met kali te bemesten.

In verband met het voorgaande wijzen we tevens op het onderzoek van VAN DER SPEK en TEN HAVE (1959) die de kalitoestand van verschillende kleigronden karakteriseerden door deze te behandelen met zoutzuur van verschillende concentraties oplopend tot 25%. Hierdoor werd meer inzicht verkregen in het proces van de verwering en veroudering van deze gronden. Bij gronden met een hoge fixatie uit het rivierkleigebied was de aantasting van de niet uitwisselbare kali reeds voortgeschreden tot de fractie die in 25% zoutzuur oplosbaar is. Bij geregeld met kali bemeste zeekleigronden werden met zoutzuurconcentraties van geringe sterkte hoeveelheden kali gevonden die wezen op een relatief zwakke binding van de toegevoegde kali. Rivierkleigronden houden de uit bemesting vastgelegde kali steviger gebonden.

Niet onvermeld mag het onderzoek van VAN DER MAREL (1950) blijven over het beschikbaar komen van kalium en magnesium voor de plant uit mineralen in löss en verschillende zandgronden. Bij de onderscheiding van zandgronden naar de petrologische provincies volgens EDELMAN treden opvallende verschillen op. Zo bevatten de zanden van het hoogterras van Maas en Rijn en de dekzanden weinig kalium en magnesium, het middenterras van de Maas heeft als gevolg van een hoog glimmergehalte daarentegen veel van genoemde elementen. Löss heeft voldoende magnesium, doch wat te weinig kalium.

4. *Lysimeteronderzoek*

MASCHHAUPT stelde in 1918 in Groningen een lysimeterinstallatie in bedrijf. Bij lysimeters elders werden destijds uitsluitend de verliezen van de grond aan voedingsstoffen door uitspoeling onderzocht. Met de nieuwe installatie werd een totale balans van de grond gemaakt (analyse van de uitgangstoestand, analyse van oogst en drainwater, periodieke grondanalyse enz.). De grond was een zavel

uit de omgeving van Zoutkamp, waarin een laag bemestingsniveau werd gehandhaafd.

Na 20 proefjaren (1918–1938) werd voor het eerst de balans opgemaakt (MASCHHAUPT 1941). Uit de resultaten bleek duidelijk dat bij een laag bemestingsniveau roofbouw wordt gepleegd, in die zin dat de onttrekking van voedingsstoffen belangrijk groter is dan de toevoer door bemesting. Zo bleken de voorraden in de bouwvoor aan fosfaat oplosbaar in 1% citroenzuur en kali in 0,1 N.HCl en 5% HCl slechts een betrekkelijk gering aantal jaren in de behoeften van de planten te kunnen voorzien, als deze niet door verwering worden aangevuld. Als belangrijk punt in dit onderzoek komt naar voren dat men zich rekenschap geeft van de betrekkelijke waarde van de gebruikte methoden voor de bepaling van de behoefte van de grond aan fosfaat en kali.

MASCHHAUPT stelde verder vast dat de veranderingen in het nitraatgehalte van het drainwater een gevolg zijn van bepaalde weersomstandigheden (regenval, regenverdeling, temperatuur). Aannemende dat hierdoor de nitraatproduktie (beter zou men kunnen spreken van nitraatvoorraad) van de grond ook fluctueert, komt MASCHHAUPT op de gedachte dat de weersomstandigheden in een bepaalde periode de volgende en misschien zelfs de daaropvolgende oogst beïnvloeden. Hierdoor zouden gedeeltelijk de opbrengstverschillen tussen goede en slechte jaren verklaard kunnen worden.

MASCHHAUPT breekt dan ook een lans voor het aanleggen van meerjarige proefvelden, waarbij de invloed van verschillende stikstofgiften op de opbrengst der gewassen wordt nagegaan en waarbij de nodige meteorologische gegevens worden vastgelegd.

Ten aanzien van het gehalte aan koolzure kalk werd in de lysimeter het in de Dollard gevonden verlies van 1% in 27 jaar bevestigd.

MASCHHAUPT heeft met het lysimeteronderzoek aangetoond, dat een snelle uitputting van de bodemreserves niet denkbeeldig is. Hij legt dan ook de nadruk op een zodanige bemesting dat, afhankelijk van de reserves, aan de grond wordt teruggegeven wat door gewas en drainwater wordt onttrokken.

C. Analytisch onderzoek

De analytische chemie vindt bij het landbouwkundige onderzoek vele toepassingen. Wij willen hier volstaan met het vermelden van enkele gegevens, waaruit blijkt dat het karakter van de bepalingen zich in de loop van de jaren belangrijk heeft gewijzigd.

Voor de tweede wereldoorlog werden verscheidene elementen nog gravimetrisch en enkele titrimetrisch bepaald. Het bezwaar van de gravimetrie is niet alleen dat zij veel stof vereist, maar vooral ook veel tijd. De gravimetrische

bepalingen zijn dan ook alle door moderne methoden vervangen. De vlamfotometrie maakte de snelle bepaling van K en Na (soms ook Ca) mogelijk, Mg en P (RAMEAU en TEN HAVE 1951) konden kolorimetrisch bepaald worden, Cl potentiometrisch (SAMSON 1955) en Ca en Mg komplexometrisch (VAN DER SPEK en TEN HAVE 1957).

Een bijzonder woord van erkentelijkheid moge op deze plaats gewijd worden aan de scheikundige J. TEN HAVE die het instituut in analytisch opzicht, in het bijzonder voor de macroëlementen, in zijn lange carrière voortreffelijk heeft gediend.

Het analytische onderzoek betreffende sporenelementen heeft bij de overgang van microbiologische naar andere methoden nog een bijzondere ontwikkeling doorgemaakt, die mede mogelijk werd door de steun van ons instituut. De Landbouworganisatie TNO (sporenelementencommissie, subcommissie voor spectrochemie) heeft aan twee fysici de opdracht verstrekt na te gaan in hoeverre de spectrochemische techniek gebruikt kan worden om de sporenelementen in grond- en gewasmonsters op routine schaal te bepalen. Onder leiding van Prof. MILATZ te Utrecht resulteerde dit onderzoek in twee proefschriften (SMIT 1952, BOESCHOTEN 1953), waarin tot uitdrukking kwam dat deze methode minstens even goede resultaten kon geven als de toenmalige kolorimetrische analyse. Bovendien had men hierbij de mogelijkheid eventuele andere elementen mede te bepalen door aftasting van het spectrum. De conclusies van dit onderzoek stemmen overeen met buitenlandse ervaringen, met name in Groot-Brittannië, waar de spectrochemie een centrale plaats inneemt bij het onderzoek van grond- en gewasmonsters.

Daarnaast heeft de sporenelementencommissie TNO waarin voor ons instituut RAMEAU veel belangrijk werk heeft gedaan, de standaardisatie van de kolorimetrische bepalingen van sporenelementen ter hand genomen (verg. REITH en RAMEAU 1947, RAMEAU 1948).

Toen in 1953 voor het routine onderzoek de keuze tussen spectrochemie en kolorimetrie gedaan moest worden, is ten gunste van de laatste beslist. Er waren inmiddels betrouwbare foto-electrische kolorimeters en spectrofotometers ter beschikking gekomen; de lagere investering in deze instrumenten en de tijdwinst bij de uitvoering van de analyses gaven de doorslag bij de keuze.

Tenslotte besteden wij hier nog enige aandacht aan de gewasanalyse. Gewoonlijk worden voor de beoordeling van de voedingstoestand van het gewas de totale gehalten van de desbetreffende elementen bepaald. Aansluiting zoekend bij vroeger werk van MASCHHAUPT op dit gebied, heeft VAN ITALLIE (1938, 1938, 1948), die de speciale opdracht kreeg de mogelijkheden van het chemische gewasonderzoek na te gaan, zich erop toegelegd uit de chemische samenstelling

van de gewassen kennis te verwerven over de grond, waarop deze gewassen waren gegroeid. Hij ontwikkelde het begrip van de gesteldheid d.w.z. de toestand van de grond zoals de plant deze ondervindt en die afgeleid kan worden uit de chemische samenstelling van het gewas. De kaligesteldheid geeft bijv. de beschikbaarheid van kali voor het gewas in een bepaalde concrete situatie aan; deze is dus wel te onderscheiden van de kalitoestand die door middel van grondonderzoek wordt bepaald. De bestudering van de chemische samenstelling leidde tot het schenken van aandacht aan het proces van de opneming van de elementen en de invloed die de factoren op elkaar uitoefenen. Hoe op deze wijze een belangrijk inzicht werd verkregen in de betekenis van magnesium op zure grond, wordt beschreven in het artikel van VAN DER PAAUW in dit boek. Het werk van VAN ITALLIE vormt een belangrijke biologische bijdrage in het onderzoek van het instituut.

Er zijn echter verschillende problemen, die verband houden met de kwaliteit van het oogstprodukt, waarvoor een aanvullende informatie over de bindingstoestand van het voedingselement in de plant noodzakelijk is. MULDER (1956) heeft in dit opzicht pionierswerk verricht. Als voorbeeld noemen we een onderzoek over de invloed van N, P, K en Mg op de stikstofvoeding van de aardappelknol, waarbij in plaats van het totale stikstof- of ruw-eiwitgehalte de vrije en gebonden aminozuren werden geanalyseerd. Dit was mogelijk door toepassing van de papierchromatografie, waarmee alle aminozuren van het organisme van elkaar gescheiden kunnen worden en in dit speciale geval ook kwantitatief konden worden bepaald. De scheiding berust op verschillen in loopsnelheden van de aminozuren, indien deze met een mengsel van organische vloeistoffen op chromatografisch papier worden gebracht.

Huidig onderzoek en zijn perspectieven

Het onderzoek van deze tijd sluit in vele opzichten aan bij hetgeen in het verleden is verricht. Betere hulpmiddelen, nieuwe inzichten in de chemie en andere door het toegepaste onderzoek gestelde eisen hebben dikwijls tot een gewijzigde aanpak van de problemen geleid.

Het onderzoek over het adsorptiecomplex is nu op thermodynamische overwegingen gebaseerd. De behandeling van het probleem der sporenelementen is gekoppeld aan vraagstukken van geochemische aard, is nauw verweven met het chemische gedrag van de organische stof in de grond en is verder, wat de opneming van deze elementen en het metabolisme binnen de plant betreft, biochemisch van aard geworden. Radioactieve isotopen worden gebruikt voor het bestuderen van bodemchemische processen.

Het analytische onderzoek wordt aangepast aan de bepaling van geringe hoeveelheden van de desbetreffende elementen of verbindingen en is vooral gericht

op een efficiënte bepaling van vele grootheden in één substraat.

A. Samenstelling van de grond en bodemvormende processen

1. *Adsorptiecomplex*

De onderzoekingen die met het adsorptiecomplex van de grond samenhangen, hebben enerzijds door nieuwe theoretische inzichten, anderzijds door de ter beschikking staande moderne hulpmiddelen in de huidige periode sterk aan diepte gewonnen.

Wat het minerale deel van dit complex betreft wordt aan de Landbouwhogeschool te Wageningen onder leiding van BOLT onderzoek verricht. Onze in Wageningen gestationeerde medewerker VAN SCHOUWENBURG werkt in dit verband over de relaties die de evenwichten tussen de aan de kleimineralen geadsorbeerde kationen en deze ionen in het bodemvocht beheersen.

De overwegingen bij dit onderzoek zijn o.a. dat bij een normale grond (met een adsorptiecapaciteit van ca. 10 me per 100 gram) ongeveer 98% van alle uitwisselbare kationen aan het complex geadsorbeerd zijn; de resterende 2% worden in de bodemoplossing teruggevonden. Een conventionele grondanalyse zal dan ook alleen een indruk geven van de bezetting van het adsorptiecomplex. Er zijn echter redenen aan te nemen dat de plant zich via de bodemoplossing voedt en derhalve de bestudering van de genoemde evenwichten van belang moet worden geacht.

In 1952 stelde ERIKSSON een uitwisselvergelijking voor gebaseerd op de theorie van GOUY-CHAPMAN over de dubbellaag. LAGERWERFF en BOLT vereenvoudigden deze vergelijking zodanig dat de verhouding van de geadsorbeerde één- en tweewaardige ionen evenredig is aan de verhouding van de eenwaardige en de wortel van de tweewaardige ionen in de oplossing. Hierdoor werd deze vergelijking identiek aan een door GAPON op kinetische gronden ontwikkelde vergelijking. De hierin optredende evenredigheidsfactor wordt de uitwisselfactor genoemd. Deze is blijkens ERIKSSON's theoretische ontwikkeling gelieerd aan de ladingsdichtheid van klei zodat, afgezien van specifieke ion-invloeden, de waarde van de uitwisselfactor redelijk constant moet zijn (tot ca. 40% bezetting van het complex met éénwaardige ionen). Deze factor is experimenteel bepaald bij een illiet uit Winsum, bij electrolietconcentraties van 0,001 tot 0,1 N., bij een bezettingsgraad van 1–40% met een éénwaardige ion en bij alle paarsgewijze combinaties van Na, K, Ca en Mg.

Deze proeven bevestigden de theoretische waarde van de uitwisselfactor. Evenwel bleek het K-ion een sterk specifieke invloed uit te oefenen waardoor het veel sterker wordt gebonden dan te voorspellen is (zgn. kaliumfixatie bij

illiet). Verder is aangetoond dat aan het adsorptieoppervlak van illiet voor de adsorptie van kalium drie regionen zijn te onderscheiden met elk een eigen waarde van de uitwisselfactor. Hierdoor is het uitwisselgedrag van deze illiet te beschrijven als een sommatie van drie gelijktijdig plaats hebbende uitwisselprocessen die met de GAPON-vergelijking zijn te beschrijven (VAN SCHOUWENBURG en SCHUFFELEN 1963). Deze theoretische opzet opent de mogelijkheid voor elke grond een redelijke schatting te geven (na bepaling van de uitwisselfactor) van de kationenverhouding in het bodemvocht in afhankelijkheid van het vochtgehalte.

Het organische deel van het adsorptiecomplex wordt onderzocht door VAN DIJK (1959, 1960). De huminezuren, een groep van kolloidale organische zuren die tot 50% van de organische stof in de grond kunnen uitmaken, vormen een belangrijk bestanddeel van het sorptiecomplex van de grond.

Het zure karakter van deze verbindingen werd onderzocht door electrometrische titraties in verschillende oplosmiddelen. De aard en de selectiviteit van de kationenbinding werden op dezelfde wijze nagegaan, doch daarnaast ook bestudeerd door bepaling van de uitwisselingsevenwichten bij verschillende ionenverhoudingen. Hierbij bleek dat de binding tussen metaalionen en huminezuren overwegend electrostatisch van aard is. Verder werd de sorptie van waterdamp door huminezuren en hun zouten bestudeerd, waarbij het hydrofiele karakter duidelijk naar voren kwam.

Van de moderne zienswijzen over het organische deel van het sorptiecomplex kan men kennis nemen uit de dissertatie van VAN DIJK die in 1965 zal verschijnen.

2. *Genese van de sporenelementen in holocene afzettingen*

De vroegere onderzoekingen van de bodemvorming in jonge mariene gronden kregen een nieuwe impuls door de ontwikkeling van het onderzoek betreffende sporenelementen. Een verkenning van de mangaangehalten van estuarium- en zeekleigronden bracht aan het licht dat hierin naar geografische ligging discreet verschillende niveaus te onderscheiden waren. (DE GROOT 1957). Naast plaatselijke verschillen in bodemgenese bleek dit in belangrijke mate samen te hangen met verschillen in mangaangehalten van het materiaal van herkomst. Op deze wijze werd niet alleen een dieper inzicht verkregen in het tot stand komen van de mangaantoestand van de verschillende kleigebieden, maar door het gebruik van mangaan als geleidelement kan tevens inzicht worden verkregen in de bewegingen van de diverse soorten slib van de zeebodem en uit de rivieren met de zeestromingen naar de verschillende kustgebieden. Door de omvang en de grote geografische spreiding van deze onderzoekingen (West-Europa en enkele tropische



De Biesbosch,
een oervorm van onze kleigronden.



De Dollard,
vroeger en nu onderwerp van
bodemgenetisch onderzoek.

gebieden) kreeg dit onderzoek meer dan alleen landbouwkundige betekenis (DE GROOT 1963, 1964).

In verdere onderzoekingen kreeg naast mangaan ijzer de nodige aandacht. In tegenstelling tot mangaan zijn de ijzergehalten van de Nederlandse holocene afzettingen niet sterk verschillend. De studie van de genese van de minerale ijzervormen in de grond is verder van meer belang in de relatie tot andere voedingselementen (P, Mo) dan voor de ijzervoorziening van de gewassen zelf.

Momenteel is het onderzoek naar het gedrag van andere sporenelementen (koper, kobalt) bij de geogenese van holocene afzettingen in volle gang. De gehalten aan sporenelementen in de cultuurgronden blijken sterk bepaald te worden door de mate waarin deze metalen door componenten van de organische stof worden gebonden. Van het onderzoek naar de sporenelementengenese van onze jonge gronden mag veel aan inzicht worden verwacht met betrekking tot het gedrag van deze elementen tot organische verbindingen, gezien de resultaten die tot nu toe met dit onderzoek zijn bereikt. Hierdoor zal tevens meer inzicht verworven kunnen worden in de rol van organische stoffen bij de voorziening van de gewassen met sporenelementen.

De uitgebreide onderzoekingen over de sporenelementengenese van jonge afzettingen brachten indirect een inventarisatie van de kalkgehalten van de verschillende rijpingsstadia van de sedimenten van de kust mede. Het vraagstuk van de herkomst van de koolzure kalk werd reeds vroeger bij het Dollardonderzoek (MASCHHAUPT 1948) ter hand genomen (zie boven) en later elders (VERHOEVEN 1963) voortgezet. Het instituut beschikt thans over gegevens die met enig aanvullend onderzoek tot een bevredigende oplossing van dit probleem kunnen leiden.

B. Chemisch bodemvruchtbaarheidsonderzoek

1. *Sporenelementen*

Naast de brede ontwikkeling van het landbouwkundige onderzoek betreffende sporenelementen na 1950 is veel aandacht besteed aan de chemische zijde van dit vraagstuk, in het bijzonder wat mangaan en ijzer betreft. Hoewel deze elementen in chemisch opzicht een zekere overeenkomst vertonen, zijn de factoren die de beschikbaarheid van deze elementen voor het gewas bepalen geheel verschillend.

Op koolzure-kalkhoudende gronden, dus in het algemeen onze jongere holocene afzettingen, wordt het wel of niet optreden van mangaangebrek in belangrijke mate bepaald door het gehalte aan gemakkelijk reduceerbare hogere mangaanoxiden, als fractie van het totale gehalte aan mangaan. De bestudering van de bodemvorming van de Nederlandse mariene- en estuariumgronden leverde

dan ook een belangrijke bijdrage tot een beter begrip van het optreden van mangaangebrek. Het verdere onderzoek is erop gericht de mechanismen te ontsluieren die samenhangen met de ongunstige beïnvloeding van componenten van de organische stof op de beschikbaarheid van mangaanoxiden.

De veel geringere reduceerbaarheid van ijzer in vergelijking met mangaanoxiden en de voorkeursbinding van ijzer aan componenten van de organische stof leiden met nog andere overwegingen tot onze opvatting dat voor de ijzervoeding van de gewassen de hoeveelheid beschikbare organische ijzerverbindingen in de grond van groot belang is. Grondonderzoek in verband met het veelvuldige optreden van ijzergebrek in de tuinbouw heeft uitgewezen, dat naast een tekort aan organische ijzerverbindingen een te hoog gehalte aan bicarbonaationen, als gevolg van een onvoldoende ontwatering, veelal de oorzaak van ijzerchlorose is.

Voor zover de chlorose niet is te bestrijden door een verbeterde waterafvoer, is men aangewezen op de toediening van ijzerchelaten (zeer stabiele, synthetische organische ijzerverbindingen) aan de grond. Sinds in het begin van de jaren vijftig deze produkten uit Amerika tot ons kwamen, is veel onderzoek verricht over hun praktische toepasbaarheid, mede in verband met de chemische eigenschappen van de chelaten in de grond. De ontwikkeling van de chelatiecomplexen is o.a. gericht op een zo gering mogelijke fixatie aan de kleimineralen, geringe uitspoeling, grote stabiliteit en goede opneembaarheid door het gewas. Hierbij is bij ons onderzoek naar voren gekomen dat het in deze opzichten meest gunstige chelaat, het Fe-EDDHA, weliswaar ijzerchlorose goed geneest, doch daarnaast mangaangebrek in het gewas induceert. ARNOLD BIK (1961) adviseert naast een toediening van chelaat aan de grond een bespuiting van het gewas met mangaansulfaat. Deze dubbele procedure kan worden voorkomen door aan de grond Mn-DTPA toe te dienen. Dit chelaat zet zich in de grond ten dele om in Fe-DTPA, waardoor een harmonische Fe-Mn-voeding van de plant wordt bereikt.

De toepassing van ijzerchelaten heeft meer aspecten dan de bestrijding van ijzergebrek alleen. Het mogelijk genezen van enkele planteziekten door verbetering van de ijzertoestand van de gewassen heeft daarbij de volle aandacht.

Het mechanisme van de opneming van chelaten door de plant is nog niet in alle opzichten verklaard. Een van de mogelijkheden is dat het organische deel van het chelaat ook door de plant wordt opgenomen en hier in ijzervrije vorm metalen aan verbindingen onttrekt of in de plant het eigen ijzer onvoldoende beschikbaar stelt. Hierdoor zou het metabolisme van de plant kunnen worden verstoord. Gezien het perspectief van het gebruik van chelaten in de Nederlandse tuinbouw (bloemen-, fruit- en sierteelt) wordt door VAN DRIEL (1964) vergelijkend

biochemisch onderzoek verricht over de verschillen die anorganisch- en aan chelaat gebonden ijzer in de plant teweeg brengen. Het bleek dat het door de plant uit Fe-EDTA en Fe-DTPA opgenomen ijzer relatief minder goed benut wordt dan dat uit ferrosulfaat. Dit zou erop kunnen wijzen dat een deel van het ijzer door de binding als chelaat niet voor alle stofwiisselingsprocessen beschikbaar is. Zo verliep de synthese van bladkleurstoffen bij chelaatvoeding aanvankelijk traag in vergelijking met de vorming van de ijzer bevattende enzymen katalase en peroxidase.

Er zijn verschillende aanleidingen om verder diepgaand onderzoek te verrichten over de relaties tussen sporenelementen en componenten van de organische stof in de grond en de betekenis hiervan voor de voorziening van de gewassen met sporenelementen. De bestudering van de relatieve beschikbaarheid van ijzer en mangaan is zonder een dergelijk onderzoek in vele gevallen niet denkbaar. Naast het bodemchemische onderzoek zal het accent van het biochemische onderzoek dat momenteel ligt op de werking van chelaten binnen de plant, verlegd worden naar de opneming van sporenelementen uit metaal-organische verbindingen.

2. *Macroëlementen*

Het chemische onderzoek over de macrovoedingselementen, waarvan het stikstofonderzoek bij het biologische onderzoek is ondergebracht, heeft zich in de laatste jaren in hoofdzaak bepaald tot de fosfaathuishouding van de grond.

Landbouwkundige ervaringen hebben ertoe geleid een waterige extractie van fosfaat in verband met de verstrekking van bemestingsadviezen weer in beschouwing te nemen. Bij het chemische onderzoek dat geschiedde in vergelijking met de landbouwkundige toetsing, bleek het mogelijk bij gebruik van een ruime extractieverhouding van grond en water (1 : 40) een fosfaatcijfer te bepalen, dat voor bouwland op de meeste grondsoorten goed voldoet. Door de lage fosfaatconcentraties werden hierbij hoge eisen aan de gevoeligheid van de analysemethode gesteld.

Naast het rechtstreeks op de praktische toepassing gerichte onderzoek wordt aandacht besteed aan verdieping van het inzicht in de factoren die het fosfaatevenwicht in waterige grondsuspensies beheersen.

Voor de bepaling van één van de factoren die hierbij een rol speelt, nl. de hoeveelheid fosfaat die bij het kinetische ionenevenwicht in een grondsuspensie is betrokken, werd een methode uitgewerkt. De uitkomsten hiervan bleken te corresponderen met de hoeveelheid isotopisch uitwisselbaar bodemfosfaat bepaald door toepassing van radioactief P^{32}. Dit resultaat maakt het mogelijk de verdeling van de desbetreffende fosfaatfractie over de vaste en de vloeibare fase

van een grondsuspensie onder gevariëerde omstandigheden (verhouding, tijd en temperatuur van de extractie, alsmede toevoeging van stoffen die het evenwicht beïnvloeden) te bestuderen. Deze door SISSINGH uitgevoerde onderzoekingen zijn ten dele een voortzetting van zijn dissertatie (1961).

C. Analytisch onderzoek

Ook in de tegenwoordige tijd verlangt het analytische onderzoek grote aandacht. Hoewel verschillende chemici zich ten behoeve van hun onderzoek met de ontwikkeling van analysemethoden bezighouden, is de behartiging hiervan in algemene zin in handen van VAN SCHOUWENBURG, hiertoe gedetacheerd bij het Laboratorium voor Landbouwscheikunde te Wageningen (SCHUFFELEN en VAN SCHOUWENBURG 1961, VAN SCHOUWENBURG 1962). Het daar verrichte onderzoek is gericht op snel en efficiënt analytisch onderzoek van grond en gewas. Het analytische onderzoek van een aantal regionale tuinbouwlaboratoria wordt van Wageningen uit geleid. Daarnaast worden in nationaal (12 laboratoria) en internationaal verband (12 buitenlandse laboratoria, o.a. East Malling Research Station in Engeland, Dept. of Agriculture Malakka, Dept. of Agriculture Serawak, Lab. of Extension Service in Israël) te Wageningen analysemethoden getoetst.

Gezien het toenemende beroep dat in de naaste toekomst door onderzoek en praktijk op de laboratoria voor landbouwkundig onderzoek zal worden gedaan, is het van belang aan de ontwikkeling van het analytische onderzoek aandacht te schenken. VAN SCHOUWENBURG die nauw samenwerkt met onderzoekers van het Laboratorium voor Landbouwscheikunde, ontwikkelt hierover de volgende denkbeelden.

Bij de uitbreiding van het analytische routineonderzoek zal niet alleen het aantal monsters (waarbij naast grond- in het bijzonder aan gewasmonsters wordt gedacht) toenemen, maar eveneens het aantal elementen per monster, terwijl de monsters zelf waarschijnlijk kleiner zullen worden. Er zal rekening mee moeten worden gehouden dat de meeste van de volgende componenten dikwijls zullen moeten worden bepaald: totale, nitraat- en ammoniumstikstof, P, K, Na, Mg, Ca, totale en sulfaatzwavel, Al, Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mo en Cl.

Bij de analyse zal voornamelijk gebruik worden gemaakt van emissievlamfotometrie voor de simultane bepaling van Na, K en Ca en onder andere condities van de sporenelementen Cu, Mn en Fe, van absorptievlamfotometrie („atomic absorption") voor Mg en speciaal Zn (voor dit laatste element is geen andere snelle bepaling mogelijk) en tenslotte voor enkele elementen van absorptiespectrofotometrie (event. kolorimetrie). Het gebruik van dure apparatuur zoals de spectrograaf en de Röntgen-fluorescentiespectrograaf is niet aan te bevelen. De analyse gaat daarmee niet sneller en meestal is deze apparatuur minder ge-

schikt voor de analyse van oplossingen dan de reeds genoemde methoden.

Bij het ontwerpen en toetsen van nieuwe methoden voor grond- en gewasonderzoek zal met het bovenstaande rekening moeten worden gehouden. Het aantal extractie en destructiemethoden en chemische scheidingen moet worden beperkt, titraties en destillaties moeten worden vermeden. Elke bepaling zal in dit systeem moeten passen en ook de niet-analytisch geïnteresseerde onderzoeker zal zich, indien enigszins mogelijk, bij deze opzet moeten aansluiten, opdat zoveel mogelijk elementen door middel van hetzelfde ontsluitingsmiddel kunnen worden bepaald.

Ook de organisatie in het laboratorium zal veranderen. Als knelpunten kunnen worden aangemerkt: afwegen van een bepaald gewicht, pipetteren, afwassen en administratie. Op al deze terreinen kan tijdwinst worden geboekt indien gebruik wordt gemaakt van moderne hulpmiddelen. Op al deze punten wordt momenteel in het Wageningse centrum onderzoek verricht. Snelle methoden worden ontworpen en getoetst, doseer- en pipetteerapparatuur is in ontwikkeling, terwijl tevens wordt nagegaan op welke wijze computers kunnen worden gebruikt ter verlichting van het analytische werk.

Literatuur

ARNOLD BIK, R. Über die Eisenchlorose in Treibhausrosen in Aalsmeer und die mit Eisenchelatdüngung erzielten Resultate. Schweizerische Gärtnerzeitung **64** (1961) 113–117.

BOESCHOTEN, F. De spectraalanalysator. Proeve van een apparatuur voor directe foto-electrische meting van spectrale relatieve intensiteiten ten behoeve van spectrochemische sporenelementen bepaling. Diss. Utrecht, 1953.

BRUIN, P. De methodiek der zuurgraadsbepaling van den grond en haar beteekenis. Landbk. Tijdschr. **47** (1935) 502–529.

BRUIN, P. Seizoenschommelingen in de pH van den grond. Chem. Weekbl. **32** (1935) 218–224.

BRUIN, P. De aanwezigheid van calcium-magnesiumcarbonaat naast calciumcarbonaat in kleigronden en de ontleding dezer carbonaten onder invloed van zoutzuur, azijnzuur en de bodemzuren Versl. Landbk. Onderz. **44**. 15A (1938) 46 blz.

DRIEL, W. VAN, The effect of iron ethylenediaminetetraacetic acid on the growth and metabolism of tomato plants in water culture. Plant and Soil **20** (1964) 85–104.

DIJK, H. VAN, Zur Kenntnis der Basenbindung von Huminsäuren. Z. für Pflanzenernähr. **84** (1959) 150–155.

DIJK, H. VAN, Electrometric titrations of humic acids. Sci. Proc. Roy. Dublin Soc., Ser A 1, no. 4 (1960) 163–176.

EGNÉR, H., RIEHM, H. en DOMINGO, W. R. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. Kungl. Lantbrukshögsk. Ann. **26** (1960) 199–215.

GERRETSEN, F. C. Some aspects of the microbiological determination of magnesium, zinc, copper and boron. Trans. Int. Soc. Soil Sci., Joint Meet. Comm II and IV, Dublin, July 1952, Vol 1, 151–166.

GROOT, A. J. DE, Mangaangebrek in Nederland. Landbk. Tijdschr. **69** (1957) 564–573.
GROOT, A. J. DE, Mangaantoestand van Nederlandse en Duitse holocene sedimenten in verband met slibtransport en bodemgenese. Versl. Landbk. Onderz. **69**. 7 (1963) 164 blz.
GROOT, A. J. DE, Mud transport studies in coastal waters from the Western Scheldt to the Danish frontier. Int. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Bull. **6** (1964) 14 blz.
HENKENS, C. H. Koperbepalingen op bouwland. De waarde van chemische bepalingsmethoden in vergelijking met de Aspergillus niger-methode. Versl. Landbk. Onderz. **67**. 10 (1961) 28 blz.
HISSINK, D. J. Base exchange in soils. Trans. Faraday Soc. **20** (1925) 551–569.
HISSINK, D. J. The relation between the values pH, V and S (Humus) of some humus soils. S (Humus) and V of these soils with pH = 7. The equivalent weight of the humussubstance. Int. Soc Soil Sci., Proc. Comm II, Groningen 1926, Vol. A., 198–207.
HISSINK, D. J., HOOGHOUDT, S. B. und SPEK, J. VAN DER, Der mineralische Bodenkomplex. Bodenk. Forsch. **5** (1936) 21–56.
HOOGHOUDT, S. B., WOERDT, D. VAN DER, BENNEMA, J. en DIJK, H. VAN, Verdroogde veengronden in West-Nederland. Versl. Landbk. Onderz. **66**. 23 (1960) 308 blz.
ITALLIE, TH. B. VAN, De chemische samenstelling van gewassen in verband met landbouwkundige vraagstukken. 's-Gravenhage 1938, 85 blz.
ITALLIE, TH. B. VAN, Cation equilibria in plants in relation to the soil. Soil Sci. **46** (1938) 175–186.
ITALLIE, TH. B. VAN, Cation equilibria in plants in relation to the soil II. Soil Sci. **65** (1948) 393–416.
MAREL, H. W. VAN DER, Het beschikbaar komen van kalium en magnesium voor de plant uit bodemmineralen bij verschillende grondsoorten. Landbk. Tijdschr. **62** (1950a) 178–189.
MAREL, H. W. VAN DER Identification of minerals in soil clay by x-ray diffraction patterns. Soil Sci. **70** (1950b) 109–136.
MAREL, H. W. VAN DER, The mineralogical composition of the clay ($<2\ \mu$) separate of the dutch soils and their cationic exchange capacity. Trans. 4th. Int. Congr. Soil Sci., Amsterdam, 1950c, Vol. 2, 92–94.
MAREL, H. W. VAN DER, Potassium fixation in dutch soils: Mineralogical analyses. Soil Sci. **78** (1954) 163–179.
MAREL, H. W. VAN DER en VENEKAMP, J. T. N. Onderzoek naar het verschijnsel der kalifixatie in Nederlandse gronden. Versl. Landbk. Onderz. **61**. 8 (1955) 61 blz.
MASCHHAUPT, J. G. De cultuurgronden op IJsselmonde. Versl. Landbk. Onderz. **39**. A (1933) 475–521.
MASCHHAUPT, J. G. Lysimeter-onderzoekingen aan het Rijkslandbouwproefstation te Groningen en elders. II. De scheikundige samenstelling van het drainwater. Versl. Landbk. Onderz. **47**. 4A (1941) 364 blz.
MASCHHAUPT, J. G. Bodemkundige onderzoekingen in het Dollardgebied. Versl. Landbk. Onderz. **54**. 4 (1948) 222 blz.
MASCHHAUPT, J. G. Bodemkundige onderzoekingen in het Dollargebied II. Versl. Landbk. Onderz. **62**. 3 (1956) 47 blz.
MASCHHAUPT, J. G., HAVE, J. TEN, De bepaling van den kalktoestand (verzadigingstoestand) van kleigronden. Versl. Landbk. Onderz. **40**. A (1934) 695–775.
MULDER, E. G. The microbiological estimation of copper, magnesium and molybdenum in soil and plant material. Int. Congr. on Anal. Chem., Utrecht June 1948, Section V, 8 blz.
MULDER, E. G. The essentiality of trace elements for micro-organisms and the microbiological determination of trace elements. Atti del VI. Congr. Int. di Microbiologica, Roma 1953, Vol. **6**, Sez. 18, 293–313.
MULDER, E. G., and BAKEMA, K. Effect of the nitrogen, phosphorus, potassium and magnesium nutrition of potato plants on the content of free amino-acids and on the amino-acid composition

of the protein of the tubers. Plant and Soil 7 (1956) 135–166.
PRUMMEL, J. Voorraadbemesting met kali op rivierklei. Landbk. Tijdschr. 74 (1962) 737–751.
RAMEAU, J. T. L. B., REITH, J. F. and DEIJS W. B. Some investigations about the microdetermination of lead in plant material. Anal. Chim. Acta 2 (1948) 823–830.
RAMEAU, J. T. L. B. en HAVE, J. TEN, De bepaling van het gehalte aan fosforzuur in plantaardig materiaal volgens de molybdeenblauwmethode met metol als reductiemiddel. Chem. Weekbl. 47 (1951) 1005–1013.
REITH, J. F., RAMEAU, J. T. L. B., MULDER, E. G., SEEKLES, L. en DEIJS, W. B. De koperbepaling in plantaardig materiaal met diaethyldithiocarbaminaat. Chem. Weekbl. 43 (1947) 106–108.
SAMSON, S. Electrometric titrations with two polarized secondorder electrodes. Anal. Chim. Acta 13 (1955) 473–486.
SCHOUWENBURG, J. C. VAN, and WALINGA, I. Determination of micro quantities of magnesium. Neth. J. Agric. Sci. 10 (1962) 154–156.
SCHOUWENBURG, J. C. VAN, and SCHUFFELEN, A. C. Potassium exchange behaviour of an illite. Neth. J. Agric. Sci. 11 (1963) 13–22.
SCHUFFELEN, A. C., MULLER, A. and SCHOUWENBURG, J. C. VAN, Quick tests for soil and plant analysis used by small laboratories. Neth. J. Agric. Sci. 9 (1961) 2–16.
SISSINGH, H. A. Componenten van het fosfaat in de grond welke betrokken zijn bij de fosfaatvoorziening van de plant. Diss. Wageningen 1961.
SMIT, J. Spectral relative intensity measurements for trace element determinations in plant samples. Diss. Utrecht, 1952.
SPEK, J. VAN DER, De glaselektrode en de bepaling van den zuurgraad van den grond. Versl. Landbk. Onderz. 41. B (1935) 13 blz.
SPEK, J. VAN DER, "Rood zand" en praehistorische bewoning (Een rectificatie). Tijdschr. Ned. Aardr. Gen. 66 (1949) 397–404.
SPEK, J. VAN DER, Katteklei. Versl. Landbk. Onderz. 56. 2 (1950) 40 blz.
SPEK, J. VAN DER, Over het verdwijnen van koolzure kalk uit zeekleiafzettingen tengevolge van de oxydatie van hierin aanwezige sulfiden. Landbk. Tijdschr. 64 (1952) 473–478.
SPEK, VAN J. DER, Het gleyverschijnsel en de verplaatsing van ijzer in de bodem. Landbk. Tijdschr. 65 (1953) 185–190.
SPEK, J. VAN DER en HAVE, J. TEN, Bepaling van de gehalten aan uitwisselbaar calcium en magnesium van de grond met een complexometrische titratiemethode. Chem. Weekbl. 53 (1957) 10—14.
SPEK, J. VAN DER en HAVE, J. TEN, De gehalten van de grond aan kali oplosbaar in zoutzuur bij oplopende concentraties. Versl. Landbk. Onderz. 65. 11 (1959) 42.
VERHOEVEN, B. On the calciumcarbonate content of young marine sediments. Int. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Bull. 4 (1963) 27 blz.
VRIES, O. DE, Fosforzuurbepaling bij zand- en veengronden. Korte mededeling Rijkslandbouwproefstation Groningen 16 (1933) 16 blz.
VRIES, O. DE en DECHERING, F. A. J. Grondonderzoek (4e dr. Meppel 1960).
VRIES, O. DE, HETTERSCHIJ, C. W. G. en PAAUW, F. VAN DER, Een en ander over de fosfaathuishouding in enkele Nederlandse grondsoorten. Landbk. Tijdschr. 49 (1937) 1–40.
VRIES, O. DE en SPEK, J. VAN DER, Resultaten van het onderzoek van enkele Nederlandse heidepodsolprofielen. Besprekingen over het heidepodsolprofiel, 118–130, Groningen 1941.
VRIES, O. DE en HETTERSCHIJ, C. W. G. Onderzoek over de methodiek bij de kalibepaling in de grond. Versl. Landbk. Onderz. 50. 4A (1945) 191 blz.

P. K. PEERLKAMP

Onderzoek van de natuurkundige bodemvruchtbaarheid

Terrein van onderzoek

De vruchtbaarheid van de bodem is lange tijd vereenzelvigd met de rijkdom aan voor de plant opneembare voedingsstoffen, die – zo nodig – kan worden vergroot door bemesting. De hiermee samenhangende vraagstukken betreffende de bodem als fabrikant, beheerder en leverancier van plantenvoedende stoffen zal men in de eerste plaats langs chemische en niet langs fysische weg benaderen.

Vat men bodemvruchtbaarheid echter ruimer op en wel als het complex van bodemfactoren, dat invloed uitoefent op de groei van de planten, dan behoren hiertoe ook de door de bodem bepaalde facetten van water-, lucht- en warmtehuishouding.

Deze hangen hoofdzakelijk af van de *bodemstructuur*, d.w.z. van de ruimtelijke rangschikking en de onderlinge binding der gronddeeltjes. De bodemstructuur karakteriseert dus de hoedanigheid van het bouwwerk van gronddeeltjes, dat we met het woord *bodem* plegen aan te duiden. Het is geen in de loop van de tijd constant blijvend of slechts langzaam veranderend kenmerk, zoals b.v. de korrelgrootteverdeling of het humusgehalte, maar een complexe bodemeigenschap, die onder invloed van uitwendige factoren (weersomstandigheden, grondbewerking)betrekkelijk snel kan veranderen. Men onderscheidt daarom bij de bodemstructuur vaak twee componenten: de *actuele structuur*, die een momentopname van de ruimtelijke opbouw geeft en de *stabiliteit* van de structuur, d.w.z. de weerstand tegen verandering door uitwendige invloeden.

De studie van de bodemstructuur, van de ermee samenhangende water-, lucht- en warmtehuishouding en van hun beïnvloeding door natuur en mens (b.v. water- en winderosie, grondbewerking, bemesting, behandeling met structuurregelaars) vormt samen met het onderzoek van korrelgrootteverdeling, vocht- en gasadsorptie, onderlinge binding der gronddeeltjes, zwelling en krimp en reologische eigenschappen het domein van de bodem*fysica*. Beoefenen we de bodemfysica speciaal ten dienste van het vruchtbaarheidsonderzoek, zoals dit aan ons instituut gebeurt, dan zal hierbij de bestudering van de bodemstruc-

tuur een centrale plaats moeten innemen, omdat de beïnvloeding van de plantegroei door vele bodemfactoren en andere uitwendige omstandigheden geheel of gedeeltelijk via deze structuur verloopt.

Is niet de bodemfysica maar de fysische bodemvruchtbaarheid het eigenlijke onderwerp van studie, dan moet het onderzoek over de invloed van de structuur op de plantegroei hiervan een belangrijk onderdeel vormen. Het werkterrein van het onderzoek betreffende de *natuurkundige bodemvruchtbaarheid* wordt dus gekarakteriseerd door de centrale positie van de structuur en door de belangrijke plaats die de invloed van de natuurkundige bodemeigenschappen op de plantegroei inneemt. Speciaal ten aanzien van dit laatste punt verschilt het fysische vruchtbaarheidsonderzoek van het zuivere bodemfysische onderzoek, dat meestal wordt verricht zonder de plant er rechtstreeks in te betrekken.

De bodemstructuur vormt, bekeken door een fysische zowel als door een bodemkundige bril, een gespecialiseerd onderwerp van studie. Ze biedt echter in het grensgebied van beide wetenschappen een uitgebreid terrein van onderzoek door de veelheid en verscheidenheid van factoren die de structuur beïnvloeden en door de vele manieren waarop de structuur een invloed op het gewas kan uitoefenen.

Het onderzoek van de fysische bodemvruchtbaarheid tracht o.a. antwoord te geven op de vraag wat de meest gunstige structuur is bij verschillende combinaties van gronden, gewassen en weersomstandigheden. Kennis daaromtrent vormt een basis voor de ontwikkeling van maatregelen, nodig om de optimale structuur voor een bepaalde situatie te verkrijgen. Deze maatregelen kunnen zeer verschillend van aard zijn, b.v. bekalking, organische bemesting, toepassing van structuurregelaars, grondbewerking, grondwaterbeheersing, bezanding.

Kennis betreffende de bodemstructuur vormt ook een grondslag voor de constructie van werktuigen voor de grondbewerking. Hierbij moet nl. bekend zijn welke grondlegging men door middel van het werktuig moet nastreven. De contacten van het structuuronderzoek met de werktuigenbouw nemen gaandeweg toe, nu door de voortschrijdende mechanisatie het machinale rooien een goed samenspel van structuur en machine vereist en met steeds zwaardere agrarische voertuigen onder ongunstige omstandigheden over het land wordt gereden. Dit laatste komt de structuur zeker niet ten goede en stelt daarom speciale eisen, niet alleen aan de grond, maar ook aan voertuig-, wiel- en bandconstructies. Van de verdere raakvlakken, die de studie van de bodemstructuur heeft met andere gebieden van onderzoek, kunnen worden genoemd die met de hydrologie, de grondmechanica, de bodemchemie en -mineralogie, de bodembiologie, de plantenfysiologie en -morfologie, de veldbodemkunde, de cultuurtechniek, de planteziektenkunde en de landbouwmeteorologie. Ter verduide-

lijking van laatstgenoemde zij eraan herinnerd, dat de structuur van de bouwvoor een belangrijke factor is bij de vorming van het klimaat vlak bij het bodemoppervlak. Deze invloed van de structuur speelt in vele gevallen een beslissende rol bij het optreden van nachtvorst.

De centrale plaats van de bodemstructuur bij het natuurkundige vruchtheidsonderzoek betekent niet, dat aan de andere genoemde factoren van de bodemfysica geen aandacht behoeft te worden geschonken. De korrelgrootteverdeling is een belangrijke karakteristiek van de grond. Kennis van de reologische eigenschappen is essentieel bij de studie van grondbewerkings- en berijdbaarheidsproblemen. De consistentie van kleigronden bij verschillende vochtigheidstoestanden vormt een basis voor de karakterisering van de stabiliteit van hun structuur. De onderlinge binding van gronddeeltjes is van fundamentele betekenis voor structuur en erosie.

2. Ontwikkeling van de bodemfysica

Zolang de mens voor zijn voedselvoorziening niet meer kon volstaan met hetgeen de natuur hem zonder meer bood, maar enige vorm van akkerbouw heeft bedreven, heeft hij op de een of andere wijze de grond bewerkt. Hij heeft zich dus al zeer lang beziggehouden met de fysische toestand van de bodem, maar van bodemfysisch onderzoek is pas sprake sinds het begin van de 19e eeuw. Een uitvoerige beschrijving van de ontwikkeling der bodemfysica geven GIESECKE (1929), KEEN (1931) en BAVER (1956).

De onderzoekers op bodemfysisch gebied in de 19e eeuw waren nog geen specialisten, maar hielden zich ook bezig met andere onderdelen van de bodemkunde of van het bodemvruchtbaarheidsonderzoek. Ook wel benaderden ze de bodemfysica van andere wetenschappen (plantenfysiologie of -ecologie, meteorologie) uit. Het natuurkundig onderzoek van de bodem werd hierdoor in zijn volle breedte bestreken. Men bepaalde o.m. soortelijk gewicht, korrelgrootteverdeling, reologische eigenschappen, lucht- en vochtadsorptie, zwelling en krimp, thermische eigenschappen, bevochtigingswarmte, vochthoudend vermogen en volumegewicht en bestudeerde o.a. de zuurstof-, koolzuur- en waterhuishouding, samendrukbaarheid en grondbewerking, elektrische eigenschappen, invloeden van bodemkleur en beschaduwing, effecten van helling, oriëntatie en begroeiing van het oppervlak op bodemtemperatuur en watererosie, invloed van wormen en wisselwerking tussen bodem en plant. Het is verbazingwekkend hoe vele waardevolle gegevens reeds door onderzoekers als SCHÜBLER (1832) en SCHUMACHER (1864) zijn verkregen.

Vele resultaten uit de laatste decennia van de 19e eeuw zijn gepubliceerd in het enige landbouwfysische tijdschrift, dat ooit is verschenen, nl. de gedurende

20 jaren (1878–1898) door WOLLNY uitgegeven "Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik". WOLLNY die wel als de vader der bodemfysica wordt beschouwd, verstond onder landbouwfysica de natuurkunde van bodem en atmosfeer voor zover deze voor de plant van betekenis was, dus een plantenecologische fysica. Een belangrijk onderdeel van zijn tijdschrift was gewijd aan de landbouwmeteorologie.

Kenmerkend voor het bodemfysische onderzoek in de 19e eeuw, waaraan naast Europese (vooral Duitse) in de laatste decennia ook Amerikaanse onderzoekers (HILGARD, JOHNSON, KING en SLICHTER; zie BAVER 1956) deelnamen, is het verzamelen van waarnemingsmateriaal geweest, terwijl aan praktisch bruikbare relaties en theoretische grondslagen maar beperkte aandacht werd geschonken. Op het gevaar van deze onevenwichtigheid werd door WARINGTON (1900) gewezen. Men krijgt bij het kennisnemen van de oudere literatuur sterk de indruk, dat dit euvel, samen met het complexe karakter van de meeste fysische vruchtbaarheidsproblemen, lange tijd een praktische toepassing van resultaten van bodemfysisch onderzoek in de weg heeft gestaan. Stellen we de snelle en spectaculaire praktische resultaten van het onderzoek van VON LIEBIG (1840) bij toepassing van minerale meststoffen daar tegenover, dan wordt het duidelijk, waarom het vruchtbaarheidsonderzoek in de tweede helft van de 19e eeuw en de eerste decennia van de 20e eeuw in de ban was van de bodemchemie. Hoewel er in deze periode in absolute zin heel wat belangrijk bodemfysisch werk is gedaan, is tot en met de tweede wereldoorlog door de genoemde oorzaken het fysische ten opzichte van het chemische bodemvruchtbaarheidsonderzoek ver achtergebleven.

Daarna ziet men allerwegen een opbloei van het bodemfysische onderzoek. Nog steeds laat echter het onderzoek naar de landbouwkundige interpretatie van bodemfysische meetresultaten te wensen over. Op vele plaatsen komt men nog niet uit boven de fase van de ontwikkeling en onderlinge vergelijking van meetmethoden, elders verricht men uitsluitend laboratoriumproeven of bestudeert slechts één bodemtype diepgaand en veelzijdig. In al deze gevallen komt men niet tot praktische resultaten, bruikbaar bij de voorlichting van land- en tuinbouw.

In ons land is en wordt het fysische vruchtbaarheidsonderzoek ten dienste van land- en tuinbouw voor een belangrijk deel aan ons instituut uitgevoerd, de laatste jaren voor zover het problemen van waterhuishouding en grondverbetering betreft ook aan het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen. Verder wordt bodemfysisch onderzoek dat uiteindelijk ook ten doel heeft de Nederlandse cultuurgronden ten goede te komen, verricht door verschillende andere instellingen van landbouwkundig onderzoek.

Bodemfysisch onderzoek en onderzoek van de fysische vruchtbaarheid aan de Groningse instellingen

Gedurende de eerste kwart eeuw van het bestaan van het Rijkslandbouwproefstation te Groningen kon slechts weinig onderzoek op bodemfysisch gebied worden gedaan. De taak van het instituut bestond immers uit "het ten behoeve van den landbouw onderzoeken van grond- en watersoorten, meststoffen, voedingsstoffen, zaden (tot 1899) en alle landbouw-grondstoffen en -voortbrengselen op aanvrage van de Regering of van bijzondere personen en instellingen", verder uit het doen van "cultuur- of bemestingsproeven op de daarvoor door de Regering of door bijzondere personen en instellingen beschikbaar gestelde proefvelden", terwijl ten slotte nog algemeen onderzoek betreffende de landbouw verricht kon worden. Het z.g. controle-onderzoek werd van deze taken al spoedig de meest omvattende. Natuurlijk werden wel enkele bodemfysische bepalingen, zoals die van de granulaire samenstelling of van het volumegewicht gedaan, maar alleen ter ondersteuning van ander onderzoek.

Nieuwe mogelijkheden ontstonden toen bij de reorganisatie van 1915 het Rijkslandbouwproefstation uitsluitend met wetenschappelijk onderzoek werd belast en in 1916 een afdeling voor algemeen bodemkundig onderzoek werd ingesteld onder directoraat van D. J. Hissink. In die tijd was echter, zoals in de voorgaande paragraaf is uiteengezet, het bodemkundige onderzoek sterk chemisch georiënteerd. Typerend daarvoor is dat de Dienst der Rijkslandbouwproefstations nooit de functie van natuurkundige, naast die van scheikundige, plantkundige en landbouwkundige heeft gekend. Het is dan ook niet te verwonderen, dat tijdens het bestaan van de bodemkundige afdeling (1916–1926) van de 86 verschenen publikaties slechts vijf op een min of meer bodemfysisch onderwerp betrekking hadden. Bovendien waren deze nog hoofdzakelijk refererend van aard.

Met bodemfysisch onderzoek van enige betekenis kon pas begonnen worden toen in 1929 aan de inmiddels (1926) tot een zelfstandig Bodemkundig Instituut verheven bodemkundige afdeling een scheikundige benoemd werd, die tot taak kreeg studie te maken van de natuurkundige eigenschappen van de grond in het algemeen en van de waterhuishouding van de bodem in het bijzonder. Deze onderzoeker, S. B. Hooghoudt, heeft de merites van de bepaling der *korrelgrootteverdeling* grondig bestudeerd en door het ijken van zeven met in glycerine-watermengsels bezonken zandfracties een aansluiting tussen de beide in wezen verschillende methoden van bezinken en zeven tot stand gebracht. Dit leidde tot de ontwikkeling van de gecombineerde micro- en macropipet- en zeefmethode, waarmee de korrelgrootteverdeling van deeltjes met doorsneden

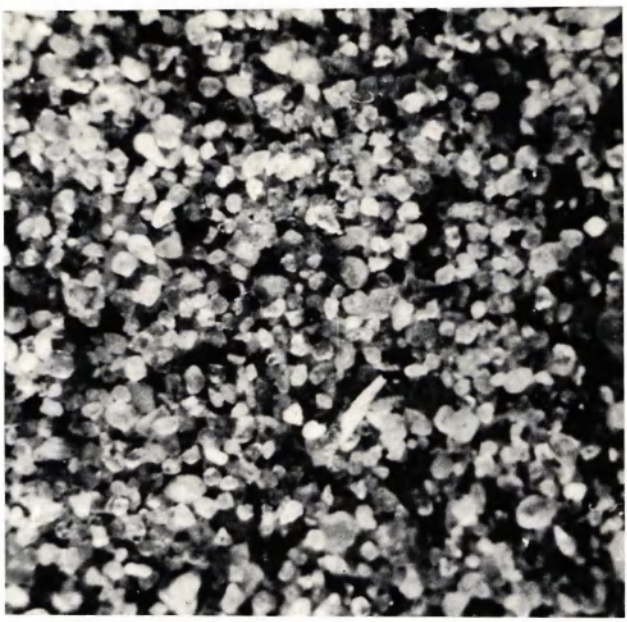
tussen 1/16 en 2000 μm kan worden bepaald. HOOGHOUDT onderzocht bij zandgronden de samenhang tussen het specifieke korreloppervlak (U-cijfer) en het doorlatende vermogen van de met water verzadigde grond, de maximale capillaire stijghoogte en de hoeveelheid hangwater. Bij kleigronden ging hij de invloed van zwaarte, fijnheid van het zand en bezetting van het adsorptiecomplex op de stevigheid van gedroogde grondpasta's na. Bij veen- en venige gronden bestudeerde hij de indroging. Baanbrekend werk heeft HOOGHOUDT gedaan met zijn onderzoek over *grondwaterstromingen* en met de praktische toepassing van de resultaten bij het geven van drainage-adviezen. Zijn op relatief eenvoudige gevallen betrekking hebbende theoretische beschouwingen werden door zijn latere medewerkers VAN DEEMTER (1950) en ERNST (1962) uitgebreid tot en toepasbaar gemaakt voor meer ingewikkelde situaties. Voor het toegepaste agrohydrologische onderzoek, dat HOOGHOUDT bij talrijke projecten van dikwijls grote omvang vooral na de tweede wereldoorlog heeft uitgevoerd, waren duizenden bepalingen van korrelgrootteverdelingen noodzakelijk. Dit bracht hem tot de inrichting van een *granulametrisch archief*, waarin alle gegevens van de onderzochte monsters op ponskaarten zijn vastgelegd. De praktische uitwerking van deze gedachte kwam hoofdzakelijk onder leiding van zijn medewerker A. J. WIGGERS tot stand.

We kunnen in het bestek van dit artikel niet uitvoeriger ingaan op het vele belangrijke bodemfysische werk, dat HOOGHOUDT tot zijn plotselinge dood (1953) heeft verricht. Verwezen zij naar een desbetreffend artikel van BRUIN en VISSER (1953) en een literatuuroverzicht van VAN DER LOEFF (1954). Wel moeten nog enkele opmerkingen worden gemaakt over HOOGHOUDT's wijze van werken, omdat deze typerend is voor de sfeer van het onderzoek aan het vroegere Bodemkundig Instituut. HOOGHOUDT was een typische vertegenwoordiger van het toenmalige universitaire fysisch-chemische onderzoek. Het ceteris-paribus-principe was grondwet voor zijn methode van werken en hij heeft het daarmee ver kunnen brengen, omdat hij zich hoofdzakelijk met grond en bodem heeft beziggehouden en slechts weinig met de gecompliceerde wijze, waarop de reactie van het gewas erop tot stand komt. In de gevallen waarin hij wel de reactie van het gewas bestudeerde, werd toch de klassieke proefopzet volgens het ceteris-paribus-principe gebruikt, getuige b.v. het bekende waterstandsproefveld in Nieuw-Beerta. Kenmerkend voor HOOGHOUDT waren zijn systematische werkwijze en zijn hang naar volledigheid. Hij probeerde de oplossing van een probleem "waterdicht" te maken. Een typisch voorbeeld van een daartoe verrichte "controle" was de toetsing van de drainage-formule in een groot met zand gevuld betonnen bassin, voorzien van een drainage-systeem en een reeks grondwaterstandsbuizen. Het is wel merkwaardig, dat deze onderzoeker, die een uitgesproken voorliefde had voor fundamenteel werk, door de praktische omstandigheden

gedwongen (hij was meestal de enige of de meest deskundige bij praktische problemen) hoe langer hoe meer "ingenieur" is geworden, een ontwikkeling overigens, die voor onderzoek en toepassing beide bevruchtend heeft gewerkt.

In 1936 schreef HISSINK in het gedenkboek "Twintig jaar bodemkundig onderzoek, tien jaar Bodemkundig Instituut": "Reeds wordt in Nederland verdienstelijk werk op het gebied van het bodemstructuur-onderzoek gedaan (Ir. Cleveringa, Zutphen). Dit onderzoek is evenwel slechts van morfologischen aard; het is niet in staat de grootheid "structuur van den grond" uit te drukken in cijfers, verkregen volgens goed reproduceerbare methoden". Hoewel hij vervolgens mededeelde dat het onderzoek van de structuur op het werkprogramma was geplaatst, is dit kennelijk fysische bodemvruchtbaarheidsonderzoek nooit door het Bodemkundig Instituut uitgevoerd. Het paste door zijn aard ook niet bij de werkwijze van dit instituut. Praktisch voorkomende verschillen in fysische bodemvruchtbaarheid zijn nl. in het algemeen niet door een zodanige ingreep te realiseren, dat het onderzoek volgens het ceteris-paribus-principe kan worden opgezet. Daardoor is het begrijpelijk, dat het eerste fysische bodemvruchtbaarheidsonderzoek in Groningen van de landbouwkundige kant kwam. Bij W. C. VISSER, destijds verbonden aan het Rijkslandbouwproefstation, stond niet de bodemfysica, maar de fysische bodemvruchtbaarheid centraal. Het complex van factoren dat hierbij een rol speelt, vraagt ter ontwarring kwantitatieve gegevens van een in het algemeen groot aantal plekken. Dit vereist meetmethoden, waarbij eenvoudig, gemakkelijk en snel werken prevaleert boven het bereiken van een zeer grote nauwkeurigheid. VISSER (1937) ontwikkelde daartoe een in het veld bruikbare *luchtpyknometer*, waarmee het luchtvolume in een ongeroerd monster kon worden bepaald. Door een aanvullende bepaling van het vochtgehalte werden ook grond-water-luchtverhouding, poriënvolume en eventueel het volume van de grote poriën bekend. VISSER (1939, 1941 a, b) bestudeerde op deze wijze invloeden van granulaire samenstelling, kalk, organische stof, vruchtwisseling en bemesting op de bovengenoemde structuuraspecten en deed onderzoek over de reactie van verschillende gewassen op verschillen in structuur. Dit laatste leverde toen echter nog niet veel resultaten op.

De mogelijkheid meer aandacht aan het gecompliceerde vraagstuk van de bodemstructuur te besteden werd groter toen schrijver dezes in 1943 werd belast met het *structuuronderzoek*. Van het begin af is de leidende gedachte bij dit structuuronderzoek geweest de fysische bodemvruchtbaarheid te bestuderen, d.w.z. de kwantitatieve invloed van de structuur op opbrengst en kwaliteit van verschillende gewassen na te gaan. Daarnaast zou onderzocht moeten worden hoe een onder gegeven omstandigheden zo gunstig mogelijke structuur verkregen kon worden. Hiertoe zou de invloed op de bodemstructuur van de vele factoren





Twee uitersten van bodemstructuur, boven: éénkorrelstructuur, onder: aggregaatstructuur.

die een rol kunnen spelen, moeten worden bestudeerd. Tenslotte zou getracht worden de waargenomen verschijnselen te verklaren. De breedte van dit terrein van onderzoek vraagt eigenlijk een team van onderzoekers, b.v. bestaande uit een fysicus, een fysisch-chemicus, een plantenfysioloog en een landbouwkundige. Tot dusver is echter de omvang van dit team hoofdzakelijk beperkt gebleven tot één onderzoeker. Zijn eerste taak was na te gaan hoe het complexe begrip bodemstructuur kwantitatief gekarakteriseerd kon worden. Om de actuele structuur die door de grond-water-lucht-verhouding onvoldoende wordt beschreven, nader te preciseren en de binding van het bodemvocht, o.a. in verband met de beschikbaarheid voor de plant, te meten werd de bepaling van de *vochtkarakteristiek* ingevoerd en verbeterd (PEERLKAMP en BOEKEL, 1960). Om de stabiliteit van de structuur te karakteriseren werd van de oorsprong Russische, maar vooral in de Verenigde Staten veel gebezigde methode van de natte *aggregaatanalyse* voor het fysische bodemvruchtbaarheidsonderzoek geschikt gemaakt. Het bekend worden in ruimere kring van de mogelijkheden aan ons instituut om de structuur kwantitatief te karakteriseren, deed een stroom van verzoeken om medewerking bij allerlei onderzoek ontstaan. Om zo breed mogelijk georiënteerd te raken op het gebied van de bodemstructuur, werd aanvankelijk voor zover dit praktisch mogelijk was aan deze verzoeken gevolg gegeven. Dit had bovendien het voordeel, dat gebruik kon worden gemaakt van vaak reeds jaren lang bestaande proeven. Structuuronderzoek werd b.v. verricht ten behoeve van onderzoekingen over aardappelmoeheid, stabiele humus X_2, organische bemesting, de invloed van kunstmest en van grondbewerking, bevloeiing in infiltratie van grasland (o.a. in het randgebied van de NOP en in de Beemster) en het effect van de ouderdom van grasland. Op grond van de verkregen kennis konden adviezen worden uitgebracht over de landbouwkundig minimale dikte van een kleilaag op een ondergrond van zand ten behoeve van inpolderingen in het Waddengebied en over de mogelijkheid en wenselijkheid van overwegend veeloze bedrijven in de NOP. Bij enkele onderzoekingen vond een vruchtbare samenwerking plaats met de toenmalige bewortelingsdeskundige van het instituut M. A. J. GOEDEWAAGEN.

Ten behoeve van het onderzoek over de werking van stalmest op bouwland op zandgrond werden voor FERWERDA (1951) talrijke natte aggregaatanalyses uitgevoerd. Hij vergeleek de resultaten daarvan met die van een door hem ingevoerde *visuele structuurbeoordeling* en vond een redelijke samenhang. Deze visuele methode is later in gewijzigde vorm (PEERLKAMP 1959) een waardevol hulpmiddel gebleken.

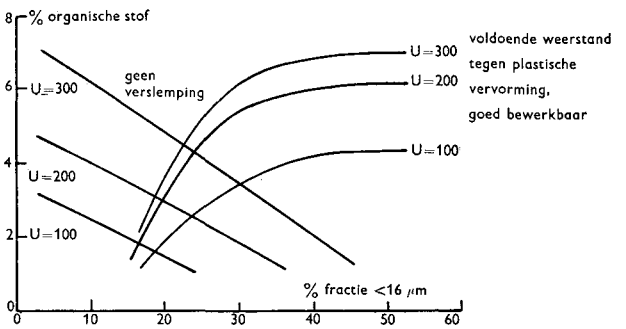
FERRARI (1949) kon bij een regionaal vruchtbaarheidsonderzoek in het droge jaar 1947 een positieve samenhang tussen de visueel beoordeelde structuur en de opbrengst van aardappelen op de zeeklei van westelijk Noord-Brabant aantonen;

in het veel nattere jaar 1948 speelde de structuur daarentegen een geringe rol. Dit laatste bleek ook bij het onderzoek dat FERRARI (1952) in dat jaar op de stroomruggronden van de Bommelerwaard uitvoerde. Hij zowel als FERWERDA werkte voor zover het de structuur van de percelen betrof, met een *proef zonder ingreep*, d.w.z. met de natuurlijke structuurverschillen tussen de verschillende percelen. Voor een moeilijk naar willekeur te wijzigen bodemeigenschap als de structuur is deze methode bij het bestuderen van de invloed op de groei van het gewas vrijwel de enig mogelijke. Nadelen van dergelijk onderzoek, dat verder nog in 1952 door KUIPERS (1955) in noordwestelijk Groningen bij suikerbieten is uitgevoerd, zijn de grote omvang en de daarmee gepaard gaande hoge kosten. Men vindt daarbij slechts de invloed van de structuur op één gewas in één bepaald jaar, hoewel het onderzoek doorgaans nog verdere belangrijke gegevens over de vruchtbaarheid van het desbetreffende gebied oplevert. Zo vond KUIPERS bij het genoemde onderzoek, dat vooral het stikstof-effect (maximale—nulopbrengst) en de zaaidatum en daarnaast, maar in veel geringere mate, de structuur en de pH de opbrengst van de bieten bepaalden. Uit zijn onderzoek, uit dat van FERRARI en uit vroeger onderzoek van PEERLKAMP over de structuur van gronden die met zout water geïnundeerd waren geweest, bleek dat de natte aggregaatanalyse bij kleigronden geen volledig bevredigende resultaten geeft. P. BOEKEL schreef dit toe aan het verschil tussen het mechanisme van het structuurverval bij kleigronden en dat bij lichte leem- en lössgronden, waarvoor de natte aggregaatanalyse werd ontwikkeld. Laatstgenoemde gronden vallen door de kinetische energie van de regendruppels, het comprimeren van lucht in de aggregaten als gevolg van het capillair aanzuigen van water en door ongelijkmatige zwelling uiteen in kleinere eenheden. Bij kleigronden speelt de plastische vormverandering van de natte bodem door mechanische krachten, die vooral bij het berijden van de grond worden uitgeoefend, de hoofdrol. De vochtigheid van de natte bodem kan gekarakteriseerd worden door het vochtgehalte bij pF2. Ligt dit boven of maar weinig beneden de vloeigrens, dan is de kans op plastische vormverandering onder natte omstandigheden groot. Deze kans is daarentegen klein als het vochtgehalte bij pF2 beneden of slechts weinig boven de uitrolgrens van de grond ligt. De kleigrond is dan onder vrijwel alle omstandigheden ook goed bewerkbaar. BOEKEL werkte daarom een methode uit om de potentiële structuureigenschappen van een grond te karakteriseren door de *relatieve ligging van het vochtgehalte bij pF 2,0 ten opzichte van de beide genoemde Atterbergse consistentiegrenzen* te bepalen (BOEKEL en PEERLKAMP 1956). Bij kleigronden heeft deze werkwijze de aggregaatanalyse geheel verdrongen.

In de vijftiger jaren werd het structuuronderzoek dat voordien breed van opzet en hoofdzakelijk algemeen oriënterend was geweest, meer en meer gericht op

enkele onderdelen. Mede aanleiding hiertoe was het aanbod van allerlei *structuurregelaars*, meestal synthetische polymeren die bedoeld waren om een door grondbewerking verkregen gunstige actuele structuur te bestendigen. Aan de toetsing hiervan is veel aandacht besteed (BOEKEL 1959). Enkele van de onderzochte produkten bleken een uitstekende werking te hebben op slibhoudende gronden. Het valt te betreuren dat de produktie wegens de voor land- en tuinbouw te hoge kostprijs moest worden gestaakt, waardoor de verdere mogelijkheid verviel om met behulp van structuurregelaars structuurproefvelden volgens het ceteris-paribus-principe aan te leggen.

Door het onderzoek van structuurregelaars en door de vraagstukken die de voortschrijdende mechanisatie van het landbouwbedrijf oproept, kwam de *structuur van klei- en zavelgronden* in het middelpunt van de belangstelling. BOEKEL verrichtte de laatste jaren onderzoek over de invloed van kalktoestand, granulaire samenstelling en gehalte aan organische stof op de structuur van kleigronden. Verder bestudeerde hij de gevoeligheid van slibhoudende gronden voor verslemping en de invloed van de structuur op de plantengroei. Deze onderzoekingen (BOEKEL 1958, 1963 a t/m e) hebben ertoe geleid, dat *kwantitatieve eisen* bekend werden, waaraan de kalktoestand (pH en hoeveelheid Ca-ionen in de bodemoplossing), de granulaire samenstelling (gehalte aan afslibbaar en U-cijfer) en het gehalte aan organische stof van mariene klei- en zavelgronden moeten voldoen ter verkrijging van een gunstige actuele structuur (fig.). BOEKEL (1963 c)



Gehalten aan organische stof die bij kleigronden met verschillend gehalte aan afslibbare delen en met verschillende fijnheid van de zandfractie nodig zijn om verslemping te voorkomen, voldoende weerstand tegen plastische vervorming aan de grond te geven en hem goed bewerkbaar te maken. (BOEKEL 1963d)

gebruikte bij *zandgronden* het luchtgehalte bij pF2 om de structuur te karakteriseren en vond dat dit bij hoge en lage gehalten aan organische stof resp. ongeveer

20 en 25 volumepercenten moet zijn om een maximale opbrengst van de gewassen te verkrijgen.

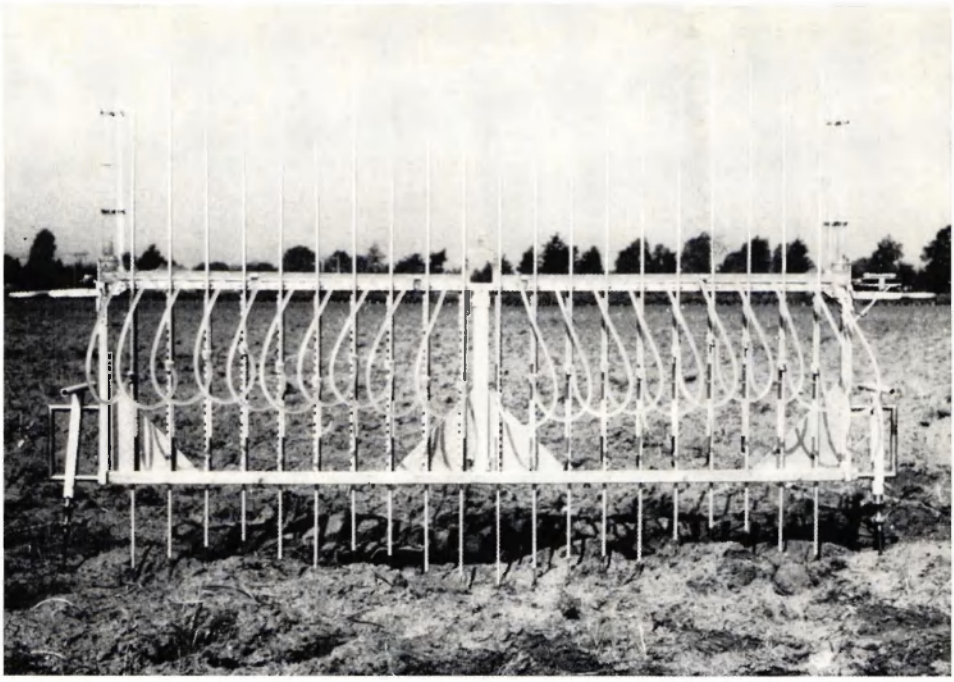
De resultaten van dit structuuronderzoek zullen nog verder verfijnd en getoetst moeten worden. Ze bieden nu echter al een mogelijkheid in bepaalde gevallen de waarde van de fysische vruchtbaarheid van een grond te beoordelen en te adviseren over een eventuele verbetering ervan.

Een drastische wijziging ondergaat de actuele bodemstructuur door *grondbewerking*, de oudste en meest voorkomende ingreep in de fysische bodemvruchtbaarheid. Daarom lijkt het op het eerste gezicht vreemd, dat de eerste conclusie van de "grondbewerkingsdag" die in 1951 werd georganiseerd door de Nederlandse Bodemkundige Vereniging, luidde: "In verhouding tot de hoge bedragen jaar in, jaar uit door de landbouw in de grondbewerking geïnvesteerd, is het inzicht in de behoefte aan grondbewerkingen en de wijze waarop deze dienen te geschieden, geheel ontoereikend. Ernstige twijfel heerst omtrent de juistheid van alle verrichte grondbewerkingen. Onderzoek is dringend gewenst". Dit gaf de stoot tot de aanpak van het onderzoek over grondbewerking aan het instituut, waarvoor in 1954 een onderzoeker volledig beschikbaar kwam.

H. KUIPERS en zijn opvolger C. VAN OUWERKERK hebben zich vooral, ten dele in nauwe samenwerking met het Instituut voor Landbouwtechniek en Rationalisatie (ILR) te Wageningen beziggehouden met de wisselwerking tussen grondbewerking en bodemstructuur (KUIPERS en VAN OUWERKERK 1963 a), en daarnaast incidenteel met de wisselwerking tussen structuur en plantengroei, die meer tot het domein van het algemene onderzoek van de fysische bodemvruchtbaarheid gerekend moet worden.

De grote losheid van een pas bewerkte grond maakte de ontwikkeling van speciale methoden ter karakterisering van zijn structuur noodzakelijk. Dat leidde tot de constructie van enkele typen *reliëfmeters* (KUIPERS 1957; VAN OUWERKERK en SCHAKEL 1965) ter bepaling van ruwheid en ophoging van het bewerkte oppervlak. Onderzoek werd gedaan over de invloed van ristertypen, ploegdiepten (KUIPERS 1959), verschillende typen tuinbouwfrezen, het tijdstip van ploegen (KUIPERS en VAN OUWERKERK 1963 b), de methode Ramondt, de aard van het werktuig (ploeg-spitmachine-cultivator) en van de tractie (paard-trekker) en de aan een zaaibed te stellen eisen.

Bij de grondbewerking en het berijden van het land met landbouwvoertuigen worden mechanische krachten op de grond uitgeoefend. Dat maakt, dat het onderzoek van de grondbewerking ook een grondmechanisch facet heeft, hoewel de omstandigheden waarin de grond in de landbouw verkeert meestal geheel andere zijn dan bij bouwtechnische problemen. De *reologische eigenschappen* van de bouwvoor en in het bijzonder het effect van normale en tangentiële



Integrerende reliëfmeter,
apparaat ter bepaling van de „ruwheid" van het bodemoppervlak
in verband met de grondbewerking.



Verstuiving van zand
over kort tevoren geploegd land in de veenkoloniën.

krachten werden daarom in het onderzoek betrokken.

In vele landen is de strijd voor het behoud van de bodemvruchtbaarheid in de eerste plaats gericht tegen de *erosie*. In ons land speelt dit vraagstuk een beperkte rol. De eigenlijke watererosie vormt geen probleem, maar winderosie kan hier bij tijd en wijle geduchte schade aanrichten. Op zandgronden die voor de bloembollen- en aspergeteelt in gebruik zijn vormen verstuivingen een vrijwel jaarlijkse last. Onderzoek naar de bodemkundige kant van de winderosie leek dan ook gewenst en dank zij een subsidie uit de Marshall-hulp kon in de jaren vijftig de hiervoor noodzakelijke windtunnel worden gebouwd. Aanvankelijk werd vooral aandacht besteed aan de bestrijding van verstuivingen door vorming van een korst aan het bodemoppervlak. Toen deze methode niet afdoende bleek, werd getracht de grond kunstmatig te aggregeren of door een mulch van huisvuilcompost (KNOTTNERUS 1964) of van industiële organische afval te beschermen. Technisch gezien zijn er verschillende mogelijkheden. De economie staat echter in de meeste gevallen een praktische toepassing in de weg. Verhoging van het humusgehalte van de grond ter verhindering van verstuiving biedt op theoretische gronden weinig kans in de praktijk. Thans wordt nog onderzocht in hoeverre een bereikbare verhoging van het gehalte aan organische stof de kans op verstuiving vermindert.

Natuurkunde en bodemvruchtbaarheid

In dit opschrift ligt de vraag naar de wisselwerking tussen de fysica en het vruchtbaarheidsonderzoek besloten. Bij de beantwoording van die vraag zullen we ons hier wat de vruchtbaarheid van de bodem betreft, beperken tot de natuurkundige vruchtbaarheid. Dit betekent echter niet dat de fysica geen betekenis heeft gehad voor het onderzoek van de chemische bodemvruchtbaarheid. De moderne scheikunde gebruikt fysische meetmethoden (spectrofotometrie, polarografie, röntgendiffractiemeting). Het chemische en biologische vruchtbaarheidsonderzoek past radioactieve isotopen toe en vervolgt hun gang door bodem en plant met fysische hulpmiddelen.

Om duidelijk te maken welke invloed de natuurkunde heeft gehad op de ontwikkeling van het onderzoek betreffende de fysische bodemvruchtbaarheid, moeten eerst de problematiek en de aanpak van dit onderzoek worden bekeken.

Het doel van het natuurkundige vruchtbaarheidsonderzoek is, de invloed van de fysische bodemeigenschappen op de ontwikkeling van de plant en de mogelijkheden deze eigenschappen naar behoefte te wijzigen, kwantitatief te leren kennen om daardoor tot voor land- en tuinbouw bruikbare adviezen te komen. Bij de vraagstukken waarmee men daarbij te maken heeft, kunnen de volgende groepen van problemen worden onderscheiden:

a. de kwantitatieve beschrijving van fysische bodemeigenschappen op praktisch bruikbare wijze,
b. aard en grootte van de invloeden die verschillende natuurlijke en kunstmatige factoren in onderlinge wisselwerking op deze eigenschappen uitoefenen,
c. de kwantitatieve betekenis van de natuurkundige eigenschappen van de bodem voor opbrengst en kwaliteit van de verschillende gewassen,
d. de theoretische achtergronden van de effecten sub b en c,
e. de opstelling van praktisch bruikbare richtlijnen voor de voorlichtingsdiensten op grond van de bij a t/m d verworven kennis.

De groepen a, b en d voor zover op b betrekking hebbende, behoren volgens de gangbare opvatting tot de bodemfysica, de overige brengen het typische element van de vruchtbaarheid in het onderzoek. De beperking "op praktisch bruikbare wijze" in a geeft echter aan dat het feitelijk om meetmethoden ten dienste van het op de praktijk gerichte vruchtbaarheidsonderzoek gaat. Ze spruit voort uit de in fysisch opzicht grote heterogeniteit van de bodem en het grote aantal fysische en andere factoren dat te zamen de reactie van het gewas bepaalt. Hierdoor vraagt de oplossing van een fysisch vruchtbaarheidsprobleem bepalingen in een groot aantal monsters of op een groot aantal plekken. De onmogelijkheid groepen ongeroerde monsters tot mengmonsters samen te voegen, maakt het aantal te verrichten bepalingen extra groot. Om praktische redenen moet daarom gezocht worden naar eenvoudige, zonder veel arbeid in serie uit te voeren bepalingen, waarbij een nauwkeurigheid tot op 10 % doorgaans voldoende is. In dit opzicht bestaat er een kenmerkend verschil tussen de natuurkunde en het onderzoek van de natuurkundige vruchtbaarheid. In de fysica worden meestal zeer nauwkeurige bepalingen gedaan aan enkele homogene objecten, het onderzoek van de natuurkundige vruchtbaarheid vraagt echter bepalingen aan grote reeksen monsters of plekken van vele heterogene objecten, waarbij met een veel geringere nauwkeurigheid kan worden volstaan. Een ander typisch verschil tussen beide gebieden van onderzoek wordt gevormd door de verschillende geaardheid van de problemen en het daarmee samenhangende verschil in aanpak. In de fysica speelt meestal maar een beperkt aantal factoren, die onafhankelijk van elkaar te variëren zijn, een rol. Het vraagstuk is dan te splitsen in een aantal afzonderlijke problemen, die volgens het ceteris-paribus-principe opgelost kunnen worden. In het onderzoek van de fysische bodemvruchtbaarheid daarentegen zijn de vraagstukken doorgaans multifactorieel, waarbij sommige factoren niet door een eenvoudige ingreep te wijzigen zijn (gehalte aan organische stof, textuur, profiel) of niet onafhankelijk van elkaar gevarieerd kunnen worden (b.v. gehalten aan lutum of organische stof enerzijds en structuur anderzijds). Dit alles maakt dat het onderzoek van de natuurkundige vruchtbaarheid van de bodem een geheel

andere aanpak vereist dan in de zuivere natuurkunde en in een groot deel van de bodemfysica gebruikelijk is. Met de bepaling van opbrengsten op enkele plekken met verschillende bodemstructuren komt men zonder meer niet veel verder. Fysisch vruchtbaarheidsonderzoek leent zich in het algemeen slecht voor proeven met ingreep, omdat het vrijwel niet mogelijk is een reeks structuurtrappen te verwezenlijken binnen het traject der natuurlijke structuurverschillen. De reactie van het groeiende gewas op verschillen in structuur is afhankelijk van het weer en van het groeistadium. Vraagstukken betreffende de fysische bodemvruchtbaarheid en in het bijzonder de onder c genoemde problemen, moeten daarom opgelost worden met methoden van multifactorieel onderzoek, zoals die aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid zijn ontwikkeld en worden gebruikt (FERRARI 1952, 1964, dit gedenkboek).

Dat betekent natuurlijk niet, dat de opzet van proeven volgens het ceteris-paribus-principe bij verschillende afzonderlijke problemen, b.v. uit groep b, niet bruikbaar zou zijn. Men moet zich bij beschouwingen over de aanpak van het natuurkundige vruchtbaarheidsonderzoek hoeden voor een zwart-wit beeld van de verschillende methoden en van de belangrijkheid der afzonderlijke problemen. Aanpak van alle groepen vraagstukken, genoemd onder a t/m d, is voor het bereiken van het doel van het fysische vruchtbaarheidsonderzoek noodzakelijk. Bij verwaarlozing van één groep loopt men steeds vast.

De volgorde waarin de afzonderlijke problemen worden onderzocht, zal sterk afhangen van het doel dat de onderzoeker voor ogen heeft, van de taak van het instituut waarin het onderzoek wordt uitgevoerd, en van de praktische mogelijkheden. Wanneer taak en mogelijkheden fundamenteel onderzoek op de voorgrond plaatsen, zal de onderzoeker bij voorkeur vraagstukken uit de groepen b en d aanpakken. Hij kan daarmee een waardevolle bijdrage leveren aan het onderzoek van de natuurkundige vruchtbaarheid, maar zal in het algemeen niet tot resultaten komen die zonder meer voor de voorlichtingsdiensten bruikbaar zijn. Is het leveren van dergelijke uitkomsten echter wel een der belangrijke taken van het instituut, zoals dat bij het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid het geval is, dan zal men proberen langs de snelste weg tot die resultaten te komen. Hiervoor is naar onze mening een team van in verschillende richtingen gespecialiseerde onderzoekers nodig zoals in de vorige paragraaf is aangegeven, en dat bij voorkeur ook organisatorisch één geheel moet vormen.

Laten de middelen een dergelijke forse aanpak niet toe, zoals dat tot dusver aan het thans jubilerende instituut het geval is geweest, dan zal men achtereenvolgens:

1. een bepalingsmethode trachten te vinden, die de structuur zo veelzijdig mogelijk kwantitatief karakteriseert,

2. nagaan wat de verkregen cijfers landbouwkundig, d.w.z. ten aanzien van opbrengst en kwaliteit van een gewas, betekenen en hoe ze door verschillende factoren worden beïnvloed.

Zonder op de fundamentele achtergronden van de gevonden relaties in te gaan, gelukt het daarna in verschillende gevallen al tot voor de praktijk bruikbare resultaten te komen (BOEKEL 1963 c, d). Uiteindelijk zal echter door fundamenteel onderzoek verkregen inzicht in de werking van de natuurkundige vruchtbaarheid bij het generaliseren en aan elkaar verbinden van resultaten van onderzoek niet gemist kunnen worden.

Terugkerend naar het uitgangspunt, de wisselwerking tussen natuurkunde en fysisch vruchtbaarheidsonderzoek, zal het duidelijk zijn dat de bijdragen van de natuurkunde aan dit onderzoek hoofdzakelijk op de onder a, b en d genoemde afzonderlijke problemen betrekking hebben, dus op de bodemfysica als onderdeel van het onderzoek van de natuurkundige vruchtbaarheid. De toegepaste fysische principes zijn over het algemeen eenvoudig. Ze werden gebruikt bij de ontwikkeling van meetmethoden of bij de beschrijving van processen door middel van formules. In het laatste geval waren de mathematische problemen door de gecompliceerde structuur van de bodem en de dikwijls lastige grensvoorwaarden vaak groter dan de fysische. Ook bij de oplossing van multifactoriële vraagstukken liggen de moeilijkheden hoofdzakelijk op wiskundig gebied.

Toepassingen van de natuurkunde zijn op tal van plaatsen in de bodemfysica aan te wijzen. Het is niet mogelijk hier een volledig overzicht daarvan te geven. We zullen ons beperken tot enkele voorbeelden.

De bepaling van de korrelgrootteverdeling van grond berust op de wet van STOKES. Uit deze wet volgt dat de bezinkingssnelheid van een bolvormig deeltje evenredig is met het kwadraat van de diameter en omgekeerd evenredig met de viscositeit van de vloeistof waarin het deeltje bezinkt. Dit geldt alleen indien de stroming om de bol laminair is. Daarom is bezinking in water alleen mogleijk voor deeltjes kleiner dan ca. 50 μm. Om grotere deeltjes op deze wijze te scheiden moeten visceuzere vloeistoffen worden gebruikt. HOOGHOUDT paste daarom bij de bereiding van zandfracties voor het ijken van zeven glycerine-watermengsels toe.

Capillaire verschijnselen, de adhesie van het bodemwater aan de gronddeeltjes, de cohesie van dit water en de dampdrukken boven gebogen vloeistofoppervlakken spelen een rol bij het vochttransport in de niet met water verzadigde bodem. De beweging van water in de verzadigde bodem onder invloed van hydrostatische drukverschillen wordt beheerst door de wet van Darcy, die analoog is aan de de wetten voor het transport van warmte en elektriciteit in homogene media. Hierop berust de mogelijkheid problemen van de stroming van grondwater met ingewikkelde grensvoorwaarden door middel van een thermisch of elektrisch

analogon op te lossen. De alzijdige capillaire binnendringing van water in aggregaten kan de ingesloten lucht zodanig comprimeren dat de aggregaten barsten. Dit is één van de oorzaken van structuurverval. Een andere is de overdracht van de (kinetische) energie van vallende regendruppels aan de aggregaten waarop ze botsen. Energetische beschouwing van het bodemvocht en invoering van de daarmee samenhangende pF-bepaling maakten meting van de voor de plant beschikbare hoeveelheid vocht in de bodem en een normalisering van het begrip "veldcapaciteit" mogelijk. Deze beschouwingswijze vormde tevens de basis voor de ontwikkeling van theorieën over het vochttransport in een onverzadigde bodem.

Een moderne bepalingswijze van het vochtgehalte van de bodem in situ maakt gebruik van de verstrooiing van snelle neutronen door de kernen van waterstofatomen. De hoeveelheid door overdracht van energie aan de waterstofkernen ontstane langzame neutronen wordt in de buurt van de bron met een daarvoor geschikt type Geiger-Müllerteller gemeten en vormt een maat voor de hoeveelheid aanwezige waterstofkernen, waarvan de meeste deel uitmaken van de watermoleculen. Met behulp van gamma-stralen is het mogelijk het volumegewicht van de bodem in situ te meten.

Verschillende principes uit de mechanica van plastische media vinden toepassing bij het reologische onderzoek van gronden ten behoeve van de studie van de grondbewerking.

Bij het onderzoek over verstuiving van grond in de windtunnel wordt voor het meten van de windsnelheid gebruik gemaakt van Pitot-buizen. Hiermee wordt het verschil tussen de stuwdruk en de statistische luchtdruk bepaald, waaruit met behulp van de wet van Bernoulli de windsnelheid kan worden berekend. De omrekening van de op 13 cm hoogte gemeten snelheden in die op de standaardhoogte van 6 m gebeurt met de formule voor een logaritmisch windsnelheidsprofiel. Het Magnus-effect, d.i. de opwaartse kracht die een roterende zandkorrel ondervindt in een horizontale luchtstroom, speelt een belangrijke rol bij de winderosie.

Het profijt dat de fysica tot dusver van het onderzoek van de natuurkundige bodemvruchtbaarheid heeft gehad, zal niet groot geweest zijn. Concrete voorbeelden zijn ons niet bekend, maar het is denkbaar dat de theoretische behandeling van warmte- en waterbeweging in de bodemfysica van nut is geweest voor de oplossing van warmte- en watertransportproblemen bij poreuze, gelaagde media in de technische natuurkunde. Ook zou de wijze van aanpak van multifactoriële vraagstukken in het vruchtbaarheidsonderzoek betekenis kunnen hebben voor de biofysica en de meteorologie.

Samenvattend kan dus gezegd worden dat de *wisselwerking* tussen natuurkunde en vruchtbaarheidsonderzoek hoofdzakelijk éénzijdig en indirect is geweest.

Er is vrijwel alleen sprake van een invloed van de natuurkunde op het vruchtbaarheidsonderzoek via de bodemfysica en via op fysische principes berustende meetmethoden.

De problematiek van de natuurkundige vruchtbaarheid van de bodem is zodanig dat het desbetreffende onderzoek een eigen weg moet vinden. Het kan daarbij enerzijds gesteund worden door het zuivere bodemfysische onderzoek en anderzijds met vrucht gebruik maken van de ervaringen die het vruchtbaarheidsonderzoek bij de oplossing van multifactoriële problemen heeft opgedaan.

Het onderzoek van de natuurkundige bodemvruchtbaarheid is nog jong, maar begint praktische resultaten op te leveren, waarvoor in binnen- en buitenland veel belangstelling bestaat. Moge het in de toekomst over voldoende middelen beschikken om hiermee te kunnen voortgaan!

Literatuur

BAVER, L. D. Soil physics (New York 1956).

BOEKEL, P. and PEERLKAMP, P. K. Soil consistency as a factor determining the soil structure of clay soils. Neth. J. Agr. Sci. **4** (1956) 122–125.

BOEKEL, P. De betekenis van geadsorbeerde en oplosbare kationen voor de structuur van kleigronden. Landbk. Tijdschr. **70** (1958) 775–789.

BOEKEL, P. De invloed van structuurregelaars op grond en gewas. Landbk. Tijdschr. **71** (1959) 529–537.

BOEKEL, P. Betekenis van de kalktoestand voor de bodemstructuur op zware kleigrond. Kalk, voorlichtingsblad no. 3 (1963a) 8 blz.

BOEKEL, P. Invloed van de zwaarte op enkele fysische eigenschappen van de grond. Landbk. Tijdschr. **75** (1963b) 507–518.

BOEKEL, P. Soil structure and plant growth. Neth. J. Agric. Sci. **11** (1963c) 120–127.

BOEKEL, P. Effect of organic matter on the structure of clay soils. Neth. J. Agric. Sci. **11** (1963d) 250–263.

BOEKEL, P. Bodemstructuur en plantengroei. Bodem no. 51 (1963e) 3–9.

BRUIN, P. en VISSER, W. C. Het werk van S. B. Hooghoudt in dienst van het landbouwkundig onderzoek. Landbk. Tijdschr. **65** (1953) 650–657.

DEEMTER, J. J. VAN. Theoretische en numerieke behandeling van ontwaterings- en infiltratiestromingsproblemen. Versl. Landbk. Onderz. **56**.7 (1950) 67 blz.

ERNST, L. F. Grondwaterstromingen in de verzadigde zone en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen. Versl. Landbk. Onderz. **67**.15 (1962) 189 blz.

FERRARI, TH. J. Stikstofbemesting en bodemfactoren. Landbk. Tijdschr. **61** (1949) 111–120.

FERRARI, TH. J. Een onderzoek over de stroomruggronden van de Bommelerwaard met als proefgewas de aardappel. Versl. Landbk. Onderz. **58**.1 (1952) 132 blz.

FERRARI, TH. J. Auswertung biologischer Kettenprozesse mit Hilfe von Pfadkoeffizienten. Biometr. Zeitschr. **6** (1964) 89–102.

FERWERDA, J. D. Over de werking van stalmest op bouwland II. Versl. Landbk. Onderz. **57**.16 (1951) 75 blz.

GIESECKE, F. Geschichtlicher Überblick über die Entwicklung der Bodenkunde bis zur Wende des 20. Jahrhunderts. Handb. d. Bodenlehre I (Berlin 1929) 28–86.
KEEN, B. A. The physical properties of the soil (London 1931).
KNOTTNERUS, D. J. C. Winderosie en haar bestrijding. Bodem no. 57 (1964) 2–8, no. 58 (1964) 10–20.
KUIPERS, H. Een streekonderzoek gericht op de factoren bodemstructuur en stikstofbemesting. Versl. Landbk. Onderz. **61.9** (1955) 79 blz.
KUIPERS, H. A reliefmeter for soil cultivation studies. Neth. J. agric. Sci. **5** (1957) 255–262.
KUIPERS, H. Pore space on three experimental fields with different ploughing depths. Meded. Landbouwhogeschool Gent **24** (1959) 146–153.
KUIPERS, H. and OUWERKERK, C. VAN. Total pore space estimations in freshly ploughed soil. Neth. J. agric. Sci. **11** (1963a) 45–53.
KUIPERS, H. and OUWERKERK, C. VAN. Invloed op de grond van drie jaar vroeg of laat ploegen. Landbouwvoorl. **20** (1963b) 43–49.
LIEBIG, J. VON. Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie (1840).
LOEFF, J. A. VAN DER. Publikaties en rapporten van dr. S. B. Hooghoudt. Lit.lijst no. 12, Centrum Landbouwdoc. ('s-Gravenhage 1954).
OUWERKERK, C. VAN and SCHAKEL, P. An integrating reliefmeter for soil tillage experiments. J. Agric. Engng. Res. (1965) ter perse.
PEERLKAMP, P. K. A visual method of soil structure evaluation. Meded. Landbouwhogeschool Gent **24** (1959) 216–221.
PEERLKAMP, P. K. and BOEKEL, P. Moisture retention by soils. Versl. Meded. Comm. Hydrol. Onderz. T.N.O. **5** (1960) 122–138.
SCHÜBLER, G. Grundsätze der Agrikulturchemie in näherer Beziehung zu land- und forstwirtschaftlichen Gewerben (Leipzig 1832).
SCHUMACHER, W. Die Physik und ihrer Anwendung auf Agrikultur und Pflanzenphysiologie (Berlin 1864).
VISSER, W. C. Pore space determination as a field method. Soil Sci. **44** (1937) 467–479.
VISSER, W. C. Opmerkingen over de methodiek en de resultaten van een structuurproef. Landbk. Tijdschr. **51** (1939) 215–228.
VISSER, W. C. Zwaarte van den grond, kalkgehalte en bodemstructuur. Landbk. Tijdschr. **53** (1941a) 495–503.
VISSER, W. C. Gewas, bemesting en bodemstructuur. Landbk. Tijdschr. **53** (1941b) 546–555.
WARINGTON, R. Physical properties of soil (Oxford 1900).

F. VAN DER PAAUW

De taak van de biologen

Het landbouwkundige onderzoek dat aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid wordt verricht, is een vorm van ecologie. De cultuurplant wordt bestudeerd in wisselwerking met de omgeving op proefvelden of onder meer gecontroleerde omstandigheden in potten, lysimeters e.d. Uit de aard der zaak wordt de grootste aandacht besteed aan de bodemkundige factoren van het milieu.

In verschillende gevallen is de medewerking van biologen voor een goede voortgang van dit onderzoek onontbeerlijk. De behandeling van problemen blijft onbevredigend, zolang geen inzicht in het mechanisme is verkregen. Dit inzicht kan noodzakelijk zijn voor een doelmatige toepassing van de verworven kennis in de praktijk van de landbouw.

Het spreekt daarom vanzelf dat de vraagstukken die in het instituut centraal staan, de keuze van de door biologen behandelde onderwerpen in belangrijke mate hebben bepaald. Bij het voormalige Rijkslandbouwproefstation waren dit niet uitsluitend problemen van bodemvruchtbaarheid, maar wel namen deze van de aanvang af een grote plaats in. Toen waren voornamelijk bekalking en bemesting aan de orde. Pas later zijn ook waterhuishouding en fysische toestand van de grond in behandeling genomen.

Bij deze herdenking willen wij alleen biologisch werk onder de aandacht brengen, dat tot ondersteuning van het onderzoek over de vruchtbaarheid heeft bijgedragen. Dit heeft het nadeel dat ander op zichzelf belangrijk werk onbesproken zal blijven. ZIJLSTRA (1917–1939) [1]), destijds directeur van de botanische afdeling van het landbouwproefstation, heeft niet de bodemvruchtbaarheid, maar de plant centraal gesteld. De morfologische en anatomische ontwikkeling van graanplanten en hun wortelstelsels (1922, 1939), de aardappelplant en het aardappelmeel (1941, 1942), winterhardheid (1933, 1935, 1936a), jarowisatie (1936b) en het waterverbruik van grassoorten (1938) waren de belangrijkste objecten van

[1]) Tijdvak waarin de onderzoeker aan de instelling verbonden was.

onderzoek. Er werd eveneens een begin gemaakt met de botanische analyse van grasland, waarop DE VRIES heeft voortgebouwd (1928, 1935b, 1937, 1940). Hetzelfde geldt voor het werk van FEEKES (1936–1938), die als onderzoeker bij de Technische Tarwe Commissie aan het proefstation gedetacheerd voor de tarwecultuur belangrijk ecologisch werk heeft verricht (1941).

Het recente werk van VAN DRIEL (1958–heden) over de veranderingen in de biochemie van de plant bij voeding met ijzer in de vorm van chelaten wordt behandeld in het artikel van DE GROOT.

Er kan onmogelijk naar volledigheid worden gestreefd. Wij beogen slechts de belangrijke bijdrage van biologisch onderzoek in het geheel van de studie van de bodemvruchtbaarheid in het licht te stellen door enkele opmerkelijke onderzoekingen in herinnering te brengen en iets over het werk van de huidige generatie te vertellen.

Hoewel het specialistische werk in zijn doelstelling door de taak van het instituut bepaald is, is het toch vaak sterk persoonlijk getint. Voor GOEDEWAAGEN (1922–1957) werd de opdracht het wortelstelsel te bestuderen tot een levenstaak die door geen ander op gelijke wijze zou kunnen zijn vervuld. Hij streefde naar begrip van de wisselwerkingen tussen de omstandigheden in de grond, de reacties van de wortels en hun verband met de bovengrondse groei. Kenmerkend voor hem is de synthetische beschouwing van de resultaten (1942, 1952a en b, 1955a en b).

In de eerste tijd heeft GOEDEWAAGEN overwegend in het veld gewerkt. De destijds krappe personeelsbezetting noopte hiertoe. Hieraan dankte hij zijn ruime kennis van de morfologie van het wortelstelsel onder veldomstandigheden. Typische methoden van wortelonderzoek, zoals de bekende naaldenplankmethode, zijn aanvankelijk ontleend aan de literatuur (afb. 1).

GOEDEWAAGEN beschreef de wortelstelsels van landbouwgewassen onder "normale" en afwijkende omstandigheden. Zodoende werd begrip verkregen van de mogelijkheden van elk gewas.

Een volgende stap was afwijkingen in de plantengroei uit waarnemingen aan de wortels te verklaren. Het is echter geen geringe opgave om deze op de juiste wijze te interpreteren. Het is waar dat een in breedte en diepte goed ontwikkeld wortelstelsel terecht als gunstig wordt beschouwd. Het biedt de plant de mogelijkheid alle aanwezige bronnen van voedingsstoffen en vocht te benutten en verleent de grootst mogelijke bescherming tegen de ongunst van het weer. Toch is het geen absolute voorwaarde voor goede groei. Een zeer oppervlakkig ontwikkeld wortelstelsel van koolzaad op de nog onrijpe, maar wel zeer vruchtbare grond van de pas drooggelegde Noordoostpolder gaf een leerzaam voor-

beeld, hoe weinig wortels onder bepaalde omstandigheden voldoende kunnen zijn voor een uitstekend gewas. De waarnemingen aan het wortelstelsel zullen dus altijd in verband moeten worden gezien met de omstandigheden van het milieu, waarin zij voorkomen. Maken deze een voldoende ontwikkeling onmogelijk, dan kunnen zij oorzaak zijn van een slechte ontwikkeling van het bovengrondse gewas, al behoeft dat niet noodzakelijk zo te zijn. Hiervan zijn verscheidene voorbeelden door GOEDEWAAGEN beschreven (1952a). Als door de aanwezigheid van een ondoordringbare laag in de ondergrond slechts een beperkte hoeveelheid grond voor beworteling toegankelijk is, en dus o.a. de vochtvoorziening van het gewas beperkt is, heeft dit ook duidelijke gevolgen voor de groei van het bovengrondse gedeelte (afb. 2).

Afwijkingen in de wortelontwikkeling kunnen omgekeerd storingen in de opbouw van het bodemprofiel aan het licht brengen. De vraag komt dan op, waarom de laag ondoordringbaar was of welke omstandigheden in het milieu een in andere gevallen misschien wel doorwortelbare laag tijdelijk voor wortelgroei ongeschikt hebben gemaakt. Het antwoord kan van belang zijn voor de uitschakeling van in de praktijk ondervonden bezwaren.

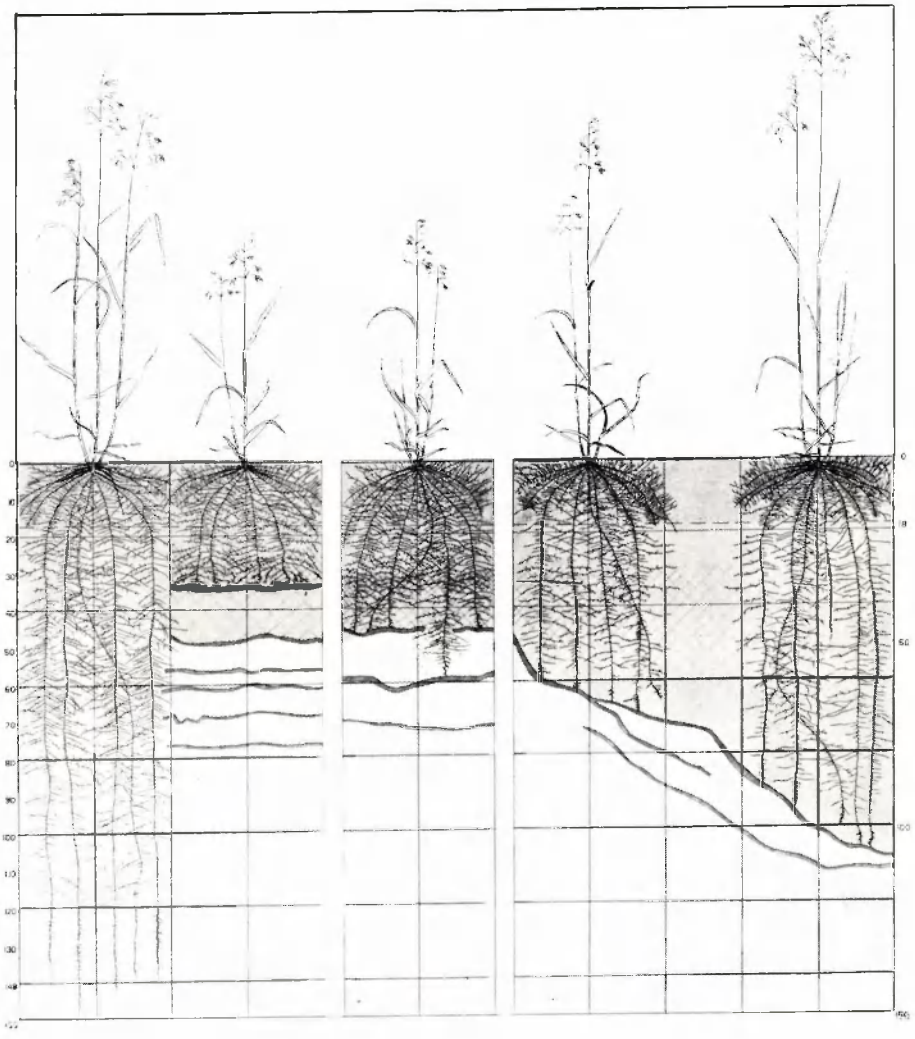
In het veld verrichte waarnemingen zijn niet steeds toereikend om een verschijnsel te verklaren. Hiervoor is het noodzakelijk de omstandigheden te vereenvoudigen. Onderzoek naar de invloed van voedingsstoffen is daarom bij voorkeur verricht in bakken of potten met meer of minder vergaande beheersing van milieufactoren. Om de invloed van een voedingsstof op de ontwikkeling van de wortels te bestuderen, werd fosfaat gekozen (1932, 1933). Het is bekend dat dit zich in de grond weinig verplaatst en een sterke werking heeft. De vraag was, hoe de aanwezigheid van een voedingsstof invloed heeft op de wortelgroei op de plaats waar het contact plaatsvindt en hoe het wortelstelsel in zijn geheel beïnvloed wordt.

Het bleek dat de hoge concentratie van fosfaat in de diffusiezone van een fosfaatdeeltje aanleiding geeft tot de vorming van talrijke zijwortels. De wortelvorming wordt echter ook bevorderd op plekken waar geen fosfaat aanwezig is. Dit bleek in potten die voor de helft tot de bodem toe waren gevuld met grond, waaraan fosfaat was toegevoegd, terwijl de andere helft onbemeste grond bevatte. De betekenis hiervan is duidelijk: een plaatselijk rijke voeding met fosfaat verbetert ook de beworteling in delen van het bodemprofiel, die minder van deze stof bevatten, maar die wel in ander opzicht voor de plant belangrijk zijn, zoals b.v. een vochthoudende ondergrond.

De ongelijke verdeling van de meststof bleek de plant zelfs tot voordeel te strekken. Uit een slechts voor de helft bemeste pot werd meer fosfaat onttrokken dan uit een pot, waarin dezelfde hoeveelheid gelijkmatig was verdeeld. GOEDE-



Afb. 1.
Al omstreeks 1912 werd de naaldenplankmethode voor
het onderzoek
van het wortelstelsel door
ir. J. G. MASCHHAUPT toegepast.



Afb. 2.
Haverplanten afkomstig van goede, minder goede en slechte plekken
op een zandgrond in verband met meer of minder diepe ligging van de oerbanken
(volgens GOEDEWAAGEN).

WAAGEN ontdekte hiermee het belangrijke verschijnsel van de "compensatie". Deze is in de eerste plaats morfologisch; het worteloppervlak is ter plaatse sterker ontwikkeld, maar het is niet uitgesloten dat de wortel op de fosfaatrijke plek ook fysiologisch meer presteert. Deze reacties liggen ten grondslag aan de in de praktijk toegepaste methoden van pleksgewijze bemesting, die niet alleen voor fosfaat, maar ook voor kali en soms ook voor stikstof effectiever blijkt te zijn dan een gelijkmatige breedwerpige verdeling. Veel later kon door DE WIT (1953) in zijn theorie over de pleksgewijze bemesting op deze voorstellingen worden voortgebouwd.

Het proces van de opneming van water is van groot belang in het planteleven. De opneming van voedingsstoffen is hiermee nauw verbonden. Zo kon bij een proef met mosterd in diepe kisten worden vastgesteld dat de diepere wortels, wegens de vaak gunstige vochttoestand in de ondergrond, daaraan veel voedingsstoffen onttrekken, indien deze voorhanden zijn. Het is daarom nuttig te weten hoe en waar de wortels het water opnemen, welke betekenis aan de verschillende vormen van bodemwater toekomt en welke factoren voor de uitbreiding van het wortelstelsel van belang zijn.

De praktisch belangrijke kanten van dit toegepaste botanische onderzoek worden gedemonstreerd door een onderzoek van GOEDEWAAGEN met aardbeien (1952a). Het onderzoek te velde is gekoppeld met een werkwijze, waarbij de omstandigheden grotendeels in de hand werden gehouden.

Aanleiding tot dit onderzoek was het optreden van verdroging in Kennemerland als gevolg van de tunnelbouw bij Velsen en een daardoor gewijzigde stand van het grondwater. Bij cultuur in bakken bleek dat de aardbeiplant een geschikte grond diep doorwortelt. De hoogte van de grondwaterstand beperkt de diepte, omdat de wortels van deze plant niet kunnen binnendringen in de bij het freatische vlak aansluitende capillaire zone, waarin de poriën met water zijn gevuld. De grondwaterstand kan ook te diep zijn, waardoor de planten niet over voldoende water beschikken. Beide gevallen komen in de praktijk voor.

Een complicatie ontstaat, als de grondwaterstand in de winter hoog is, waardoor vele wortels door gebrek aan lucht afsterven. Bij snelle daling van de waterspiegel kan het voorkomen, dat het wortelstelsel zich niet vlug genoeg herstelt, waardoor dit het grondwater niet meer bereiken kan, zodat verdroging volgt. Goede ontwatering in de winter is dus nodig, opdat de aardbeien in de voorzomer beter tegen droogte bestand zullen zijn.

Het is wel zeker dat bij hoge waterstand zuurstofgebrek, overmaat koolzuur en structuurgebreken een rol spelen, waardoor de voeding ernstig gestoord kan zijn. Op een proefveld, waar de grondwaterstand gevarieerd werd, kwamen grote verschillen in bewortelingsdiepte voor. Er traden ook verschillen in de

voeding met stikstof aan de dag. GOEDEWAAGEN toonde in proeven in cilinders aan dat sterkere voeding met stikstof maar ook met fosfaat de nadelen van een hoge waterstand voor een groot deel compenseert.

Het werk van GERRETSEN (1919–1957) is in verschillende opzichten een voorbeeld geweest voor het belang van biologisch onderzoek in een landbouwkundig milieu. Het is gekenmerkt door het volgen van speelse invallen, het leggen van verband tussen uiteenlopende verschijnselen en door experimentele vaardigheid. Zeer fraai is b.v. de methode planten in steriele grond te kweken, waarbij de spruiten normaal in de lucht groeien. Bij een onderzoek over de invloed van bodembacteriën op de opneembaarheid van moeilijk oplosbare fosfaten werd hiervan gebruik gemaakt (1948). Het werk van GERRETSEN heeft belangrijk bijgedragen tot het inzicht in de microbiologische kant van landbouwkundige vraagstukken (o.a. 1939, 1940, 1949).

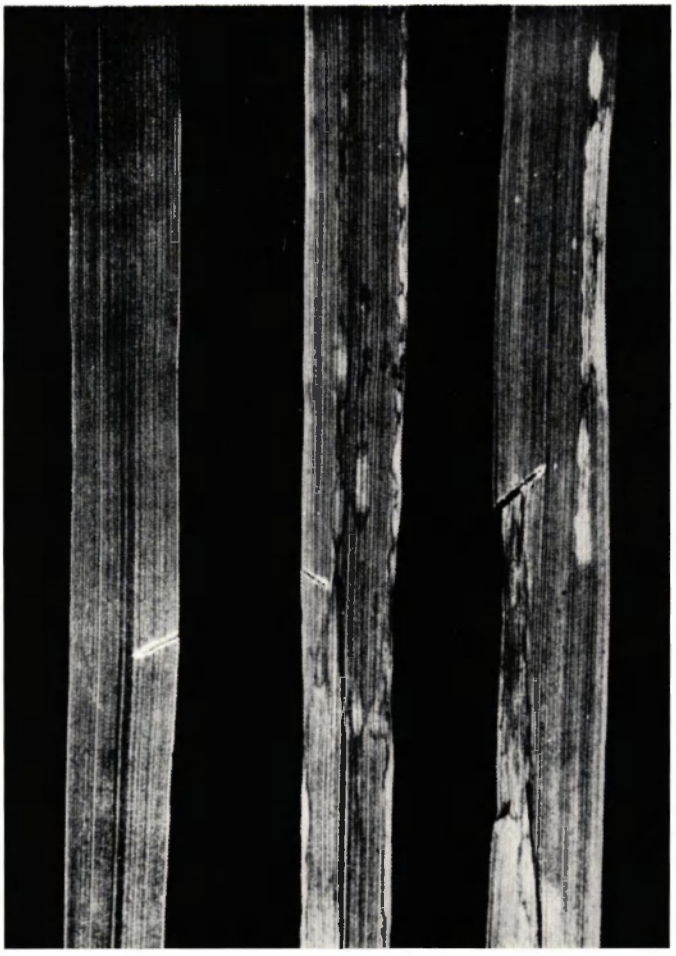
Omtrent het wezen en de oorzaken van de "veenkoloniale haverziekte" bestond in het begin van de jaren dertig nog grote onzekerheid; nog in 1934 heeft een artikel van MASCHHAUPT onder de titel: "Das Rätsel der Dörrfleckenkrankheit" (d.i. veenkoloniale haverziekte) het licht gezien. De ziekte kwam voor op kalkhoudende klei- en overkalkte zandgronden. Hoewel de ziekte door bemesting met mangaansulfaat kan worden voorkomen, waren er verschijnselen die op het eerste gezicht niet als mangaangebrek konden worden geïnterpreteerd. Verschillende wezen in de richting van een belangrijke invloed van microorganismen op het optreden van deze bodemziekte. Zo blijven planten gezond op gesterileerde grond, ondanks een laag gehalte aan mangaan. Ervan uitgaande dat zowel mangaan als microben in het spel zijn, heeft GERRETSEN gepoogd inzicht in dit vraagstuk te krijgen (1936).

Een zorgvuldige observatie van de ziekte gaat vooraf. "Haverzieke" planten zijn kleiner; het wortelstelsel is weinig ontwikkeld. De worteltoppen zijn in meer of mindere mate verrot, een waarneming die voor het verdere onderzoek van groot belang is geweest. De geringe groei wordt toegeschreven aan een door mangaangebrek verzwakte fotosynthese. Voor de haverziekte kenmerkend is een chlorose van de bladen, gevolgd door het optreden van bladvlekken die later indrogen. Op deze plaats knikken de bladen om. Deze opvallende kenmerken zijn echter niet essentieel; zij kunnen uitblijven, terwijl toch de oogstdepressie belangrijk is.

De medewerking van micro-organismen bij het ontstaan van de ziekte werd met zekerheid aangetoond door sterilisatie van de grond met formaline, die in tegenstelling tot andere sterilisatiemiddelen geen directe invloed heeft op de beschikbaarheid van mangaan in de grond. Infectie met minieme hoeveelheden



Afb. 3.
Worteltoppen van niet steriele mangaanarme haverplanten in verschillende stadia van aantasting. Bij beginnende aantasting (links) ontstaat een insnoering tussen meristeem en strekkingszone, die een storing in de normale strekking aangeeft (volgens GERRETSEN).



Afb. 4.
Optreden van de visuele kenmerken van de veenkoloniale haverziekte, waaruit duidelijk blijkt dat de bladvlekken ontstaan door het opstijgen van schadelijke stoffen, die bij de microbiologische aantasting van het wortelstelsel zijn gevormd (volgens GERRETSEN).
Links. Gezond blad, een maand na de insnijding.
Midden. Ziek blad, idem, onder insnijding bladvlekken aan weerszijden van het blad, boven insnijding alleen rechts.
Rechts. Ziek blad, idem, onder insnijding bladvlekken links, boven insnijding rechts.

haverzieke grond of met uit zieke worteltoppen geïsoleerde bacteriecultures doet de ziekte opnieuw ontstaan. Een lage temperatuur van de grond (ook in de praktijk waargenomen) of toevoeging van een zwak desinfectans bedwingt de ziekte.

De geïsoleerde bacteriestammen zijn niet parasitair; zij behoren tot de groep van saprofytische bacteriën die echter op de verzwakte wortels een levenskans hebben (afb. 3).

De plant ondervindt nadeel door het afsterven van de wortels, wat uiteraard de opneming van mangaan nog verder belemmert. Van meer belang voor het uiterlijke verschijnsel van haverziekte is het ontstaan van ammoniak in de rottende delen. Opneming van deze stof door de plant blijkt verantwoordelijk te zijn voor het ontstaan van de voor deze ziekte zo typische bladvlekken. Door licht aangetaste, afgesneden bladen fenolrood te laten opzuigen, kunnen plekken met alkalische reactie in het bladweefsel worden aangetoond. Hier ontstaan later de zichtbare vlekken die door nekrose worden gevolgd. Met behulp van ondiepe insnijdingen in het blad kon worden aangetoond, dat de bladvlekken alleen optreden op plaatsen, waar de waterstroom niet verbroken is; boven de insnijding blijft het blad gezond (afb. 4). De verschijnselen zijn dus duidelijk secundair.

Een andere invloed van micro-organismen die niet minder belangrijk is, wordt uitgeoefend op de beschikbaarheid van het in de grond aanwezige mangaan. Dit kan door microben in onoplosbaar mangaandioxide worden omgezet. Het verschijnsel is sterk afhankelijk van de pH. Het treedt dus aan het licht als verschillen in pH voorkomen, zoals bij de overgang van zand- naar kalkhoudende kleigronden. Door toevoeging van kleine hoeveelheden klei aan zand wordt de ziekte erger; bij grotere hoeveelheden neemt deze weer af als gevolg van het hogere mangaangehalte van de klei.

De invloed van de pH bij dit proces werd door GERRETSEN bestudeerd in glazen schalen, waarin een kleine hoeveelheid zandgrond waaraan mangaan was toegevoegd, ingebed werd in een agar gel, waarin niet steriele klei gesuspendeerd was. Na enige tijd vormt zich om het zand een bruine ring van neergeslagen mangaandioxide. Deze ringvorming treedt alleen op in het pH-H_2O-traject 6,3 tot 7,8 met een maximum bij 7,0. Dit komt ongeveer overeen met het traject, waarin mangaangebrek in de praktijk kan voorkomen. Vermeldenswaard is dat hiermee ook de oorzaak van de indertijd onverklaarbare waarneming van MASCHHAUPT dat haverziekte niet alleen door verzuring, maar ook door zware bemesting met gebluste kalk kan genezen worden, gevonden is. De pH stijgt namelijk in dit geval tijdelijk zo hoog, dat geen microbiologische precipitatie van mangaan optreedt.

Later is door GERRETSEN veel aandacht gegeven aan de betekenis van mangaan bij oxidatie-reductieprocessen, die met de fotosynthese samengaan (1956). Deze

bleek bij verschillende haverrassen ongelijk door mangaangebrek te worden geremd. In overeenstemming hiermee hebben deze rassen een verschillende gevoeligheid voor haverziekte. De worteltoppen worden bij de minder gevoelige rassen niet aangetast.

VAN ITALLIE (1931–1939) was de derde onderzoeker die reeds voor de oorlog in het raam van het onderzoek over de plantevoeding voortreffelijk werk verrichtte. Als scheikundige aangesteld met de opdracht de mogelijkheden van het chemische gewasonderzoek na te gaan (1938), heeft hij zich bewogen op het gebied van de samenstelling van het gewas en de afwijkingen in de groei ontstaan onder invloed van het aanbod en de onderlinge antagonismen van de ionen (1935, 1937a, b en d, 1938, 1939, 1948).

Het door GERRETSEN met zoveel succes behandelde vraagstuk van de veenkoloniale haverziekte vond een tegenhanger in de studie van VAN ITALLIE over de oorzaken van de "Hooghalense ziekte", die in tegenstelling tot de eerste juist op sterk zure zandgronden voorkomt. Het is interessant te zien, hoe dit vraagstuk door een scheikundige met gevoel voor biologie is aangevat (1936, 1937c).

VAN ITALLIE kon een ruim gebruik maken van het aanwezige, rijke materiaal van chemisch gewasonderzoek, dat op proefvelden was verricht. Aangevuld met waarnemingen in de praktijk en met resultaten van eenvoudige pot- en veldproeven leerde dit hem dat ook voor deze afwijking een samenspel van factoren verantwoordelijk is. Weliswaar werd de ziekte in de praktijk reeds vrij effectief door middel van bekalking bestreden, maar ook de vorm waarin de stikstof wordt toegediend, de bemesting met kali en vooral die met magnesium, hebben grote invloed. Er bestaat een duidelijk verband tussen de scheikundige samenstelling van het gewas en het voorkomen van kenmerkende symptomen, mits het ontwikkelingsstadium van de plant in acht wordt genomen, waarvoor het gehalte aan stikstof als maat dient. Toevoeging van magnesium verhoogt het gehalte aan deze stof in de plant en heeft steeds een genezende werking. Kalk en chilisalpeter hebben die ook, hoewel toevoeging hiervan het magnesiumgehalte niet altijd verhoogt. VAN ITALLIE merkte op, dat in deze gevallen het verschil tussen de sommen van de opgenomen kat- en anionen groter is. Dit leidde hij af uit de gewijzigde alkaliteit van de plantenas, die als een zij het wat ruwe maat voor dit verschil kan worden beschouwd. Het verschil wordt bepaald door de pH en de vorm van de N- en K-bemesting. De voorlopige conclusie luidt dat de ziekte moet worden beschouwd als magnesiumgebrek bij ongunstige ionenverhoudingen.

Het kan niet onopgemerkt blijven dat VAN ITALLIE hier gebruik gemaakt heeft van een factor, nl. het verschil tussen opgenomen kat- en anionen, die een kwart

eeuw later weer opduikt bij onderzoek aan het Instituut voor Biologisch en Scheikundig Onderzoek van Landbouwgewassen en daar van overwegende betekenis wordt geacht voor de regeling van de stofproduktie.

In systematische potproeven zijn nogmaals de factoren nagegaan, die de opneming van magnesium en het optreden van ziektesymptomen bepalen. De werking van enkele stikstofvormen is met en zonder toegift van magnesium bij verschillende kalivoeding op zandgrond onderzocht.

De opbrengsten zijn het laagst bij uitsluitend gebruik van de ammoniumen het hoogste bij de nitraatvorm. Dit gaat samen met verschillen in magnesiumgehalte, maar vooral in alkaliteit van de as. Kalium vermindert het gehalte aan magnesium en verlaagt de opbrengst.

In een andere proef zijn zure zandgronden zowel met calciumcarbonaat als met magnesiumsulfaat behandeld. Er komen gevallen voor waarin kalk, andere waarin magnesium de gunstigste werking had. In een aparte Ca-Mg-proef is aangetoond, dat naarmate de gift van calciumcarbonaat stijgt de behoefte aan magnesium lager is. Bij toevoeging van magnesium worden de gebrekssymptomen opgeheven, maar de groei is bij lage pH toch geringer. VAN ITALLIE wijst op de mogelijkheid dat ook andere factoren (b.v. aluminium) voor de "zuurschade" verantwoordelijk zijn.

Met dit onderzoek was zeker nog niet het laatste woord gesproken, waarvan VAN ITALLIE zich wel bewust was. Toch bestond er destijds in Groningen reeds een uitgebreide kennis van de eigenlijke bestanddelen van het "pH-complex", voordat dit in de jaren veertig door WALLACE en de zijnen in Long Ashton aan een intensief onderzoek werd onderworpen. Het werk van GERRETSEN en VAN ITALLIE heeft daarnaast zijn waarde behouden.

De al te starre voorstellingen over de overwegende betekenis van de basentoestand van de grond, die onder invloed van het landbouwkundige onderzoek in het toenmalige Rijkslandbouwproefstation waren ontstaan (de "kalktoestandswet"), zijn niet in het minst door deze onderzoekingen uit de weg geruimd.

Het ontbreken van een mogelijkheid in die tijd de Mg- en Mn-toestand van de grond door middel van eenvoudig grondonderzoek te bepalen, heeft mogelijk in de hand gewerkt dat andere wegen zijn gezocht en o.a. naar het middel van het chemische gewasonderzoek is gegrepen. De ontwikkeling van een onderzoek waaraan door velen wordt deelgenomen, verloopt nimmer langs strakke lijnen, daarvoor is de aard van de onderzoekers te verschillend. Het naast en door elkaar werken van verschillende richtingen, waarvan de resultaten elkaar beïnvloeden, kan als een verrijking worden beschouwd. Dit treft vooral als wij overzien welke invloed het werk van de botanicus GOEDEWAAGEN, de micro-

bioloog GERRETSEN en de chemicus VAN ITALLIE op de ontwikkeling van een toch wel overwegend landbouwkundige instelling heeft gehad.

Tot de groep van onderzoekers die reeds voor de oorlog als bioloog tot het onderzoek heeft bijgedragen, behoort ook D. M. DE VRIES (1929–1939). Zijn werk over de botanische samenstelling van het grasbestand zal misschien in de eerste plaats tot het onderzoek van het grasland worden gerekend, wat geaccentueerd is door zijn overplaatsing in 1939 naar het toenmalige CILO, later IBS te Wageningen. Toch ontbreken hierin allerminst de kenmerken van het onderzoek van de bodemvruchtbaarheid. De botanische samenstelling van het grasland is in sterke mate afhankelijk van de eigenschappen van de grond en van de bemesting en het was juist zijn taak de samenhang daartussen vast te stellen. De plantengemeenschap die aangetroffen wordt, verschaft informatie over talrijke eigenschappen van de grond. Aansluitend aan zijn Groningse tijd waarin vooral de methode van het botanische onderzoek was ontwikkeld (1940) kwam DE VRIES tot de onderscheiding van minnende, mijdende en neutrale soorten ten opzichte van de voedingsfactoren zoals stikstof, fosfaat en kali en de pH (1943). Het blijkt dat de basis van belangrijk later werk reeds te Groningen is gelegd.

Parallel hiermee onderzocht GOEDEWAAGEN (1941b) de afhankelijkheid van de samenstelling van de onkruidflora van bouwland van de pH. Zijn indeling van de kruiden in basi- en zuurfrequente soorten maakte het zelfs mogelijk de pH van de grond onder bepaalde omstandigheden aan de hand van de voorkomende soorten vrij nauwkeurig te bepalen. Dit onderzoek, dat mede wegens het huidige intensieve gebruik van chemische onkruidbestrijdingsmiddelen niet van directe praktische betekenis is geworden, heeft toch wel overtuigend aangetoond, hoe gevoelig het plantebestand de eigenschappen van de grond registreert.

Het feit dat wij van GOEDEWAAGEN en GERRETSEN slechts onderzoekingen hebben genoemd die reeds voor de oorlog hebben plaatsgevonden, betekent allerminst dat zij ook niet later belangrijke bijdragen hebben geleverd. Voor de vermelding van het recentere onderzoek willen wij ons echter tot de jongere krachten beperken.

Het morfologische wortelonderzoek is door SCHUURMAN(1947–heden) overgenomen. Door hem wordt nog meer de voorkeur aan vereenvoudigde, goed definieerbare proefomstandigheden gegeven. De voortschrijdende ontwikkeling in de probleemstelling maakt dit trouwens noodzakelijk. Onderzoek in cilinders met kunstmatige grondprofielen hebben in het algemeen de voorkeur boven onderzoek in het veld waar de omstandigheden slecht reproduceerbaar zijn (1955a). Grote zorg wordt besteed aan de opbouw van deze profielen, waarin

doelbewust bepaalde variaties worden aangebracht. Daarbij wordt wel nagegaan, of de resultaten van dergelijke cilinderproeven bevestiging vinden in de praktijk. Gesproken zou hier kunnen worden van "experimentele morfologie".

De verdienste van SCHUURMAN, wat betreft de technische vervolmaking van de methoden van het wortelonderzoek, is groot. Het spoelen van bewortelde profielen is verbeterd en gemechaniseerd, zodat het onderzoek van het wortelstelsel thans bij het overgrote deel van gronden en gewassen kan plaatsvinden. Verduurzaming van vrij geprepareerde wortelstelsels, hetzij als lakprofiel hetzij in gedroogde toestand tussen plastic vellen gekleefd, vergroot de mogelijkheden van bestudering. Bijzonder elegant is het prepareren naast elkaar van lakprofielen en de bijbehorende wortelstelsels van eenzelfde naaldenplankmonster. Aan de fijnere structuur van de wortels wordt meer aandacht gegeven. De grondboor wordt gebruikt om de wortelmassa in verschillende bodemlagen te bepalen; een schattingsmethode is uitgewerkt ter vervanging van het tijdrovende spoelen van de boormonsters (1955b, 1965b).

Een en ander heeft tot gevolg gehad dat het bewortelingsonderzoek als aanvulling van ander onderzoek grotere nauwkeurigheid en meer mogelijkheden van toepassing heeft gekregen (1957). Een voorbeeld van een geslaagde toepassing wordt gevonden in een samenwerking met BUTIJN (1957), waarbij aangetoond werd dat een verschillende behandeling van de grond in boomgaarden verstrekkende gevolgen heeft voor de verdeling van de wortels. Bij een boomgaard waar de grond zwart gehouden of met stro bedekt is, treft men relatief veel meer boomwortels aan in de bovenste grondlagen dan bij een boomgaard in gras. Dit vindt zijn weerslag in verschillen van produktiviteit.

Door de studie van de samenstelling van het bodemprofiel op de ontwikkeling van het wortelstelsel wordt de betekenis van de fysische geaardheid van verschillende bodemlagen steeds duidelijker onderkend. Vooral uit het onderzoek over de groei van wortels in kleigronden die rusten op een ondergrond van zand, bleek met grote waarschijnlijkheid de mechanische weerstand, die het zand door zijn dichtheid oplevert, een van de belangrijkste redenen van de onbevredigende beworteling (1965a).

Ongeveer gelijktijdig is het natuurkundige onderzoek van de grond aan het instituut op gang gekomen. Het is begrijpelijk dat dit ertoe heeft bijgedragen, dat ook van botanische zijde hieraan meer aandacht is gegeven. In aansluiting aan werk van GOEDEWAAGEN heeft SCHUURMAN zich beziggehouden met de invloed van verschillen in dichtheid van de grond op de wortels. Overgangen in dichtheid van de grond komen veelvuldig voor, hetzij zoals reeds werd genoemd van de bouwvoor of een humeuze bovenlaag naar de ondergrond, ofwel in de vorm van laagjes met een andere korrelverdeling in het profiel. De ervaring

leert dat dergelijke overgangen grote invloed kunnen hebben op de verdeling van de wortels; soms vormen zij een belemmering voor de groei, hoewel dit niet voor alle omstandigheden geldt. Voor een doeltreffende verbetering van de bodem is inzicht in het mechanisme van de storing nodig.

De invloed van de dichtheid van de grond is onderzocht in cilinders van 75 cm hoogte en 15 cm diameter. Het humeuze zand is als bouwvoor (0–25 cm) en als ondergrond gebruikt in drie dichtheden, zodat er negen combinaties zijn. Het gewas was haver. De dichtheid is nauwkeurig gedefinieerd; gemakshalve zijn de termen los, vast en zeer vast gebruikt. Het poriënvolume neemt uiteraard af in dichtere lagen; het percentage grove poriën neemt af, dat aan fijne poriën neemt toe. Bij alle dichtheden vindt wortelgroei plaats; deze gaat minder diep naarmate de grond vaster is. De wortels kunnen overgaan in een grond van andere dichtheid. Opmerkelijk is dat de zeer vaste grond wel doorworteld wordt door wortels uit de vaste grond, maar dat dit voor de wortels uit de losse grond niet mogelijk is. SCHUURMAN weet aannemelijk te maken dat het indringen door de mechanische weerstand bepaald is. Deze wordt overwonnen door osmotische krachten, die blijkbaar onvoldoende ontwikkeld kunnen worden door wortels die in de losse (misschien beter genoemd de minst vaste) grond zijn gegroeid.

In een ander onderzoek zijn in het profiel lagen van grofkorrelig zand aangebracht. Bij uitdrogende grond vormt een dergelijke laag een onoverkomelijke hindernis voor het doorgroeien van de wortels, klaarblijkelijk omdat de wijdere capillairen het eerst water verliezen en in de met lucht gevulde ruimte geen diep doordringen van de wortels mogelijk is. Bij verbetering van de vochtvoorziening groeien de wortels vlot door deze laag heen. Betrekkelijk geringe verschillen in de toestand van de grond kunnen dus tot het ene dan wel het andere resultaat leiden. Een grond waarin deze lagen voorkomen, verkeert in een labiele toestand; een verbreking van de lagen door bewerking van de ondergrond is noodzakelijk.

Met de aanstelling van WIERSUM (1955–heden) heeft voor het eerst een plantefysioloog die als zodanig is benoemd, zijn intrede in het instituut gedaan. Ook hij heeft zich aanvankelijk overwegend op het gebied van het wortelonderzoek bewogen, zich daarbij tot taak stellend de werking van elke factor, waarvan een invloed op de ontwikkeling of functie van de wortels wordt vermoed, te onderzoeken. Daartoe wordt deze factor geisoleerd en tot zijn enkelvoudige kenmerken teruggebracht. Deze worden dan in een vereenvoudigd milieu in detail bekeken. WIERSUM bezit de gave het wezenlijke dat aan de veelheid van verschijnselen ten grondslag ligt, te onderkennen. Hij maakt vaak

gebruik van een vrij simpel aandoende, maar daarom niet minder doeltreffende proeftechniek (1957, 1958, 1962a). De beperkte mogelijkheden, die het laboratorium tot dusverre kon bieden, zijn voor hem nimmer een overwegend bezwaar geweest. Een vergaande kwantitatieve uitwerking van een vraagstuk zal men echter bij deze onderzoeker niet gauw vinden.

Zeer eenvoudig van opzet is het onderzoek gewijd aan de weerstand die de wortels bij indringing in de grond ondervinden (1957). Door verscheidene planten op gesinterd glas met verschillende poriëndiameter te laten groeien, maakte WIERSUM een einde aan de illusie, dat wortels zouden kunnen groeien in ruimten kleiner dan hun eigen diameter. Bij bewortelingsproeven in smalle, met korrels van verschillende diameter gevulde buizen blijkt de indringing sterker bij afneming van de korrelgrootte en toeneming van de diameter van de buis, m.a.w. als de mogelijkheid de korrels mechanisch uiteen te duwen, groter is. De stijfheid van de poriënstructuur is dus van betekenis. Deze kan bepaald zijn door het vochtgehalte en door de diepte van de laag, waarin de korrels voorkomen.

Door WIERSUM is verder de aandacht gevestigd op het betrekkelijk kleine deel van de grond (2–5 %) dat direct met de wortels in contact is (1962b). Dit heeft belangrijke gevolgen voor de opneming. Voor ionen die weinig verplaatsbaar zijn in het bodemvocht, omdat de oplosbaarheid gering is, betekent het dat dit kleine gedeelte van de grond de voeding van het gewas in hoofdzaak moet verzorgen. In het bodemvocht opgeloste ionen kunnen echter over grotere afstand verplaatst worden. Kenmerkend voor beide gevallen zijn fosfaat en stikstof. Dit is bestudeerd in een proef met een "grond" gemaakt van tot verschillende fijnheid vermalen en met voedingsoplossing doordrenkte potscherven (1962a). Dichte beworteling komt alleen voor in de fijne aggregaten. Op de opneming van stikstof hebben de grove structuur van de grond en de spaarzame beworteling weinig invloed. Sterk is daarentegen de reductie van de opneming van fosfor, dat door de wortels niet uit het inwendige van de korrels kan worden opgenomen. Deze uitkomst verklaart de ongunstige invloed die een slechte structuur speciaal op de opneming van fosfaat heeft. Het wordt ook begrijpelijk, waarom het zo belangrijk is dat de plant op plekken waar fosfaat aanwezig is, compensatie kan vinden door krachtiger beworteling, zoals door GOEDEWAAGEN is beschreven (zie boven).

Door op de betekenis van de verschillen van verplaatsing in het milieu te wijzen, heeft WIERSUM de vinger gelegd op de belangrijke invloed van de fysische structuur op de voeding. Bij voortgezet onderzoek wordt aandacht gegeven aan de betekenis van wijzigingen in de voedingsoplossing in de onmiddellijke nabijheid van de wortels, die ontstaan door een verschillende, selectieve opneming uit het als gevolg van de zuiging van de wortels daarheen stromende

vocht, waarin voedingsstoffen zijn opgelost.

Terwijl het voorgaande onderzoek op het milieu is gericht, komt de vakkennis van de fysioloog duidelijk naar voren in de aanpak van een onderzoek van enkele fysiologische ziekten, waaraan van tuinbouwkundige zijde behoefte bestond (stip bij appels, neusrot bij tomaten). Het was uit verschillende waarnemingen duidelijk dat het element calcium hiermee te maken heeft. Door voort te bouwen op de hypothese van massastroming in de zeefvaten is een inzicht verkregen, waarom in bepaalde organen als vruchten, zaden en knollen relatief zo weinig calcium voorkomt (1965). Deze organen zijn gevoelig voor geringe verlagingen van het calciumgehalte en de daarmee samenhangende verstoring van evenwichten tussen Ca en Mg, die voor een deel voor de afwijkingen verantwoordelijk zijn.

Het bleek dat het transport van radioactief calcium in de houtvaten nauw gekoppeld is aan de verplaatsing van water, waarin kleurstof was opgelost. De voorziening van de genoemde organen met water en de daarin opgeloste stoffen vindt echter vrijwel niet door de houtvaten plaats. Aangenomen kan worden dat het water samen met de assimilaten via de zeefvaten toestroomt. Het is bekend dat deze slechts minieme hoeveelheden calcium vervoeren. Is echter de verdampingssnelheid in verhouding tot de groeisnelheid relatief hoog, dan zal aanvullend calciumhoudend water uit de houtvaten worden aangezogen. Een dergelijk mechanisme zal vermoedelijk ook bij enkele andere moeilijk redistribueerbare elementen zoals mangaan een rol spelen.

Een aparte plaats aan het instituut is door MULDER (1939–1956) ingenomen. Aangesteld als landbouwkundige van de Staatsmijnen, later van het Centraal Stikstof Verkoopkantoor, is hij te Groningen geplaatst om onderzoek op het gebied van de stikstof te verrichten. Van de geboden mogelijkheid is ruimschoots gebruik gemaakt. Naast landbouwkundige onderzoekingen over de betekenis van bemesting met stikstof (1949b), en hiervan uitgaande, zijn verschillende onderzoekingen op verwante gebieden verricht. Kenmerkend voor deze onderzoeker zijn de breedte en diepte, waarmee een vraagstuk wordt aangepakt. Ter kenschetsing van zijn werk worden enkele onderwerpen kort genoemd.

Het effect van stikstof op de opbrengst van granen zou veel groter zijn, als het niet werd beperkt door de toenemende vatbaarheid van het gewas voor legering bij verhoging van de bemesting. MULDER heeft dit legeringsverschijnsel in detail onderzocht (1954). Hij sluit daarbij aan bij landbouwkundig veldwerk, maar gaat verder. Te velde is vastgesteld dat de vatbaarheid voor legering verhoogd wordt door alle factoren die een gunstige invloed hebben op de groei. Legering ontstaat meestal doordat de onderste internodiën of de wortels buigen

of breken. Bij ruime bemesting met stikstof zijn de internodiën langer en soms van een geringere diameter, terwijl uit morfologisch onderzoek blijkt dat de stengel belangrijk minder is verhout. Bovendien is het wortelstelsel minder krachtig, eveneens met een geringere afzetting van lignine. Het grote gewicht van een zwaar ontwikkeld gewas en de zwakte van de basale delen verhogen de vatbaarheid voor legeren. Uit een combinatie van onderzoek in potten en te velde blijkt, dat een verzwakking van de lichtintensiteit verantwoordelijk is voor de langere internodiën. De geringere afzetting van lignine en vermoedelijk ook de verminderde vorming van wortels worden toegeschreven aan de ongunstige invloed die overvloedige stikstofvoeding heeft op de vorming van koolhydraten.

Een onderzoek over de blauwkleuring van aardappelen bij kaligebrek gaat dieper (1949a). Deze blauwkleuring hangt af van twee factoren; het hogere gehalte van tyrosine in de knol en de grotere kneusbaarheid bij kaligebrek. De laatste heeft een verhoogde ademhaling tot gevolg. Als gevolg van kneuzing van de cellen wordt tyrosine onder invloed van tyrosinase geoxideerd tot melanine die aan de knol de blauwe kleur geeft. Stikstof verhoogt het tyrosinegehalte alleen door versterking van relatief kalitekort en heeft dus slechts een indirecte werking. Het koperhoudende enzym tyrosinase is in mindere mate aanwezig bij kopergebrek. Bij combinatie van kali- en kopergebrek komt inderdaad slechts geringe blauwkleuring na kneuzing voor. Het "zwartkoken" van aardappelen treedt alleen op als oxidatieprodukten van tyrosine reeds vóór het koken aanwezig zijn.

Grote belangstelling heeft MULDER getoond voor de betekenis van molybdeen voor de plantevoeding (1948, 1959a en b). Te verwonderen valt dit niet daar dit element, zoals hij kon aantonen, zowel bij groene planten als bij micro-organismen een belangrijke rol vervult als katalysator bij de nitraatreductie. De behoefte aan deze stof bij nitraatvoeding is belangrijk groter dan bij voeding met ammonium. Bij vlinderbloemigen is niet de vorming van wortelknolletjes afhankelijk van molybdeen, maar wel hun functie, zodat geen vastlegging van stikstof plaatsvindt. De factoren die de opneming van dit element beheersen, zijn onderzocht. Hoge concentratie van mangaan in zure gronden belemmert de opneming van molybdeen bij bloemkool. Een belangrijk verband is ook gevonden met de voeding met fosfor, dat de opneming van molybdeen bevordert.

Het zou te ver voeren nog dieper op het werk van MULDER in te gaan (1955). Het vormt een mooi voorbeeld van onderzoek verricht om een dieper inzicht in de landbouwkundige problemen te verkrijgen.

Bij de bespreking van het onderzoek van de thans aan het instituut verbonden microbiologen zal meer naar lopend werk moeten worden gegrepen dan naar

onderzoekingen die reeds tot opmerkelijke resultaten hebben geleid. Het onderzoek van KOLENBRANDER (1949–heden) over de bewaring van stalmest kan worden genoemd (1955, 1963). Het is zeker niet abnormaal dat een dergelijk onderzoek in handen is gelegd van een medewerker van de afdeling biologie van de grond, maar als een typisch voorbeeld van biologisch onderzoek kan het niet gelden. Enkele bijdragen van HARMSEN (1952–heden), zoals zijn succesvolle poging om de entstof van leguminosen te verbeteren door uit inheemse stammen (duizenden!) te selecteren, waarbij zowel op het vermogen om stikstof te binden, als op het concurrentievermogen ten opzichte van andere stammen is gelet (1954), karakteriseren zijn werk onvoldoende. Het belangrijkste onderwerp van beide onderzoekers betreft namelijk de stikstofhuishouding (1959, 1961, 1962). Gepoogd is de potentieel voor het gewas door micro-organismen uit de organische stof beschikbaar gemaakte stikstof volgens een conventionele methode te bepalen, maar de bruikbaarheid van deze z.g. incubatiemethode is niet zeer groot (1956). Eén reden hiervoor is dat vrijgemaakte stikstof opnieuw door microben wordt gebonden, zodat de uikomst van de bepaling niet aangeeft, hoeveel precies in omloop is gebracht. Een andere reden is de grote bewegelijkheid van gemineraliseerde stikstof in de grond onder invloed van de beweging van het vocht, waarin de nitraatstikstof is opgelost. Een studie van deze omstandigheden was noodzakelijk, voordat aan een verdere waardering van de microbiologische vorming en binding van stikstof kon worden gedacht. Het zou te ver gaan op deze onderzoekingen in te gaan.

Wel kan worden vermeld, dat naast de incubatiemethode een andere werkwijze wordt beproefd, namelijk de binding van de vrijkomende stikstof aan ionenwisselaars. De grondgedachte hierbij is, dat de plantewortels naast de zich ophopende, gemineraliseerde stikstof ook slechts tijdelijk gemineraliseerde (in omloop zijnde) stikstof zouden kunnen opnemen, voordat deze weer door micro-organismen is gebonden.

Een ander onderwerp, waarbij HARMSEN met JAGER (1958–heden) betrokken is, betreft de mogelijkheid van ontleding van in de grond aanwezige organische stof door toevoeging van gemakkelijk aantastbaar materiaal, als gevolg van de activering van de microflora. In tegenstelling tot anderen die gebruik maakten van met C^{14} gemerkt plantemateriaal, wordt uitgegaan van met C^{14} gemerkte humus. De eerstgenoemde methode had veel technische bezwaren. Bij het onderzoek van HARMSEN en JAGER wordt eerst met C^{14} gemerkt plantemateriaal gekweekt dat rijk is aan lignine, een grondstof voor de humusvorming. Dit wordt gehumificeerd, waarna met het produkt een kunstmatige "humushoudende" grond wordt gemaakt. Voordelen zijn dat het gemerkte koolzuur dat gevonden wordt, volledig afkomstig moet zijn uit de humus, en dat de invloed van allerlei sub-

straten kan worden beproefd. De omstandigheden waaronder dit proces zich voordoet, kunnen dan nader worden onderzocht.

Ook in ander opzicht worden de omzettingen van de organische stof in de grond en het aandeel van de microflora hierbij door JAGER onderzocht. Het betreft de invloed van drogen en bevriezen van de grond en de bij deze processen gevormde hoeveelheden koolzuur en minerale stikstof. De temperatuur bij drogen en de duur van de inwerking blijken belangrijke factoren te zijn.

Na droging waardoor de microbenpopulatie gedecimeerd wordt, treedt bij herbevochtiging na 1–2 dagen een piek in de koolzuurproduktie op. Blijkbaar is voedsel voor de zich sterk ontwikkelende microben ter beschikking gekomen. Opmerkelijk is dat deze piek aan die van het aantal microben voorafgaat. Stikstof komt ook in belangrijke mate vrij.

De invloed van bevriezen is daarentegen niet bijzonder groot, hoewel het aantal micro-organismen wel achteruitgaat, vooral bij herhaald bevriezen en ontdooien.

Hierbij sluit het onderzoek aan over de invloed van stomen van de grond dat ter ontsmetting voorafgaand aan de teelt van sla wordt toegepast. Dit onderzoek wordt verricht in samenwerking met de afdeling bemesting in de tuinbouw. Deze gaat de reactie van het gewas op de behandeling van de grond na. Reeds is gebleken dat een betere beschikbaarheid van stikstof in de vorm van ammonium wel, maar een hogere concentratie van mangaan géén invloed heeft op de vorming van de krop, hoewel in de praktijk wel schade door overmaat mangaan is waargenomen. Ook wordt gedacht aan een invloed van oplosbaar geworden organische stof. Uitspoeling en enting met bacteriën bevorderen het verdwijnen van dit effect.

Naast deze studies is het hoofdonderwerp van JAGER het onderzoek van de functie van de rizosfeer (de onmiddellijke omgeving van het worteloppervlak) bij de humus- en stikstofhuishouding van de grond (HARMSEN en JAGER, 1963). Er bevindt zich hier een sterke ophoping van de micro-organismen als gevolg van afgifte van organisch materiaal door de plant. Het is waarschijnlijk dat humus hier versneld wordt afgebroken. Gepoogd wordt dit verschijnsel kwantitatief vast te stellen. In de eerste plaats is onder niet steriele omstandigheden bepaald welke hoeveelheden koolstof en stikstof zich in de rizosfeer van verschillende planten ophopen. De hoeveelheid microbenkoolstof bedraagt onder deze proefcondities 0,3–1,5 % van het droge gewicht van de bovengrondse delen; de stikstof ongeveer het tiende gedeelte hiervan. Het verloop van deze afgifte gedurende de groei van de plant zal onder steriele omstandigheden worden vervolgd. De invloed van verschillende factoren op dit proces kan nader worden onderzocht. Tenslotte zal de microbenflora worden bestudeerd. Dit werk be-

vindt zich nog in volle ontwikkeling. Veel voorbereidend onderzoek is reeds verricht voor het uitwerken van geschikte methoden.

In het bovenstaande is het werk van onderzoekers besproken, die belangrijke bijdragen op het gebied van de biologie hebben geleverd, toegepast op het onderzoek van de bodemvruchtbaarheid. Het werk van HENKENS (1953–1963) over sporenelementen is daarentegen overwegend landbouwkundig geweest. Het vertoont wel biologische kanten, b.v. in het geval waarin het onderzoek over bespuiting van gewassen met oplossingen van mangaansulfaat werd aangevuld met een onderzoek over de verspreiding van op het blad aangebracht mangaan in de plant. Het bleek dat dit element inderdaad wordt verplaatst, maar dat de verplaatsing in opwaartse richting veel sterker is dan in neerwaartse. Er komt een gedeelte in de wortel terecht, waaruit herverdeling over de groeiende delen plaatsvindt, die echter onvoldoende is om mangaangebrek in nieuw gevormde bladen te voorkomen. Dit verklaart, waarom een enkele bespuiting niet voldoende is en een bespuiting gegeven moet worden op het tijdstip dat het nodig is. Deze uitkomst is in overeenstemming met praktische ervaringen. Bij dit onderzoek werd gebruik gemaakt van radioactief mangaan.

Schrijver dezes (VAN DER PAAUW 1934–heden), van huis uit plantefysioloog, heeft zich overwegend op het landbouwkundige terrein van de bemesting bewogen. Hij hoopt hierbij zijn biologische opleiding niet geheel ontrouw te zijn geweest. Dit kan misschien het best blijken uit zijn belangstelling voor de achtergronden van de z.g. "opbrengstkromme", de lijn die het verband weergeeft tussen een voedingsfactor en de opbrengst van een gewas (1938, 1952). MITSCHERLICH heeft van het verloop van deze kromme gebruik gemaakt om de voedselvoorraad van de grond te bepalen. De kromme wordt hiervoor naar beneden geëxtrapoleerd en het snijpunt met de abscis bepaald, waarlangs de toegediende hoeveelheden voedingsstof zijn uitgezet. De afstand van het snijpunt tot de oorsprong van het coördinatenstelsel wordt gebruikt als maat voor de door de grond zelf geleverde hoeveelheid voedingsstof. In een recente studie (nog niet gepubliceerd) is ingegaan op de redenen, waarom tussen verschillende gewassen en in verschillende jaren op deze wijze grote verschillen in stikstoflevering door de grond worden gevonden. Het jaarverschil blijkt voor een belangrijk deel een gevolg van ongelijke neerslag in de voorafgaande winter (1962). Beschouwt men alleen de jaren na natte winters, waarin alle opgeloste stikstof uit de bovengrond is uitgespoeld, dan zijn de verschillen reeds heel wat kleiner. Het verschillende resultaat bij granen en aardappelen is ten dele een gevolg van het feit dat de kromme bij granen een verwrongen beeld geeft van de opneming van stikstof.

Het gehalte aan stikstof van een niet hiermee bemeste plant is namelijk op een stikstofbehoeftige grond hoger dan van een die matig met stikstof is bemest. Pas bij zwaardere bemesting neemt het gehalte weer toe. De vorm van de kromme wordt daardoor weliswaar niet S-vormig, zoals door STEENBJERG met verschillende voedingsstoffen is gevonden, maar verloopt in het onderste gedeelte wel belangrijk steiler dan het geval zou zijn geweest, als het verschijnsel niet zou bestaan.

De bemeste plant produceert namelijk niet alleen meer droge stof door de grotere hoeveelheid opgenomen kunstmeststikstof, maar ook door een beter gebruik van de door de grond geleverde stikstof. Door de te steile lijn wordt bij extrapolatie een te klein gedeelte van de abscis afgesneden. Bij de aardappel treedt bij stijgende bemesting direct een geleidelijke toeneming van het gehalte aan stikstof op en kan een juistere schatting van de stikstoflevering door de grond worden gemaakt. Met behulp van de kromme die het verband tussen de toegevoegde en de door het gewas opgenomen hoeveelheid stikstof weergeeft, worden beter overeenstemmende resultaten bij verschillende gewassen verkregen. Bij de aardappel zijn deze gemiddeld gelijk aan die welke door middel van de opbrengstkromme zijn afgeleid. Specifieke verschillen, vermoedelijk als gevolg van het verschillende tijdvak waarin de gewassen groeien, en van een verschillend wortelstelsel, blijven niettemin bestaan.

In het bovenste deel van de kromme komen andere verschillen aan het licht. Door het verschil in stikstof-leverend vermogen van oude en nieuwe dalgrond in rekening te brengen bleek de kromme in het laatste geval het optimum bij een lagere stikstofgift te bereiken. In het gebied, waar stikstof niet meer beperkend is, zijn andere factoren voor de verschillen verantwoordelijk. Granen vertonen op nieuwe dalgrond een slapper gewas, de halmen zijn dunner en soms bij gelijke dikte minder sterk. Legering treedt daardoor eerder op. Een opvallend laag gehalte aan silicium werd vastgesteld. Gehoopt wordt door voedingsproeven inzicht in de oorzaken van de verschillen te krijgen.

In de aanvang van dit artikel werd ons landbouwkundig onderzoek een vorm van ecologie genoemd. Uit het zoëven gegeven voorbeeld blijkt evenzeer als uit het werk van andere onderzoekers, hoe de vaststelling van landbouwkundige relaties ertoe dwingt deze nader te analyseren. Anderzijds leert de beschouwing van het onderlinge verband der factoren onder welke omstandigheden het voor de gewassen optimale milieu wordt gevonden.

Hoezeer ecologische wetmatigheden inderdaad in het spel zijn, blijkt wel duidelijk uit de opvatting die de schrijver ontwikkelde over de oorzaken van de fluctuaties van opbrengsten in verschillende jaren. De gangbare mening is dat variaties in de weersomstandigheden tijdens de groei van het gewas hiervoor

aansprakelijk zijn. In tegenstelling hiermee worden de oogstfluctuaties in de eerste plaats aan veranderingen in de vruchtbaarheid van de grond toegeschreven. Uit proefveldresultaten blijkt dat belangrijke factoren, zoals de beschikbaarheid van stikstof, fosfaat en kali in de grond, voortdurend aan verandering onderhevig zijn (1962, 1965). Dit geldt ook voor de pH. De veranderingen verlopen vaak geleidelijk, maar zijn zeer ingrijpend. Er wordt verondersteld dat dit verschijnsel niet tot de genoemde factoren beperkt blijft. Het dankt zijn ontstaan aan de cumulatieve werking van betrekkelijk onopvallende verschillen in de verdeling van de neerslag in de loop der jaren. Afwisselend is deze gedurende enkele jaren duidelijk boven en dan weer onder het gemiddelde. De ervaring is dat enkele droge jaren het niveau van de vruchtbaarheid sterk verhogen maar dat het weer geleidelijk daalt in opeenvolgende natte jaren. Het toeval heeft gewild dat deze afwisselende perioden na 1910 vaak tamelijk gelijk van duur zijn geweest. Zodoende ontstonden ritmische schommelingen in de vruchtbaarheid, die in de opbrengst van bijna alle landbouwgewassen, zowel op proefvelden als in de praktijk, tot uiting zijn gekomen. Voorwaarden voor het optreden van dergelijke schommelingen zijn waarschijnlijk een gematigd klimaat, normaal vruchtbare gronden en gewassen, die dank zij de cultuurmaatregelen in het milieu passen. Een sterke directe invloed van het weer tijdens de groei wordt alleen gevonden als een van deze omstandigheden marginaal is, m.a.w. een continentaal klimaat, een onvruchtbare grond of een gewas dat onvoldoende aan het milieu is aangepast.

Het gaat er nu niet om welke feiten voor deze theorie pleiten en in hoeverre deze acceptabel is. Volstaan kan dat het ecologische karakter ervan wordt erkend.

Biologisch en landbouwkundig onderzoek grijpen in elkaar en de grenzen vervagen. Veldonderzoek kan soms zo nauwkeurig worden verricht, dat oorzakelijke verbanden erdoor worden opgehelderd (VAN DER PAAUW, 1948). KORTLEVEN (1957, 1959) onderzocht de verschillen tussen stikstofvoeding uit stalmest en uit kunstmest met behulp van dergelijke proeven. De toepassing van statistische methoden zoals bij het landbouwkundige onderzoek aan het instituut geschiedt (zie het artikel van FERRARI in dit boek), maakt de ontwarring van complexe verbanden mogelijk. Hiermee zijn grote vorderingen gemaakt, die op hun beurt bevruchtend zullen zijn voor de behandeling van de niet minder ingewikkelde biologische vraagstukken (VAN DER PAAUW, 1943).

Literatuur

BUTIJN J. en SCHUURMAN, J. J. Bodembehandeling op het proefveld te Hoofddorp. Versl. Landbk. Onderz. **63.** 16 (1957) 1–102.

FEEKES, W. De tarwe en haar milieu. Versl. Techn. Tarwe Comm. Groningen XVII (1941)

GERRETSEN, F. C. Een onderzoek naar de oorzaken der veenkoloniale haverziekte. Versl. Landbk. Onderz. **42** (1) A (1936) 1–67.

GERRETSEN, F. C. Bodembacteriologie in dienst van land- en tuinbouw. 's-Gravenhage Landsdrukkerij (1939).

GERRETSEN, F. C. en BLUMENDAL, NORA. Een onderzoek naar de bruikbaarheid van de Aspergillusmethode voor de bepaling van phosphorzuur en kali in den grond. Versl. Landbk. Onderz. **46** (4) A (1940) 219–303.

GERRETSEN, F. C. The influence of microorganisms on the phosphate intake by the plant. Plant and Soil **1** (1948) 51–81.

GERRETSEN, F. C. De stikstofbalans en de pH-veranderingen in enkele gronden onder invloed van bacteriënleven en plantengroei. Versl. Landbk. Onderz. **54** (1949) 16.

GERRETSEN, F. C. Mangaangebrek bij haver in verband met fotosynthese. Landbk. Tijdschr. **68** (1956) 756–767.

GOEDEWAAGEN, M. A. J. De groei van het wortelstelsel der planten bij gelijke en ongelijke vruchtbaarheid van boven- en ondergrond. Versl. Landbk. Onderz. **38**A (1932) 179–199

GOEDEWAAGEN, M. A. J. Het wortelstelsel der graanplanten bij ongelijke verdeling der meststoffen in den grond. Versl. Landbk. Onderz. **39**A (1933) 343–366.

GOEDEWAAGEN, M. A. J. De waterhuishouding van den grond en de wortelontwikkeling. Landbk. Tijdschr. **53** (1941a) 118–145.

GOEDEWAAGEN, M. A. J. Over de mogelijkheid om den zuurgraad van den grond aan de hand der onkruidvegetatie te beoordelen. Versl. Landbk. Onderz. **47** (7)A (1941b) 669–757.

GOEDEWAAGEN, M. A. J. Het wortelstelsel der landbouwgewassen. 's-Gravenhage, Landsdrukkerij (1942).

GOEDEWAAGEN, M. A. J. V. Grondwaterstand en beworteling der gewassen. Versl. Techn. Bijeenkomsten, (1952a) 1–6, 65–82.

GOEDEWAAGEN, M. A. J. Wortelontwikkeling en droogteschade in het gewas in, het bijzonder op grasland. Versl. Techn. Bijeenkomsten (1952b) 1–6, 206–222.

GOEDEWAAGEN, M. A. J., VAN DEN BERG, C., VAN DEN BOSCH, D., BUTIJN, J., JONKER, J. J., VAN DER SCHAAF, D. en SCHUURMAN, J. J. Wortelgroei in gronden, bestaande uit een bovengrond van klei en een ondergrond van zand (1955). Hierin het hoofdstuk: M. A. J. Goedewaagen (1955a): Samenvattende beschouwing betreffende de inhoud van de resultaten van de in deze publikatie opgenomen mededelingen. Versl. Landbk. Onderz. **61.7**, 7–18.

GOEDEWAAGEN, M. A. J. De oecologie van het wortelstelsel der gewassen. De plantenwortel in de landbouw. 's-Gravenhage, Staatsdrukkerij- en Uitgeverijbedrijf (1955b) 31–68.

HARMSEN, G. W. Pogingen tot verbetering van de entstof voor leguminosen. Landbk. Tijdschr. **66** (1954) 531–533.

HARMSEN, G. W. Inquiry into the possibility of an analytical estimation of the nitrogen fertilization requirement of soil. Six. Congr. Science du Sol, Paris, **VI** (1956) 457–463.

HARMSEN, G. W. Was kann die Bestimmung des Gehaltes an löslichen Stickstoffs im Boden lehren? Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. **84** (1959) 98–102.

HARMSEN, G. W. Einflusz von Witterung, Düngung und Vegetation auf den Stickstoffgehalt des Bodens. **15** (1961). Sonderdruck. Landwirtsch. Forsch. 61–74.

HARMSEN G. W. Landbouwkundige en bodemkundige problemen rondom de stikstof in de grond. Landbk. Tijdschr. **74** (1962) 505–519.

HARMSEN, G. W. en JAGER, G. Determination of the quantity of carbon and nitrogen in the rhizosphere of young plants. Soil organisms, Proceed. Coll. Soil fauna, soil microflora and their relationships. Oosterbeek, (1963) 1962, 245–251.

ITALLIE, TH. B. VAN. De kalihuishouding van aardappelen. Landbk. Tijdschr. **47** (1935) 697–705.

ITALLIE, TH. B. VAN. Hooghalense ziekte en de samenstelling van graanplanten. Landbk. Tijdschr. **48** (1936) 125–142.

ITALLIE, TH. B. VAN. Het verloop van de opname van stikstof, fosforzuur en kali door verschillende gewassen te velde. Versl. Landbk. Onderz. **43** (2) A (1937a) 13–54.

ITALLIE, TH. B. VAN. De natrium- en kaliumopname bij verschillende bietenrassen. Versl. Landbk. Onderz. **43** (15) A (1937b) 721–766.

ITALLIE, TH. B. VAN. Magnesiummangel und Ionenverhältnisse in Getreidepflanzen. Bodenk. u. Pflanzenern. **5** (1937c) 303.

ITALLIE, TH. B. VAN. De invloed van verschillende factoren op de chemische samenstelling van gras. Landbk. Tijdschr. **49** (1937d) 155–170.

ITALLIE, TH. B. VAN. De chemische samenstelling van landbouwgewassen in verband met landbouwkundige vraagstukken. 's-Gravenhage, Landsdrukkerij (1938).

ITALLIE, TH. B. VAN. Cation equilibria in plants in relation to the soil. Soil Sci. **46** (1938) 175–186.

ITALLIE, TH. B. VAN. Een vergelijking van de voedselopname van voeder- en suikerbieten. Landbk. Tijdschr. **51** (1939), 155–167.

ITALLIE, TH. B. VAN. Cation equilibria in plants in relation to the soil: II. Soil Sci. **65** (1948) 393–416.

KOLENBRANDER, G. J. Die Verluste an organischer Substanz im Stalldünger. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. **69** (1955) 125–134.

KOLENBRANDER, G. J. Berekening van stalmest-produktie-eenheden. Landbk. Tijdschr. **75** (1963) 106–120.

KORTLEVEN, J. K. De stikstofvoeding van de aardappelen door middel van stalmest en van kunstmest. I, II, III en IV. Versl. Landbk. Onderz. **63**.19 (1957), 1, 65.1, **65**.17, **65**.19 1959) (II met H. PIJL).

MULDER, E. G. Importance of molybdenum in the nitrogen metabolism of microorganisms and higher plants. Plant and Soil **1** (1948), 94–119.

MULDER, E. G. Mineral nutrition in relation to the biochemistry and physiology of potatoes. Plant and Soil **2** (1949a), 59–121.

MULDER, E. G. Onderzoekingen over de stikstofvoeding van landbouwgewassen. Versl. Landbk. Onderz. **55**.7 (1949b).

MULDER, E. G. Effect of mineral nutrition on lodging of cereals. Plant and Soil **5** (1954) 246–306.

MULDER, E. G. Effect of mineral nutrition of potato plants on respiration of the potato. Acta Bot. Neerl. **4** (1955) 429–451.

MULDER, E. G., BAKEMA, K., en VEEN, W. L. VAN. Molybdenum in symbiotic nitrogen fixation and in nitrate assimilation. Plant and Soil **10** (1959a) 319–334.

MULDER, E. G., BOXMA, R. en VEEN W. L. VAN. The effect of molybdenum and nitrogen deficiencies on nitrate reduction in plant tissues. Plant and Soil **10** (1959b), 335–355.

PAAUW, F. VAN DER. Over den samenhang tusschen groeifactoren en opbrengst, en de principes, die dit verband bepalen. Landbk. Tijdschr. **50** (1938) 795–830.

PAAUW, F. VAN DER. Agronomie en botanie. Vakblad Biol. **24** (1943) 107–116.

PAAUW, F. VAN DER. Opname, vorming en verdeling van de stof door de aardappelplant bij gevarieerde fosfaatvoeding. Versl. Landbk. Onderz. **54**.3 (1948).

PAAUW, F. VAN DER. Critical remarks concerning the validity of the Mitscherlich effect law. Plant and Soil **4** (1952) 97–106.

PAAUW, F. VAN DER. Effect of winter rainfall on the amount of nitrogen available to crops. Plant and Soil **16** (1962a) 361–380.

PAAUW, F. VAN DER. Periodic fluctuations of soil fertility, crop yields and of responses to fertilization effected by alternating periods of low or high rainfall. Plant and Soil **17** (1962b) 155–182.

PAAUW, F. VAN DER. Wetterabhängigkeit der Bodenfruchtbarkeit. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. **108** (1965) 97.

SCHUURMAN, J. J. De wortelontwikkeling van wintertarwe in kleizandprofielen in betonnen buizen bij ongelijke laagdikte, grondwaterstand en fijnheidsgraad van het zand. Versl. Landbk. Onderz. **61.7** (1955a).

SCHUURMAN, J. J. en GOEDEWAAGEN, M. A. J. A new method for the simultaneous preservation of profiles and root systems. Plant and Soil **6** (1955b) 373–381.

SCHUURMAN, J. J. en SMET, L. A. H. DE. De wortelontwikkeling van zomertarwe op verschillende Dollardkleiprofielen. Boor en Spade **8** (1957) 73–83.

SCHUURMAN, J. J. Root development, water uptake and growth of spring wheat and perennial ray grass on three profiles. Rep. Conf. Comm. VI Int. Soc. Soil Sci., Copenhagen, (1958) 71–81.

SCHUURMAN, J. J. Influence of soil density on root development and growth of oats. Plant and Soil (1965a), ter perse.

SCHUURMAN J. J. en GOEDEWAAGEN, M. A. J. Methods for the examination of root systems and roots. Pudoc, Wageningen, (1965b).

VRIES, D. M. DE. Verslag van een vergelijkend onderzoek van een drietal methoden van botanisch graslandonderzoek, enz. Versl. Landbk. Onderz. **46** (8) A (1940) 313–341.

VRIES, D. M. DE en KRUYNE, A. A. Over de voorkeur van graslandplanten voor bepaalde plantenvoedende stoffen. Landbk. Tijdschr. **55** (1943) 83–92.

WIERSUM, L. K. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration bij roots. Plant and Soil **9** (1957) 75–85.

WIERSUM, L. K. Density of root branching as affected by substrate and separate ions. Acta Bot. Neerl. **7** (1958) 174–190.

WIERSUM, L. K. Uptake of nitrogen and phosphorus in relation to soil structure and nutrient mobility. Plant and Soil **16** (1962a) 62–70.

WIERSUM, L. K. Bodemstructuur, beworteling en plantenvoeding. Landbk. Tijdschr. **74** (1962b), 961–972.

WIERSUM, L. K. De invloed van groei en verdamping der vruchten op het optreden van neusrot bij tomaten. Meded. Dir. Tuinb. (1965) ter perse.

WIT, G. T. DE. A physical theory on placement of fertilizers. Dissertatie Wageningen, Versl. Landbk. Onderz. **59.4** (1953).

ZIJLSTRA, K. De hoofdwortel van eenige graansoorten. Versl. Landbk. Onderz. der R.L.P.S. **26** (1922) 19–59.

ZIJLSTRA, K. Inleiding over de botaniese samenstelling van grasland en de veredeling van grassen. Landbk. Tijdschr. **40** (1928).

ZIJLSTRA, K. Over het bepalen der winterhardheid van tarwerassen. R.L.P.S. Groningen, Korte Meded. **15** (1933).

ZIJLSTRA, K. Winterhardheid van tarwerassen. R.L.P.S. Groningen, Korte Meded. **41** (1935a).

ZIJLSTRA, K. en VRIES D. M. DE. De invloed van de behandelingswijze van grasland op de plantkundige samenstelling der grasmat. Versl. Landbk. Onderz. **41** A (1935b) 635–654.

ZIJLSTRA, K. Uitwinteren, winterhardheid en kouderesistentie. R.L.P.S. Groningen, Korte Meded. **48** (1936a).

ZIJLSTRA, K. en FEEKES, W. Voorloopige mededeeling over de uitkomsten van een jaworisatieproef in 1936. R.L.P.S. Groningen, Korte Meded. **54** (1936b).

ZIJLSTRA, K. Het bepalen van de botanische samenstelling van het grasland en de beteekenis daarvan voor de praktijk. Landbk. Tijdschr. **49** (1937) 141–154.

ZIJLSTRA, K. Het waterverbruik van grasland. Versl. Landbk. Onderz. **44** A. (1938) 185–205.

ZIJLSTRA, K. Onderzoekingen over de eerste ontwikkelingsperiode der jonge graanplant. Versl. Landbk. Onderz. **45** A (1939) 439–493.

ZIJLSTRA, K. Over de botanische analyse van grasland; bepaling van de gewichtspercentages der plantensoorten. Versl. Landbk. Onderz. **46** A (1940) 343–377.

ZIJLSTRA, K. Bijdragen tot de kennis van het aardappelzetmeel. Versl. Landbk. Onderz. **47** A (1941) 1223–1274.

ZIJLSTRA, K. Onderzoekingen betreffende de aardappelplant. Versl. Landbk. Onderz. **48** (1942) 529–563.

C. M. J. SLUIJSMANS

Bemestingsonderzoek in de landbouw

Bij het toegepaste onderzoek zullen in het algemeen de vragen, waarvoor de praktijk directe belangstelling heeft, centraal moeten worden gesteld. Het werkprogramma moet dus min of meer een weerspiegeling zijn van de problemen die op een bepaald tijdstip in de praktijk leven. Dit wordt in ons land in sterke mate bevorderd door de contacten tussen instituten van onderzoek en voorlichtingsdiensten.

Welke zijn de belangrijkste vragen, waarvoor het toegepaste onderzoek op het gebied van de bemesting zich gesteld ziet? Om systeem in de behandeling te brengen zullen we vier – overigens met elkaar samenhangende – groepen onderscheiden, waarin de meeste problemen ongedwongen kunnen worden ondergebracht.

1. Welke hoeveelheden meststof moeten aan de verschillende gewassen worden gegeven?
2. Welke keuze moet worden gedaan uit het beschikbare assortiment meststoffen?
3. Op welk tijdstip en op welke wijze moeten de meststoffen worden toegepast?
4. Hoe wijzigt zich de vruchtbaarheid van de grond onder invloed van de toegepaste bemesting?

In de volgende paragrafen zullen wij aan elk van deze onderwerpen een beschouwing wijden, waarbij de nadruk zal worden gelegd op de overwegingen die tot de aangehaalde onderzoekingen geleid hebben, en op de aanpak daarvan. Over de geschiedkundige ontwikkeling, hoewel niet onbesproken in dit stuk, vindt men meer in andere artikelen van dit gedenkboek.

Het zal opvallen, dat er bij de behandeling van de stof geen principieel onderscheid tussen de verschillende plantevoedingsstoffen, inclusief de sporenelementen, wordt gemaakt en dat er zelfs geen scheiding tussen het onderzoek over anorganische en organische bemesting is aangebracht. Dit is bewust niet gebeurd omdat naar onze mening het karakter van de problemen gelijk is.

Hoeveelheid meststof

Om een goede maat te vinden voor de benodigde hoeveelheid voedingsstoffen is het instituut al vroeg de weg opgegaan van het chemische *grondonderzoek*. Het begin van deze ontwikkeling voert ons terug tot het werk van SJOLLEMA en HUDIG (1907) die wezen op het samengaan van de veenkoloniale haverziekte met een alkalische reactie van de grond. HUDIG heeft daarna een grote stuwkracht voor de verdere ontwikkeling van het grondonderzoek ontplooid. Zijn ontdekking dat de op zand- en dalgronden voorkomende Hooghalense ziekte was gebonden aan zure gronden, en de juist genoemde over de veenkoloniale haverziekte leidden tot de conclusie dat er een optimale kalktoestand moest zijn, beneden welke de eerste en boven welke de tweede ziekte zou optreden. Uit de resultaten van proeven en praktijkervaringen leidde hij normen af, waaraan de kalktoestand voor verschillende gewassen zou moeten voldoen. Aardappelen, rogge en haver zouden het best groeien bij een kalktoestandscijfer −10, bieten, gerst, tarwe en vlinderbloemigen bij 0 of iets lager. In feite was daarmee het eerste adviesschema geboren. Van de aan de praktijk geboden gelegenheid grondmonsters te laten onderzoeken werd in zo sterke mate gebruik gemaakt (in 1926/27 4000 monsters) dat op initiatief van HUDIG besloten werd tot de oprichting van het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek (1927).

Het bemestingsonderzoek kreeg een nieuwe stimulans door de aanstelling van O. DE VRIES tot hoofddirecteur van het landbouwproefstation in 1930. Deze had een open oog voor de mogelijkheden van het grondonderzoek en bevorderde de ontwikkeling ervan door stelselmatige toepassing op de in het land aanwezige proefvelden van het proefstation en van de consulenten. De hiermee verkregen gegevens werden systematisch verzameld.

Wat betreft de proefvelden, trachtte DE VRIES invloed uit te oefenen op opzet en aanpak. Er werd gestreefd naar een gelijke en verantwoorde opzet bij behandeling van hetzelfde probleem door verschillende instanties. Dit leidde later tot de opstelling van een voor die tijd groots plan voor de uitvoering van interprovinciale proefnemingen onder centrale leiding, waarbij de proeven door de voorlichtingsdienst zouden worden uitgevoerd maar de samenvattende bewerking van de resultaten aan Groningen zou worden overgelaten. Merkwaardig is dat met de uitvoering van dit plan reeds op bescheiden schaal in de moeilijke oorlogsjaren is begonnen. Later is het systeem op grote schaal toegepast en vrijwel altijd met succes. Mede hierdoor is een toetsing van grondonderzoek mogelijk geworden op een wijze die elders in de wereld ontbreekt. De adviezen die thans op basis van grondonderzoek worden verstrekt zijn grotendeels aan dit door Groningen gestimuleerde systeem van onderzoek te danken.

Sinds de oprichting van het Bedrijfslaboratorium is ernaar gestreefd alle in aanmerking komende voedingsstoffen bij het grondonderzoek te betrekken. In de jaren na 1930 waren het vooral BRUIN en VISSER, die in deze richting werkten op het gebied van de kalktoestand en VAN DER PAAUW en VISSER op dat van kali en fosfaat. Na 1945 werd het onderzoek op magnesium op gang gebracht door CASTENMILLER en na diens overlijden voortgezet door SLUYSMANS. Het grondonderzoek op sporenelementen werd door HENKENS na 1953 ontwikkeld.

Met de uitbreiding van de mogelijkheden van grondonderzoek groeide het aantal door de praktijk ingezonden monsters (thans jaarlijks ongeveer 140.000). De langzamerhand in aantal toenemende adviesschema's werden enkele jaren geleden door het Rijkslandbouwconsulentschap voor bodem- en bemestingsvraagstukken in een boekje samengevat (Adviesbasis 1962). Men vindt daarin normen voor kalk, kali, fosfaat, magnesium, koper, kobalt, borium en mangaan. Bij een herziening zal daaraan nog natrium worden toegevoegd.

Heeft het grondonderzoek bij de aanpak van bemestingsvraagstukken een centrale plaats ingenomen, daarnaast is op bescheidener schaal aandacht besteed aan de mogelijkheden, die het chemische *gewasonderzoek* te bieden heeft. In die richting is vooral door VAN ITALLIE gewerkt (zie het artikel van VAN DER PAAUW). De verkregen ervaringen geven ons de overtuiging, dat ook op basis van gewasonderzoek een systeem van bemestingsadviezen zou kunnen worden opgebouwd, maar vooral praktische motieven hebben de weegschaal naar de kant van het grondonderzoek laten doorslaan.

Wij willen wat meer in detail ingaan op de wijze, waarop onderzoekingen naar de benodigde hoeveelheid meststof worden uitgevoerd. Het gaat hierbij om twee vragen: ten eerste of er een methode van grondonderzoek te vinden is, waarvan de resultaten goed correleren met de reactie van de plant, en ten tweede welke hoeveelheden meststof bij verschillende analysecijfers van de grond nodig zijn. Het eerste punt vereist een combinatie van laboratorium- en veldonderzoek. Het zou onjuist zijn te menen, dat een praktisch bruikbare methode van grondonderzoek in het laboratorium onder uitsluitende toepassing van kennis van de bodemscheikunde ontwikkeld kan worden. De ervaring heeft geleerd dat de resultaten van veldproeven soms tot een andere bepalingsmethode leidden dan die welke men theoretisch voor de beste hield. Het is dan ook kenmerkend voor het onderzoek van het instituut op dit gebied, dat de ontwikkeling van methoden en de toetsing daarvan te velde of in potten hand in hand gegaan zijn. In verband daarmee wordt een grote collectie grondmonsters van oude pot- en veldproeven bewaard, zodat voor de toetsing van nieuwe methoden steeds op oude proefresultaten kan worden teruggegrepen.

Er is geen universeel voorschrift te geven voor de wijze, waarop onderzoekingen van het hier behandelde type moeten worden uitgevoerd, maar wel kunnen enkele punten waarop moet worden gelet, worden genoemd.

Wat de analysemethode betreft, is het niet nodig de voor de plant beschikbare hoeveelheid voedingsstof vast te stellen, zoals men nog wel eens denkt. Waarschijnlijk is dat zelfs onmogelijk. Het is voldoende de een of andere maat te vinden, die met de beschikbare hoeveelheid goed correleert. Wel moet gestreefd worden naar een snelle, voor routine bepalingen gemakkelijk uitvoerbare methode, die gestandaardiseerd is en reproduceerbare uitkomsten oplevert.

De landbouwkundige toetsing eist een breed traject van de te onderzoeken factor. Wil men bijv. nagaan, hoe het K-gehalte van kleigrond geïnterpreteerd moet worden, dan zal men proefpercelen zowel met lage als met hoge K-gehalten in het onderzoek moeten betrekken. Bovendien moet men streven naar een zo breed mogelijk traject van andere factoren, van welke men op grond van theoretische of praktische inzichten een invloed op de landbouwkundige waardering van de centraal gestelde factor verwacht. Voor het K-onderzoek op kleigrond bijv. moest worden gezorgd voor een grote variatie in gehalte aan afslibbare delen en in kalktoestand, beide zowel bij hoge als bij lage K-gehalten van de grond. Dat houdt dus in, dat men òf na veel voorbereidend werk een zorgvuldige selectie van proefpercelen uitvoert òf uitgaat van een zeer groot aantal percelen, in de hoop dat de gewenste spreiding door het grote aantal van zelf wordt verkregen. Bij deze werkwijzen leert men naast de betekenis van de hoofdfactor die van nevenfactoren kennen en vergroot daardoor de mogelijkheid van het geven van een advies per perceel. De verantwoording van de werkwijzen wordt door FERRARI in dit gedenkboek gegeven.

Voor de opzet van de individuele proeven is meestal het type met opklimmende giften gekozen, waardoor de reactie van het gewas vrij gemakkelijk is vast te stellen. In enkele gevallen, waarbij het in hoofdzaak ging om een toetsing van grondonderzoek, is uitgegaan van proefplekken zonder doelbewuste variaties aan te brengen zoals bij proefvelden gebruikelijk is (FERRARI 1960, ook in dit gedenkboek). Een punt van overweging bij de toetsing van grondonderzoek is de maat, waarmee men de reactie van de plant meet. Het is het best hiervoor een kenmerkende eigenschap te nemen, die gevoelig op de in studie genomen factor reageert. Dit behoeft lang niet altijd de opbrengst of de opbrengstvermeerdering te zijn. Zo is bijv. het K-gehalte van het loof van fabrieksaardappelen een nauwkeuriger maat voor de kalitoestand van de grond dan de door bemesting met kali teweeggebrachte stijging van de opbrengst. En deze is soms weer gevoeliger dan de stijging van het uitbetalingsgewicht.

Met het bovenstaande hebben wij getracht duidelijk te maken dat om tot

de huidige adviezen te komen, een groot aantal proefvelden nodig is geweest. Toch is dat aantal nog geringer dan in sommige andere landen. Dat hier desondanks een veel verdergaand advies op basis van grondonderzoek kan worden gegeven, is bereikt dank zij de doeltreffende stelselmatigheid in de opzet van de proefseries, die scherp afsteekt tegen de wijze waarop in vele andere landen is tewerk gegaan.

Om een indruk te geven van de gang van zaken bij de opstelling van een adviesschema zullen wij enkele voorbeelden beknopt behandelen. Daarvoor kiezen we het bekalkingsadvies voor zandbouwland, het kalibemestingsadvies voor grasland en het advies voor koperbemesting van bouwland.

Kalk

Het werk van HUDIG over de kalktoestand is door andere onderzoekers voortgezet. Bepalingsmethoden zijn in het laboratorium beproefd en op het veld getoetst. Dat leidde in 1934 tot vervanging van het oude kalktoestandscijfer door de combinatie van pH en kalkfactor. Het kalktoestandscijfer gaf de hoeveelheid kalk aan, die per gewichtseenheid humus nodig is om een bepaalde pH te bereiken. Het werd bepaald door titratie. De kalkfactor, d.i. de hoeveelheid kalk nodig om de pH met 0,1 te verhogen, bleek globaal berekend te kunnen worden uit de hoeveelheid adsorberend materiaal in de grond. De afschaffing van het kalktoestandscijfer betekende voor het laboratorium een sterke vereenvoudiging. In 1952 werd de pH-bepaling, voordien uitgevoerd in een suspensie van grond in water, vervangen door de pH-KCl, bepaald met 1 n KCl-oplossing. Hieraan was een uitvoerige studie over het voor en tegen van beide methoden voorafgegaan. Door de overgang werd het bezwaar van de sterke seizoenschommelingen van de pH vrijwel opgeheven, waardoor een stabielere norm voor het bekalkingsadvies werd verkregen.

Het nog eenvoudige adviesschema van HUDIG (1928) kon in de loop der jaren door het ter beschikking komen van gegevens van talrijke proefvelden sterk worden uitgebreid. De proefvelden bestonden gewoonlijk uit enkele kalktrappen, al of niet met andere factoren gecombineerd. Door vergelijking van de opbrengsten met op de verschillende objecten gevonden pH-waarden werden opbrengstkrommen bepaald. Samenvattingen hiervan zijn gemaakt door BRUIN (1936, 1938) en VISSER (1938, 1939, 1943) voor granen en hakvruchten, CASTENMILLER (1948) voor de meest voorkomende bouwlandgewassen, SLUIJSMANS en BOSKMA (1959) voor bieten en BOSKMA (1964) voor stoppelknollen.

De per gewas samengevatte reacties zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1. Verband tussen pH en relatieve opbrengst op zandgrond (BOSKMA 1964).

	pH-KCl				
	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
rogge	80	97	**100**	99	97
stoppelknollen	69	85	96	**100**	**100**
haver	68	92	99	**100**	**100**
bieten	30	62	77	84	90
zomergerst	40	85	97	99	**100**
aardappelen	82	97	**100**	97	94

Deze tabel is de basis, waarop het huidige adviesschema voor zandgrond berust. De verschillen in reactie van de gewassen noodzaken tot een onderscheid in de adviezen in afhankelijkheid van het bouwplan.

Bij de opstelling van de bekalkingsadviezen werd behalve met het bouwplan nog met andere factoren rekening gehouden. Het toenemende optreden van aardappelschurft na bekalking was een motief om in sommige streken met veel poterteelt een lagere pH te adviseren dan elders bij overigens gelijk bouwplan. Bij hoog humusgehalte kunnen de gewassen met een lagere pH volstaan dan bij laag gehalte. Op kaliarme rivierklei, waar kaligebrek door bekalking in de hand wordt gewerkt, wordt lager geadviseerd dan op niet K-fixerende grond. Aan de kalktoestand van zware kleigronden worden hogere eisen gesteld dan aan die van lichte.

Een en ander heeft tot gevolg, dat er een groot aantal schema's ontstaan is, waarin evenwel door uitbreiding van de kennis zeker nog verbeteringen zijn aan te brengen.

Kali

Als tweede voorbeeld nemen we het onderzoek naar de kalibemesting van grasland.

Afgezien van een vrij korte tijd in de beginperiode van het Bedrijfslaboratorium is voor de bepaling van de kalitoestand van de grond verdund zoutzuur gebruikt. Een strijdpunt is geweest of men de aanwezige hoeveelheid kali op een gewichtshoeveelheid grond moest betrekken of op het adsorptieve materiaal. Op zuiver hypothetische gronden koos HUDIG voor zandgronden het laatste. Voor kleigronden werd (later) besloten het eerste te nemen, omdat men niet overtuigd was of het wel zinvol was op het adsorptiecomplex te betrekken en geheel in onzekerheid verkeerde in welke mate dit zou moeten. De enige juiste methode om tot een oplossing van deze moeilijkheid te komen was een toetsing van K-HCl, d.i. de hoeveelheid kali betrokken op grond, en daarbij na te gaan, of

en in welke mate de hoeveelheid adsorberend materiaal in rekening moest worden gebracht. Deze door VAN DER PAAUW uitgevoerde onderzoekingen leidden tenslotte tot een reeks van op verschillende wijzen berekende kaligetallen, waarin de empirische gevonden invloeden van nevenfactoren geïncorporeerd zijn. Deze getallen hebben het voordeel de beschikbaarheid van kali op de desbetreffende grond in één cijfer weer te geven.

Een eerste toetsing van de landbouwkundige betekenis van het kaligetal voor grasland is door VAN DER PAAUW (1936) uitgevoerd met behulp van 23 kalihoeveelheden – proefvelden in 1932—1935. Hij bracht de resultaten van de afzonderlijke proefvelden met elkaar in verband via hun bijbehorende K-getallen. Deze aanpak, die karakteristiek is voor de toetsing, vinden we later steeds terug. De redenering is, dat wil het grondonderzoek praktische betekenis hebben, er een verband moet zijn tussen de op de verschillende percelen vastgestelde cijfers van grondonderzoek en de reacties van het gewas, in dit voorbeeld dus tussen het K-getal en de door bemesting met kali verkregen opbrengstvermeerdering of het K-gehalte van het gras. In dit eerste onderzoek werd aangetoond dat een dergelijk verband inderdaad bestaat. Het K-getal was op zichzelf dus een bruik-

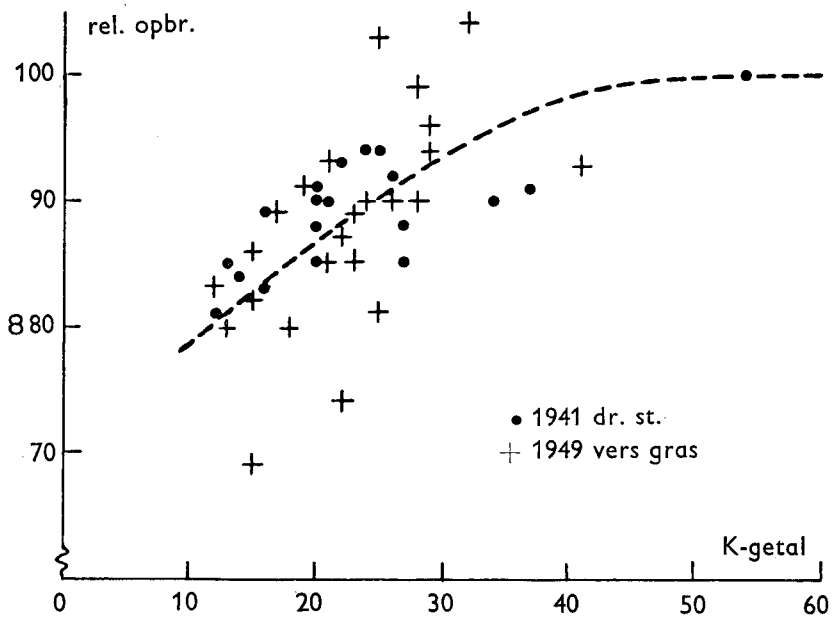


Fig. 1. Verband tussen de relatieve opbrengst van gras en het K-getal op zandgrond volgens twee series proefvelden.

bare maatstaf. Latere onderzoekingen van VAN DER PAAUW (1943) en VAN DER PAAUW en RIS (1953), waaraan fig. 1 ontleend is, bevestigden dit. Steeds weer bleek dat een K-bemesting niet kan worden weggelaten indien het K-getal lager is dan 40, een getal dat men dus als een "grenswaarde" kan beschouwen.

Bij alle onderzoekingen van dit type is de spreiding van de punten om de gemiddelde lijn geanalyseerd. Voor de achtergronden van deze analyse zie het artikel van FERRARI in dit gedenkboek. Met het onderzoeken van afwijkingen wordt beoogd de waarde van de hoofdfactor (i.c. het K-getal) beter tot haar recht te laten komen en daarnaast de invloed op te sporen van nevenfactoren die bij de advisering in rekening kunnen worden gebracht. Naarmate men er aldus beter in slaagt de spreiding te verkleinen, is een perceelsgewijze advisering des te meer gerechtvaardigd. Bij het hier behandelde voorbeeld bleek een geringe, voor de praktijk weinig belangrijke invloed van de pH te bestaan. Werd K-HCl als hoofdfactor genomen, dan bleek bovendien een invloed van het humusgehalte op te treden. Dit was dus in overeenstemming met de verwachting van HUDIG, zij het dat de gevonden invloed kleiner was dan hij had gedacht.

Met het aantonen van de bruikbaarheid van het K-getal, het vinden van een grenswaarde en het onderzoek naar nevenfactoren kan niet worden volstaan. De praktijk verwacht richtlijnen voor de toe te passen hoeveelheden meststof. Een daarop gericht resultaat geeft fig. 2, ontleend aan een serie in 1941 uitgevoerde proeven. Bij K-getallen van 15 of lager blijkt voor de eerste snede een gift van 140–220 kg K_2O nodig, bij 20 is 140 kg voldoende enz.

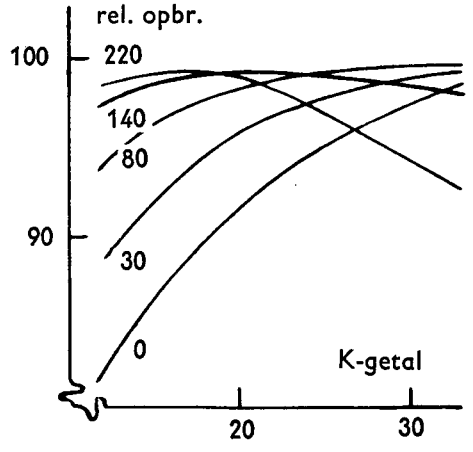


Fig. 2. Verband tussen de opbrengst en het K-getal van zandgrasland bij verschillende grootte van de kalibemesting.

Hadden we alleen te maken met de hooiproduktie van de eerste snede, dan zou een resultaat als fig. 2 voldoende zijn als basis voor het bemestingsadvies. Het gaat bij grasland echter om meer sneden en bovendien niet alleen om hooi, maar ook om kuil- en weidegras. Daarbij speelt de chemische samenstelling uit een oogpunt van veevoeding een belangrijke rol. Ook dit aspect moest dus een rol spelen bij de opstelling van de adviezen.

Hoewel de betekenis van de kalitoestand van het grasland nog niet in alle opzichten bevredigend is onderzocht, zijn er toch normen opgesteld voor de bemesting bij beweiding. Daarbij heeft de overweging, dat vrijwel alle door het vee opgenomen kali weer via faeces en urine op het land terugkomt, meegeteld. Voorts zijn de normen wat aan de veilige kant gehouden in verband met het gevaar voor kopziekte. Om deze reden is een K-getal 20, waarbij zonder bemesting nog altijd een opbrengstdepressie van ongeveer 10 % optreedt, "goed" genoemd. Uit het onderzoek is gebleken dat dit verantwoord is. Bij lage K-gehalten van de grond kan men nl. door bemesting een even hoge opbrengst bereiken als bij hoge K-gehalten, terwijl het een voordeel is, dat in het eerste geval het K-gehalte in het gras lager is ('T HART en VAN DER PAAUW 1942).

Koper

Bij het onderzoek over sporenelementen, dat na 1953 flink op gang gekomen is, is dezelfde weg gevolgd. Nemen we koper op bouwland als voorbeeld. HENKENS (1957, 1958) begon met een toetsing van de Cu-Aspergillus-methode, die was uitgewerkt door MULDER en GERRETSEN. In enkele series proefvelden verkreeg hij hiermee goede resultaten, in het bijzonder met zomertarwe (fig. 3). Als grens-

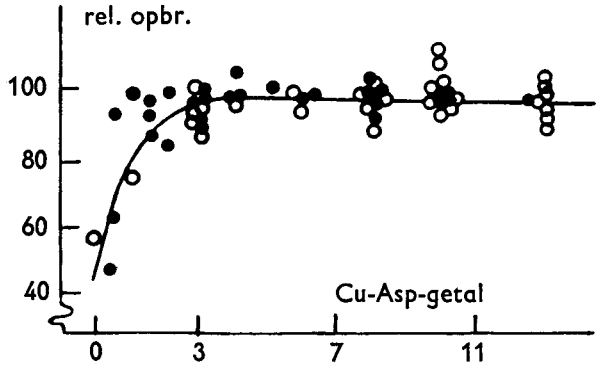


Fig. 3. Verband tussen de opbrengst van zomertarwe en het kopergehalte van de grond bij twee series proeven.

waarde stelde hij 2 mg per kg grond voor haver en 3 voor tarwe vast. Ook hier werd weer nagegaan of de afwijkingen van de punten van de gemiddelde lijn samenhingen met andere factoren. Er werd hierbij een geringe en niet in alle series proeven optredende invloed van de pH en van het humusgehalte gevonden. Aan de proefvelden werden eveneens normen voor de toe te passen kopergiften ontleend.

De laboratorium-technische bezwaren van de Aspergillusmethode deden omzien naar een voor routine-analyses geschiktere bepaling, die vervolgens opnieuw een toetsing aan veldproeven behoefde. De oude grondmonsters werden daarom opnieuw onderzocht volgens verschillende methoden (HENKENS 1961). De salpeterzuurmethode werd tenslotte gekozen op grond van de betrekkelijk kleine fout en de snelheid van uitvoering. Het resultaat van de landbouwkundige toetsing is weergegeven in fig. 4, die de basis is voor het huidige koperadvies.

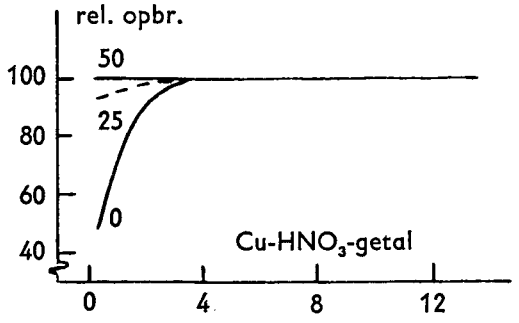


Fig. 4. Verband tussen de opbrengst van zomertarwe en het kopergehalte van de grond bij verschillende giften kopersulfaat.

Het onderzoek naar de gewenste hoeveelheden meststof op basis van grondonderzoek, dat jarenlang veel werkkracht van instituut en voorlichtingsdienst gevraagd heeft, lijkt in een stadium van voorlopige consolidatie te komen. Thans is nog niet te voorzien of en wanneer voortgezet specialistisch onderzoek met principieel andere methoden zal noodzaken het in deze paragraaf behandelde vraagstuk opnieuw ter hand te nemen. De mogelijkheid daartoe moet zeker blijven bestaan.

2. Meststofsoorten

De vooruitgang in de fabrikage van meststoffen met het daaruit voortvloeiende aanbod van nieuwe produkten maken het noodzakelijk, dat een deel van de werk-

kracht van het instituut voor onderzoek op dit terrein wordt gereserveerd. Uit het grote aantal publikaties blijkt welk belang hieraan in het verleden gehecht werd en ook thans nog wordt. Wij doen slechts een greep wanneer we daarvan noemen het onderzoek van DE VRIES en VISSER (1934), FRANKENA (1936, 1938), VISSER (1938) over stikstofmeststoffen, van VAN DER PAAUW (1935, 1938, 1939, 1940, 1945, 1949, 1950), MULDER (1953) en VAN BURG (1963) over fosfaatmeststoffen, van VAN ITALLIE (1933, 1934) en PRUMMEL (1956) over kalimeststoffen en van BRUIN en ROWAAN (1947) over kalk- en magnesiameststoffen.

Het vergelijkende onderzoek van meststofsoorten is zeker niet eenvoudig. Pas wanneer een produkt onder verschillende omstandigheden is onderzocht, is het mogelijk zich een min of meer volledig beeld over zijn werking te vormen. Een aanpak met enkele proefvelden is doorgaans onvoldoende. Bij de opzet van de afzonderlijke proeven moet terdege rekening worden gehouden met de grootte van de te verwachten effecten, met eventuele nevenwerkingen van de meststoffen enz. Daardoor komt men al gauw tot vrij grote aantallen proefvelden met een vrij gecompliceerde opzet.

Uiteraard heeft het instituut aandacht moeten besteden aan nieuwe meststoffen, die op de markt kwamen. Bij het nagaan van de onderwerpen, waaraan in de loop der jaren is gewerkt, valt het evenwel ook op, dat sommige reeds vroeger uitgevoerde vergelijkingen van bepaalde meststoffen later opnieuw aan de orde gesteld zijn. Het is interessant juist deze gevallen eens nader onder de loep te nemen.

Waarom wordt bepaald onderzoek later herhaald? In het algemeen kan men zeggen, dat het hierbij gaat om een vergelijking onder andere omstandigheden, om een bestudering van nieuwe gezichtspunten of om een noodzakelijke uitbreiding van de gegevens. Wij zullen ter demonstratie drie voorbeelden behandelen.

FRANKENA (1936) vergeleek de werking van chilisalpeter, kalksalpeter, kalkammonsalpeter en zwavelzure ammoniak op grasland. In de veronderstelling dat de grondsoort van invloed zou kunnen zijn, werden twee proefvelden aangelegd op klei, één op laagveen en één op zandgrond. Op elk proefveld werd een variatie aangebracht in stikstofhoeveelheden en in maaitijden. Met het laatste werd beoogd een eventueel verschil in werkingssnelheid op te sporen. De meststoffen werden eind maart toegepast. Gemiddeld over de maaitijden bleek het effect van de meststoffen op de opbrengst weinig uiteen te lopen. Werden echter de produkten alleen vergeleken naar hun effect op de opbrengst bij vroeg maaien, dan kwamen de nitraten iets gunstiger voor de dag dan kalkammonsalpeter, terwijl zwavelzure ammoniak duidelijk achterbleef.

Ondanks dit voor za ongunstige resultaat en ondanks andere minder gunstige eigenschappen van dit produkt begon VAN BURG (1962, 1963) vele jaren later opnieuw een vergelijkend onderzoek, nu echter van een andere gezichtshoek uit. Hij ging ervan uit, dat het voor de boer van belang is zo vroeg mogelijk in het voorjaar over weidegras te kunnen beschikken. Bekend was, dat daarvoor de stikstof vroeg gegeven moet worden. De vraag was of za zich voor vroege bemesting in verband met de kleinere mogelijkheid van uitspoeling beter zou lenen dan de nitraatmeststoffen of de gebruikelijke kas. Met het oog daarop werd in verschillende veldproeven het tijdstip van toediening van de meststoffen gevarieerd van het najaar af tot laat in het voorjaar. Door periodiek te oogsten werd de datum vastgesteld, waarop het weidestadium (2000 kg droge stof) bereikt werd. Het resultaat van twee proeven wordt gegeven in fig. 5. Bij vroege be-

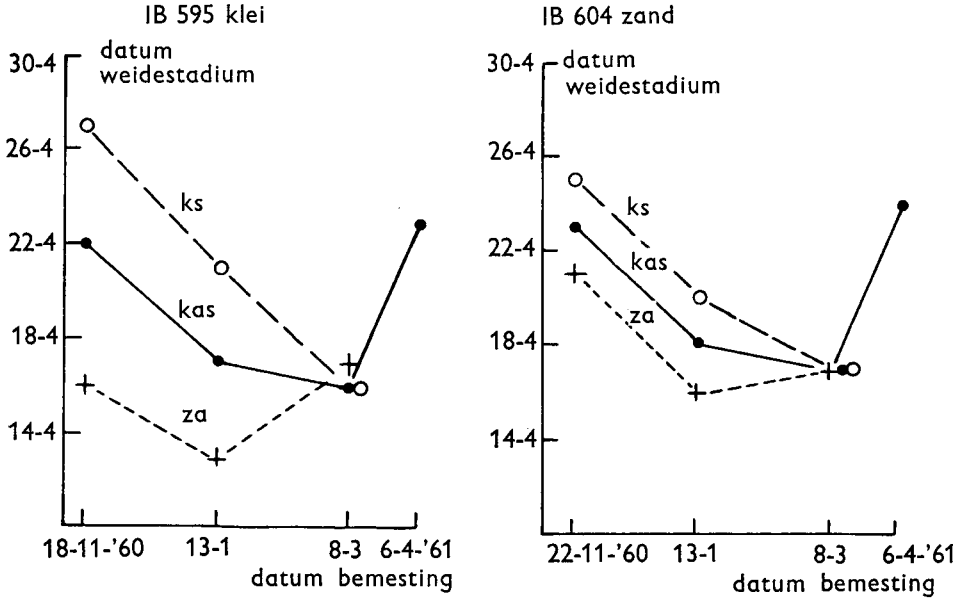


Fig. 5. Invloed van de soort stikstofmeststof en de tijd van toediening op de datum van het weidestadium.

mesting met za werd dit stadium eerder bereikt dan met kas en ks. Dit is dus een positief punt voor deze meststof, dat in het vroegere onderzoek door het ontbreken van variatie in tijdstip van bemesting niet was onderkend.

Een voorbeeld van geheel andere aard ontmoeten we in het onderzoek over de invloed van verschillende meststoffen op de kalktoestand van de grond. De

resultaten van de proeven, die door HUDIG in 1915 en 1916 werden aangelegd, zijn door DE VRIES en VISSER (1934) samengevat. Zij constateerden de thans algemeen bekende verschillen van zuur en alkalisch werkende stikstofmeststoffen. Bovendien slaagden zij erin aan te geven, tot welke waarde de pH van de grond bij voortgezet gebruik van de verschillende produkten zal dalen of stijgen, wanneer men rekening houdt met de meststofgiften en met de hoeveelheid adsorberend materiaal in de grond. Deze op zichzelf interessante evenwichtswaarden houden echter voor de praktijk meer een waarschuwing in om het niet zo ver te laten komen dan dat zij richtlijnen geven hoe de verzurende of alkalische effecten gecompenseerd kunnen worden. Enkele jaren later komt VISSER (1938) met een concreet gegeven hierover. Volgens zijn onderzoek komt één kg stikstof gegeven als za voor grasland resp. bouwland overeen met een onttrekking van 4 resp. 5 kg $CaCO_3$. CASTENMILLER (1950) vindt, dat voor het behoud van een vrij goede pH op zand- bouwland per kg stikstof als za 9 kg $CaCO_3$ nodig zijn (inclusief de compensatie van het normale uitspoelingsverlies). Bij deze en enkele andere incidentele uitspraken is het gebleven totdat enkele jaren geleden het gebruik van mengmeststoffen sterk ging toenemen. Er ontstond toen behoefte aan meer kennis over hun eigenschappen o.a. over hun invloed op de kalktoestand.

De traditionele aanpak met pot- en veldproeven zou veel geld en tijd kosten, ook al wegens het omvangrijke assortiment. Daarom werd gezocht naar een methode om zonder nieuwe proeven maar op grond van bekende gegevens over de werking van enkelvoudige meststoffen tot een voorspelling over die van mengmeststoffen te komen. Daarmee kwam dus opnieuw de werking van za, chs enz. aan de orde.

Gelet op de principes, die aan de verzurende resp. alkalische werking van meststoffen ten grondslag liggen, kon in onze gedachtengang de werking van een meststof worden opgevat als de som van de effecten van de samenstellende componenten (voor za bijv. als de som van de effecten van 2 NH_4 en SO_4). Het ging er nu maar om het (bekende) effect van enkelvoudige produkten op te splitsen in de de effecten van de componenten, waarna dat van een willekeurige mengmeststof kon worden berekend. Uit een literatuurstudie bleek, dat deze gedachtengang reeds omstreeks 1930 in de Verenigde Staten door PIERRE gevolgd en uitgewerkt was. Volgens het geschetste principe was men daar zelfs tot een formule gekomen, waarmee het kalkaanvoerende of – onttrekkende effect kon worden berekend. Het kostte betrekkelijk weinig moeite deze te toetsen en enigszins te corrigeren voor Nederlandse omstandigheden. Het resultaat van deze studie gaf SLUIJSMANS (1961) in een formule. Bij toepassing van deze formule vinden we voor za per kg stikstof een kalk ontrekkend effect op bouwland van ongeveer

5,5 kg $CaCO_3$. De vroeger door VISSER gevonden waarde van 5 kg past daar goed bij.

Met deze formulering is het probleem van de invloed van meststoffen op de kalktoestand van de grond algemeen gesteld en naar wij menen voor praktische doeleinden opgelost.

Tenslotte willen wij nog een onderzoek behandelen, dat betrekking heeft op de oplosbaarheid en korreling van fosfaathoudende meststoffen. Toen fosfaat-ammonsalpeter op de markt kwam vergeleek VAN DER PAAUW (1945) verschillende soorten van dit produkt, waarbij hij rekening hield met de korrelgrootte en de oplosbaarheid van het fosforzuur in water. De werkzaamheid van het bestanddeel dicalciumfosfaat in de gekorrelde produkten bleek duidelijk minder te zijn dan die van superfosfaat of poedervormig dicalciumfosfaat. Naarmate de korrels groter werden, nam hun werking af, in tegenstelling met hetgeen bij geheel in water oplosbare fosfaten het geval was. Op sterk fosfaatvastleggende grond werd de werking van superfosfaat bij korreling zelfs beter.

De belangstelling voor deze kwestie herleefde sterk bij de snel stijgende toepassing van mengmeststoffen. Om richting te geven aan de fabrikanten nam VAN BURG (1963) een groot aantal proeven met verschillende soorten fosfaat-ammonsalpeter. Hij concludeerde dat voor gebruik op granen en grasland volstaan kan worden met produkten waarvan het fosfaat voor de helft in water oplost, maar dat voor aardappelen een vrijwel volledige oplosbaarheid nodig is. Voorts bevestigde hij de door VAN DER PAAUW gevonden interactie tussen oplosbaarheid in water en korrelgrootte, althans bij gebruik van de produkten op zure gronden. Voor gronden met vrije koolzure kalk vond hij, dat korreling ongunstig is, ook als het fosfaat geheel in water oplosbaar is. Het onderzoek resulteerde tenslotte in duidelijke richtlijnen voor de industrie betreffende de gewenste korrelgrootte en wateroplosbaarheid.

Vermeldenswaard is de ontwikkeling in de richting van diepergaand speurwerk om meer inzicht te krijgen, dat zich op verschillende gebieden van het werkterrein van het instituut aftekent en zo ook bij het vergelijkend onderzoek van meststoffen. Ter demonstratie geven wij een voorbeeld van een onderzoek, dat VAN BURG (1963) koppelde aan het hierboven behandelde onderwerp. Op grond van zijn gegevens betreffende de opneming van fosfaat door de planten en waarnemingen van de stand van het gewas vermoedde hij, dat de invloed van de korrelgrootte op het effect van een meststof verband zou moeten houden met de kans, dat een plantenwortel een korrel ontmoet. Naarmate de korrel groter wordt, neemt het aantal korrels per gewichtseenheid fosfaat af en neemt ook de trefkans dus af. De nadelige invloed van grotere korrels zou in deze gedachtengang dus geheel of ten dele een kwestie van trefkans zijn. Om deze

hypothese te toetsen werden enkele proefprodukten gemaakt. Een van deze werd vervaardigd in partijtjes van gelijke korrelgrootte, maar variërend in P-gehalte per korrel door toevoeging van een indifferente vulstof. Door dezelfde P-gift van elk toe te dienen werd bij gelijke korrelgrootte een brede variatie in het aantal korrels verkregen. Het effect op de opbrengst bleek toe te nemen met stijgend aantal korrels. Voorts werden van een produkt partijtjes vervaardigd met toenemende korrelgrootte, maar met gelijke P-hoeveelheid per korrel. Bij dezelfde P-gift waren op de objecten dus evenveel korrels aanwezig, die alleen in grootte verschilden. Het effect bleek nu het gunstigst bij de grote korreldiameter. Met deze proeven werd de trefkans-hypothese sterk ondersteund en het inzicht in de verschillen tussen meststoffen aanmerkelijk verdiept.

Zonder te willen stellen dat het onderzoek naar de achtergronden van de verschillende werking van meststoffen in het verleden is verwaarloosd (zie bijv. het werk van BRUIN en ROWAAN (1947) over de invloed van fijnheid en bindingsvorm van kalkmeststoffen, van VAN DER PAAUW (1938, 1950) over de werking van thomasmeel en superfosfaat, van KORTLEVEN (1957, 1959) over de werking van stikstof in stalmest), menen wij dat het gewenst is hierop in de toekomst meer nadruk te leggen. Wij zullen vooral moeten proberen het principiële in het verschillende gedrag van meststoffen te leren kennen om met behulp daarvan een oordeel te kunnen geven over nieuwe produkten van soortgelijke aard. Ongetwijfeld zal daarvoor nog veel onderzoek in pot- en veldproeven en in het laboratorium en vooral veel "denkwerk" nodig zijn.

Tijd en wijze van bemesting

Bezien wij de onderwerpen, die aan het instituut in studie zijn geweest wat betreft het tijdstip van de bemesting, dan treft ons vooral de verscheidenheid in de overwegingen, die tot de diverse onderzoekingen hebben geleid. De volgende voorbeelden mogen dit toelichten.

Bij het in de vorige paragraaf behandelde onderzoek van VAN BURG (1962, 1963) over de invloed van stikstofsoorten op de vroegheid van het weidegras werd de tijd van toediening gevarieerd. De achtergrond hiervan was de gedachte dat ammoniumzouten onder koude en natte omstandigheden van najaar en winter minder zouden uitspoelen dan nitraatmeststoffen en dat daardoor de tijd van toediening van invloed kon zijn op het verschil in werking van meststofsoorten. De resultaten van het onderzoek bevestigden de verwachting. Aan uitspoeling werd eveneens gedacht bij het onderzoek over de tijd van toediening van kalimeststoffen aan aardappelen. Uit oud onderzoek o.a. van SJOLLEMA (1899) was gebleken, dat chloorhoudende produkten een ongunstige invloed uitoefenen op het droge stofgehalte van de knollen. Het lag daarom voor de hand toediening

in najaar en voorjaar te vergelijken. Bij de vroege toediening zou het chloor onder invloed van de winterregens kunnen uitspoelen, terwijl kalium meer of minder zou worden vastgehouden. VAN ITALLIE (1933, 1934) en PRUMMEL (1956) toonden aan, dat chloorschade door toediening in de herfst inderdaad sterk kan worden beperkt. Dit gaat echter gepaard met een zij het klein verlies aan kali.

Behalve met uitspoeling is bij de onderzoekingen over het tijdstip van bemesting ook rekening gehouden met vastlegging. Zo concludeert PRUMMEL (1962), dat een bemesting met fosfaat op kalkrijke gronden in het najaar waarschijnlijk als gevolg van vastlegging, minder gunstig is dan een in het voorjaar. Hetzelfde geldt voor kalibemesting op rivierklei.

Anders dan in de tot nu toe genoemde onderzoekingen is er bij de vergelijking van de toediening van thomasslakkenmeel in herfst en voorjaar juist van uitgegaan, dat dit produkt mogelijk een tijdlang de inwerking van de grond moet ondergaan om tot een goede werking te komen en daarom meer op een vroege toediening aangewezen zou zijn. VAN DER PAAUW (1939) kon deze opvatting, die door de praktijk was aanvaard, maar die als gevolg van een door de producent op grond van aanvechtbare proeven gevoerde propaganda aan het wankelen was gebracht, met behulp van betrouwbare proeven volledig bevestigen.

Weer geheel andere overwegingen leidden ertoe het tijdstip van de stikstofbemesting van granen aan een nadere studie te onderwerpen. Geïnspireerd door het werk van andere Nederlandse onderzoekers (VAN DOBBEN, DILZ, JONKER) besteedde het instituut de laatste jaren aandacht aan de z.g. late bemesting van granen. Door variatie in het tijdstip van bemesting wordt ernaar gestreefd het gevaar voor legering te verminderen met behoud of zelfs verhoging van de opbrengst aan korrels. Het gaat hier om een aanpassing aan de fysiologische eigenschappen van het gewas en de stikstofhuishouding van de grond. Door VAN BURG (1958, 1959, 1960, 1961) en FERRARI (1959) werden resultaten gepubliceerd.

Het onderzoek over de late bemesting van aardappelen met kali had weer een andere motivering. Zichtbare verschijnselen van kaligebrek zijn in de praktijk niet zeldzaam. Vooral in de veenkoloniën, waar met het oog op hoge zetmeelgehalten aan de schrale kant wordt bemest, is er altijd een zeker risico. De vraag was of men dit gebrek door een late overbemesting kon genezen en tot welk moment in de ontwikkeling van het gewas dit nog mogelijk is. PRUMMEL (1958) heeft bij zijn onderzoek hiervoor geruststellende ervaringen opgedaan en daarmee een bijdrage geleverd voor een betere beheersing van opbrengst en kwaliteit van de aardappel.

Alle bovengenoemde onderwerpen hebben betrekking op de keuze van het tijdstip binnen een tijdsbestek van een jaar. Men kan het vraagstuk ook ruimer be-

bezien en zich bijv. afvragen, of het nodig is elk jaar te bemesten of dat eventueel kan worden volstaan met één keer te bemesten voor een reeks van jaren, met andere woorden toepassing van verse of voorraadbemesting.

Het behoeft geen betoog meer, dat bij de kalkvoorziening van de grond het accent moet liggen op de vorming van een voorraad .Daarentegen zal het bij stikstof wel overwegend op een jaarlijkse bemesting blijven aankomen. Anders ligt het voor fosfaat en kali, vooral voor het eerste. Het is een oude strijdvraag of men met fosfaat "de grond " moet bemesten en naar een ruime toestand moet streven of dat de bemesting meer direct op de voeding van "de plant" gericht moet zijn. Wij zullen dit onderwerp wat uitvoeriger behandelen om te laten zien welke facetten een dergelijk vraagstuk kan hebben.

Voorstanders van een voorraadbemesting betogen, dat een overmaat aan fosfaat de vruchtbaarheid van de grond verhoogt en dat de voorraad in de grond behouden blijft. Ingeval door bepaalde omstandigheden geen fosfaat zou kunnen worden gegeven (zoals in Nederland in de oorlogsjaren) of de bemesting bijv. door droogte onvoldoende tot werking zou komen, zou de oogst door de aanwezige voorraad toch verzekerd zijn. Zwak in deze gedachtengang is de veronderstelde stabiliteit van de voorraad. Door VAN DER PAAUW (1957) werd gevonden, dat bij sterke verhoging van de P-toestand op verschillende grondsoorten belangrijke verliezen kunnen optreden. Handhaving daarvan is dus kostbaar, hetgeen nog sterker spreekt op ijzerhoudende gronden, waar veel meststof nodig is om de toestand te verhogen.

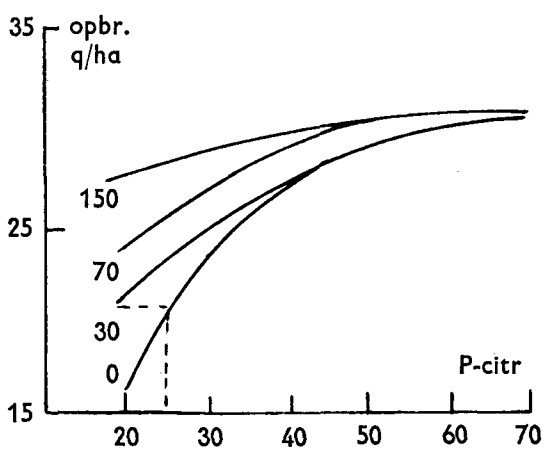


Fig. 6. Vergelijking tussen de werking van vers gegeven fosfaat en bodemfosfaat bij maïs.

Een belangrijk bezwaar is voorts, dat de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas geleidelijk achteruitgaat. Dit is aangetoond op proefvelden, waar voorraadbemesting vergeleken werd met verse bemesting. Fig. 6 geeft hiervan een voorbeeld. Het effect van 30 kg vers toegediend P_2O_5 komt in dit geval overeen met 6 eenheden bodemfosfaat, corresponderende met een voorraadgift van 260 kg P_2O_5. Gemiddeld over een groot aantal proeven bleek het verse fosfaat ongeveer drie keer zo goed te werken als fosfaat, dat eerder in de grond is gebracht en daarin veranderingen heeft ondergaan.

Het is dus duidelijk, dat een verse bemesting de voorkeur verdient, maar om risico's te vermijden zal naar een zekere voorraad moeten worden gestreefd. Afgezien van de mogelijkheid, dat om de een of andere reden niet met fosfaat kan worden bemest, zou het wel gemotiveerd zijn op een betrekkelijk laag niveau te werken, mits men verzekerd zou kunnen zijn van een hoog rendement van een verse gift. Bij de in ons land gebruikelijke breedwerpige bemesting is dat meestal niet het geval. Wij komen daarmee tot het tweede gedeelte van deze paragraaf, de wijze van bemesting.

Tegen de breedwerpige bemesting zijn verschillende bezwaren in te brengen. Wegens de oppervlakkige en sterk verspreide ligging blijft een deel van de meststof in de eerste tijd buiten het bereik van de plantenwortels, terwijl juist voor de jeugdgroei een ruime beschikbaarheid van voedingsstoffen nodig is. Bij droogte kunnen de meststoffen onvoldoende tot werking komen en tenslotte zal afhankelijk van de grondsoort in meer of mindere mate vastlegging optreden omdat de meststof over een relatief groot volume grond is verdeeld. Om deze reden is het instituut na de oorlog onderzoek begonnen over rijenbemesting, een methode die in Amerika reeds veel werd toegepast, waarbij de meststof in banden in de buurt van het zaad of de knol wordt geconcentreerd. Uit dit onderzoek is een reeks publikaties voortgekomen, voornamelijk van PRUMMEL (1952, 1953, 1954, 1955, 1956, 1958, 1959, 1960, 1962). De resultaten zijn gerekend naar het effect per kg toegediende meststof duidelijk in het voordeel van rijenbemesting. Fosfaat, in rijen toegediend, werkt bij aardappelen gemiddeld twee keer, bij granen twee à drie keer, bij maïs drie en bij peulvruchten vier keer zo goed als bij breedwerpige bemesting. Bij stikstof kan door rijenbemesting ongeveer 20 % op de meststofkosten worden bespaard. Ook op de kalibemesting zijn op kleigronden belangrijke besparingen mogelijk.

Ondanks het feit dat deze kennis intensief uitgedragen is kan men niet zeggen, dat de rijenbemesting in Nederland ingang heeft gevonden, en men vraagt zich af waarom dat niet het geval is. Vermoedelijk speelt de hoge bemestingstoestand hierbij een rol. De meststofbehoefte is daardoor vaak niet groot en de mogelijke besparing is niet erg sprekend. Voorts is ongetwijfeld van belang, dat invoering



Banen en plekken in zomergerst door slechte verdeling van de met een schotelstrooier toegediende stikstofbemesting.

van deze methode een nieuwe en vrij ingewikkelde machine vraagt, terwijl er in de landbouw juist een tendens is de werkzaamheden te vereenvoudigen. De grote verbreiding, die de centrifugaalstrooier de laatste jaren gekregen heeft, wijst daar al op. Bovendien is de gecombineerde zaaimachine-kunstmeststrooier zwaar, wat tot gevolg heeft, dat bij ongunstige omstandigheden pas later dan gebruikelijk kan worden ingezaaid.

Toch menen wij, dat het onderzoek over rijenbemesting nuttig is geweest. Mochten de omstandigheden zich wijzigen in de richting dat de praktijk zich gaat toespitsen op het hoogste rendement per kg toegediende meststof, dan liggen de resultaten klaar voor toepassing. Bovendien moet de theoretische waarde van het onderzoek niet worden onderschat. Het dwong ons bijv. aandacht te schenken aan het nut van pleksgewijze hoge concentraties van meststoffen en daar weer mee samenhangend aan de betekenis van korreling van meststoffen.

Intussen zou het niet juist geweest zijn, indien het instituut was blijven stilstaan bij de besproken rijenbemesting, die uit een oogpunt van rendement van de meststof zo voortreffelijk voor de dag kwam. De weg van de praktijk die zich richtte op een ruwere bemestingswijze (centrifugaalstrooier), werd met aandacht gevolgd. Er is daarom in samenwerking met ander instanties onderzoek uitgevoerd naar de strooiregelmaat van kunstmeststrooiers. Voorts is nagegaan, wat bij breedwerpige bemesting een onregelmatig strooibeeld betekent voor de opbrengst van het gewas. Een en ander resulteerde in richtlijnen voor het gebruik van deze machines in de praktijk (PRUMMEL e. a. 1957, 1959, 1962, 1964).

Het is vooruit moeilijk te zeggen welke plaats het onderzoek naar tijdstip en wijze van bemesting in de toekomst aan het instituut zal innemen. Men kan er welhaast zeker van zijn, dat door verschijning van nieuwe meststoffen (bijv. vloeibare), door nieuwe kennis van de werking van meststoffen en van fysiologische eigenschappen van de gewassen of onder drang van de praktijk, die uit arbeidtechnische of andere overwegingen van de oude gebruikelijke weg wil afwijken, steeds nieuwe problemen op dit terrein aan de orde gesteld zullen worden.

Bemesting en vruchtbaarheid van de grond

Is de onderzoeker erin geslaagd aan te geven naar welke vruchtbaarheidstoestand moet worden gestreefd, dan moet hij tevens richtlijnen verstrekken, hoe en binnen welke termijn een dergelijke toestand kan worden bereikt en gehandhaafd. Hij moet dus weten hoe de toestand onder invloed van de bemesting en liefst in afhankelijkheid van allerlei milieufactoren (grondsoort, bouwplan, weersfactoren e.d.) verloopt. Dit geldt zowel voor de anorganische bemestingstoestand als voor factoren, die niet zo gemakkelijk in het laboratorium zijn vast

te stellen, zoals stikstofhuishouding en structuur van de grond. Met dergelijke factoren krijgt men te maken bij het onderzoek over de betekenis van organische bemesting, waarbij we eerst willen stilstaan.

Organische bemesting

Omstreeks 1950 is onder auspiciën van de toenmalige Bodemvruchtbaarheidscommissie een breed opgezet onderzoek over dit vraagstuk begonnen. Verspreid over het gehele land en op verschillende grondsoorten werden bedrijven uitgezocht, die zich leenden voor een indeling van de percelen in groepen met meer en minder intensieve organische bemesting. Soortgelijke objecten werden strooksgewijs naast elkaar vergeleken op een aantal praktijkpercelen. Op enkele proefboerderijen werden ter controle proeftechnisch beter opgezette proefvelden aangelegd. Te Nagele in de Noordoostpolder werden de drie zg. organische-stofbedrijven gesticht. Op het eerste wordt uitsluitend kunstmest toegepast (de Kunstmestakker), op het tweede eens per drie jaar een stoppelgroenbemesting (het Klaverland) en op het derde wordt akkerbouw afgewisseld met kunstweide en wordt intensief van stalmest en groenbemesting gebruik gemaakt (de wisselweide). Het doel van deze drie bedrijven is de betekenis van belangrijk van elkaar onderscheiden wijzen en intensiteiten van verzorging van de grond met organische stof bij een sterk gemechaniseerde bedrijfsvoering na te gaan. Deze bedrijfsvoeringen komen in miniatuur ook op de proefboerderij dr. H. J. Lovink-hoeve voor. Hier zijn stikstofhoeveelhedenproefvelden over de drie behandelingswijzen aangelegd. Er kan een intensieve studie worden gemaakt van de samenhang tussen voorziening met organische stof, bodemfysische factoren en stikstofhuishouding van de grond. De bedoeling is hierdoor inzicht te krijgen in het gedrag van de grond van de drie bedrijven te Nagele.

Al deze proeven zijn meerjarig om effecten die op lange termijn optreden en invloeden als die van het weer te kunnen opsporen. Het beloop van de structuur wordt geregeld nagegaan en de stikstofhuishouding van de grond wordt in vele gevallen, dus niet alleen op de dr. H. J. Lovink-hoeve, getoetst door middel van stikstofhoeveelhedenproefvelden. Door compensering van de in de organische meststoffen aanwezige voedingsstoffen wordt getracht het zgn. "resteffect" van de organische stof zo zuiver mogelijk vast te stellen.

Wat leren deze proeven nu met betrekking tot de vraag of organische bemesting de produktiviteit van de grond verhoogt of beter in stand houdt dan kunstmest alleen?

Het duidelijkst komt de wijziging in de stikstofhuishouding onder invloed van organische bemesting naar voren. GROOTENHUIS (1960) vermeldt over de proeven in de NOP, dat het verschil in vruchtbaarheid zich uit in een toeneming

van de stikstofbehoefte op de Kunstmestakker en een vermindering op de Wisselweide. Op het laatste object komt de teelt van vlas door de sterke stikstoflevering van de grond reeds in het gedrang, op het eerste ziet het ernaar uit dat in de toekomst zelfs aan erwten wat kunstmeststikstof zal moeten worden gegeven. Voor zandgrond laat WISSELINK (1961) zien, dat bij voortgezet intensief gebruik van stalmest de mogelijke besparing op kunstmeststikstof met de tijd toeneemt. WISSELINK stelde vast dat de toenemende besparing bij zeer zware organische bemesting een gevolg is van de daar optredende verminderde stikstofbehoefte en niet van een vergroting van de behoefte op het kunstmestobject. Er vindt dus een ophoping van stalmeststikstof plaats door de zeer intensieve organische bemesting.

Naast een invloed op de stikstofhuishouding is ook, zij het niet altijd erg overtuigend, een effect op de structuur van de grond geconstateerd. Deze wordt zoals verwacht in gunstige richting beïnvloed.

Wat ons vooral interesseert is de vraag of door voortgezette organische bemesting een produktieniveau bereikt wordt, dat met kunstmest alleen niet te verkrijgen is. Dit blijkt inderdaad het geval te zijn. Op het proefveld op de Lovinkhoeve vond GROOTENHUIS (1960), dat het met kunstmeststikstof maximaal bereikbare opbrengstniveau van aardappelen op beide objecten met organische stof gemiddeld over zes proefjaren 5 tot 6 % hoger ligt dan op de Kunstmestakker. Ook suikerbieten tonen zich in dit opzicht dankbaar voor organische bemesting (GROOTENHUIS 1961). Op zandgrond vonden WISSELINK en LUBBERS (1963) bij de knolopbrengst van aardappelen een effect van 3 %.

Waarop dit specifieke effect berust, is nog niet bekend. Men denkt o.m. aan verbetering van de structuur van de grond en de watervoorziening en aan een andere werking van organische gebonden stikstof in vergelijking met die in kunstmest. Door voortgezet onderzoek hoopt men hierover klaarheid te krijgen.

Over het algemeen tonen de proeven duidelijk het belang van organische bemesting aan, al lijken de tot nu toe vastgestelde specifieke effecten niet zo groot als men zich vroeger wel voorstelde. Het belangrijkste resultaat van het onderzoek bestaat hieruit, dat de effecten langzamerhand kwantitatief geïnterpreteerd kunnen worden. Daardoor is een basis ontstaan voor een objectieve vergelijking tussen organische- en kunstmeststoffen.

Een belangrijk aspect van de organische bemesting is ook haar invloed op het humusgehalte van de grond. Dit is bestudeerd door KORTLEVEN (1963). Hij heeft gezocht naar een formule, die het verband aangeeft tussen het humusgehalte en de tijd bij toediening van een bepaalde hoeveelheid organische stof aan de grond. Uitgaande van de veronderstellingen, dat van aan de grond toegevoegd organisch materiaal jaarlijks een vast percentage (de zg. humificatie-

coëfficiënt) wordt gehumificeerd en dat van de humus in de grond jaarlijks een vast percentage (de zg. afbraakcoëfficiënt) wordt afgebroken komt hij tot een formule, waarin het humusgehalte op een bepaald tijdstip wordt uitgedrukt als een exponentiële functie van de begintoestand, de gemiddelde aanvoer van organische stof per jaar, het aantal jaren, bovengenoemde coëfficiënten en een voorraad inerte humus die niet afgebroken wordt. Deze formule is aan het beschikbare proefveldmateriaal getoetst en bleek het verloop van het humusgehalte goed te beschrijven. Tevens kon de waarde van de coëfficiënten onder gemiddelde Nederlandse omstandigheden worden vastgesteld. De humificatiecoëfficiënt heeft een waarde van 30 tot 40, hetgeen betekent, dat 30 tot 40 % van de jaarlijks toegevoerde organische stof gehumificeerd wordt. De afbraakcoëfficiënt bedraagt slechts 1,5 tot 2 %. Een en ander betekent dat de humusvoorraad van de grond niet hoger kan komen dan een gehalte, dat met ongeveer 20 keer de aangevoerde hoeveelheid droge organische stof overeenkomt.

Voorts kon KORTLEVEN vaststellen, dat de werking van verschillende organische produkten als wortelresten, groenbemesting en stalmest op de humushuishouding van de grond even groot is, maar compost en papierpulp wijken af. Weet men verder, dat de grootte van de coëfficiënten in eerste benadering voor alle onderzochte grondsoorten geldt, dan is het duidelijk, dat dit onderzoek veel heeft bijgedragen aan onze kennis hoe naar veranderingen in een zo belangrijke bodemvruchtbaarheidsfactor als het humusgehalte kan worden gestreefd. Overigens moet hierbij worden aangetekend, dat slechts enkele series van proeven de eerste resultaten hebben gebracht over het niveau van het optimale humusgehalte. De belangrijke vraag komt hierbij naar voren of er naar een bepaald humusgehalte moet en kan worden gestreefd, of dat er met een goede regeling van de organische bemesting met een lager gehalte kan worden volstaan. In elk geval blijkt wel, dat er aan de verzorging van de grond met organische stof alle aandacht moet worden besteed.

Anorganische bemesting

Naast de hierboven genoemde ophoping van organische gebonden stikstof kan er onder bepaalde omstandigheden van het gemengde- en weidebedrijf een ophoping van kali en fosfaat plaatsvinden. Men heeft nu eenmaal de beschikking over een bepaalde hoeveelheid stalmest en gier die de boer normaal gesproken op de percelen van zijn bedrijf moet kwijtraken. Intensivering van de veehouderij brengt het gevaar mee dat men vooral ongewenst hoge hoeveelheden kali geeft. De zg. "meststoffenbalans" is een bruikbaar hulpmiddel om de omloop van meststoffen in het bedrijf nader te analyseren. De balansberekening is geïntroduceerd door KUIPERS (1959), destijds rijkslandbouwconsulent voor bodem- en

bemestingsvraagstukken. Aan de ene zijde van de balans worden de hoeveelheden voedingsstoffen geplaatst, die op het bedrijf worden geproduceerd (stalmest, gier) en aangekocht (kunstmest), aan de andere zijde de hoeveelheden die nodig zijn. Het saldo geeft aan of op het bedrijf grote fouten in het bemestingsbeleid worden gemaakt.

De berekening van de balans steunt voor een belangrijk deel op onderzoek dat door het instituut is uitgevoerd. De moeilijke posten van de aanvoerzijde zijn de hoeveelheden voedingsstoffen, die op het eigen bedrijf in de vorm van stalmest, gier of dunne mest geproduceerd worden. Gemiddelde waarden hiervoor werden vastgesteld door DE LA LANDE CREMER (1953) en KOLENBRANDER (1959, 1963). Vooral laatstgenoemde heeft er veel werk van gemaakt uit eigen onderzoek en uit literatuur standaardgegevens af te leiden waarmee gemakkelijk kan worden gerekend. Daarmee is het mogelijk de gemiddelde waarden, afhankelijk van het bedrijf te corrigeren voor de wijze van bewaring, de voeding van van het vee en voor de ongelijke verdeling van de organische mest over de percelen van het bedrijf (KUIPERS en DE VRIES 1962). Voor de werkingscoëfficiënt van de voedingsstoffen in stalmest en gier worden waarden gebruikt, die uit een omvangrijk onderzoek o.a. van FERWERDA (1951) zijn afgeleid. KORTLEVEN (1956) stelde vast, welke waarde aan de voedingsstoffen in compost mag worden toegekend.

Voor de andere zijde van de balans, waar de behoefte staat, wordt gewoonlijk de hoeveelheid genomen die in de officiële adviesschema's bij de klasse "goed" behoort (Adviesbasis 1962). Er wordt verondersteld, dat bij toepassing van deze hoeveelheid de bemestingstoestand na kortere of langere tijd op dit niveau komt. Of dit algemeen juist is en in hoeverre het opgaat in individuele gevallen, zijn belangrijke vragen.

De onderzoekingen over het verloop van de anorganische bemestingstoestand zijn naar aard vergelijkbaar met die over het verloop van het humusgehalte. VAN DER PAAUW (1936, 1942), RIS (1957), en PRUMMEL (1962) gaven verschillende voorbeelden over het verloop van de kalitoestand van de grond. Ook over het verloop van de fosfaattoestand zijn uitkomsten gepubliceerd (VAN DER PAAUW, 1948, 1955), Het ontbreekt hierbij echter nog aan algemeen geldende formuleringen, met behulp waarvan men een bemestingsbeleid kan uitstippelen.

Wel is de laatste tijd in deze richting gewerkt door SLUIJSMANS (1963, 1964) bij zijn onderzoek over het verloop van het magnesiumgehalte van bouwland op zandgrond. Hij gaat daarbij uit van een formule, die in wezen gelijk is aan die van KORTLEVEN voor het humusgehalte en, hoewel bij opbouw en afbraak van humus geheel andere processen in het spel zijn als bij de magnesiumhuishouding

van de grond, vindt hij, dat het beschikbare proefveldmateriaal met die formule goed kan worden beschreven. Van een hoeveelheid als kieseriet toegevoegd magnesium verdwijnt in een jaar tijds 40 % uit de bouwvoor. Van het magnesium in de grond dat aanwezig is boven de "inerte" hoeveelheid (bedoeld is de hoeveelheid, die bij weglating van de bemesting uiteindelijk overblijft) verdwijnt jaarlijks eveneens ongeveer 40 %. De hoeveelheid, die in de grond achterblijft bij weglating van de bemesting gedurende onbepaalde tijd, lag voor de onderzochte gevallen gemiddeld tussen 20 en 30 mg MgO per kg grond. Bovendien is reeds onderzoek gedaan naar de invloed van andere factoren zoals humusgehalte en pH, waardoor een meer genuanceerde beschrijving van het verloop mogelijk is. Als algemene richtlijn komt uit dit onderzoek naar voren, dat voor het verkrijgen en handhaven van een goede magnesiumtoestand op de zuidelijke zandgronden jaarlijks ongeveer 40 kg MgO per ha nodig is en op de noordelijke 30 kg.

De studies over het verloop van de vruchtbaarheidstoestand van de grond zijn naar onze mening belangrijk. Zij verschaffen aan de voorlichtingsdienst gemakkelijk hanteerbare normen en spreken de praktijk waarschijnlijk wel aan. De bruikbaarheid van de "meststoffenbalans" zal sterk worden vergroot. Zij maken voorspellingen mogelijk over de te verwachten ontwikkelingen van de vruchtbaarheid en zijn daarom van belang voor de instanties, die zich de "bewaking" van de bodemvruchtbaarheid tot taak rekenen. Voor industrie en handel kunnen zij houvast geven over de te verwachten afzetmogelijkheden. Niet in de laatste plaats zijn de studies van betekenis voor de onderzoeker omdat ze hem een beter inzicht geven over het gedrag van de meststoffen in de grond. Daarom menen wij, dat dit onderzoek in de komende jaren een zwaar accent moet krijgen.

Besluit

Wij zijn er ons steeds van bewust, dat met de afsluiting van de onderzoekingen het laatste woord niet gezegd is. De resultaten moeten nog een ruime toepassing vinden in de praktijk. De ervaring leert echter, dat dit lang niet altijd het geval is. De bemestingsadviezen die op basis van grondonderzoek worden gegeven, blijken bijv. door 20 tot 30 % van de boeren maar ten dele en door een klein percentage in het geheel niet te worden opgevolgd. (Rapp. BL Oosterbeek 1963). Mengmeststoffen die uit een oogpunt van juiste dosering iets minder mogelijkheden bieden dan enkelvoudige worden niettemin door meer dan de helft van de boeren toegepast. Het onderzoek over rijenbemesting heeft ondanks de gunstige resultaten weinig weerklank gevonden in de praktijk. Op de conclu-

sies van het onderzoek over de juiste tijd van toediening van stalmest en gier wordt nauwelijks gelet. Zo zijn er meer voorbeelden te noemen.

Sommige adviezen worden niet opgevolgd omdat de boer ze minder juist acht. Dat is bijv. het geval bij het merendeel van hen, die andere hoeveelheden meststof plegen toe te passen dan het laboratorium adviseert. Zij doen dat op grond van ervaring, die men zeker niet zonder meer terzijde mag schuiven. Tenslotte behoeven de gegevens van elders gelegen proefvelden nog niet precies van toepassing te zijn voor elk willekeurig bedrijf. Daarnaast zijn er echter adviezen die de boer wel als juist aanvaardt, maar waarvan hij toch afwijkt. Arbeidseconomische overwegingen kunnen daarvan de reden zijn zoals bij het gebruik van mengmeststoffen. Ook technische factoren die buiten het eigenlijke gebied van de bemesting vallen, spelen een rol. Zo bepalen de grootte van de gierkelder en de berijdbaarheid van het land mede het tijdstip waarop gier wordt uitgereden.

Voor een zo goed mogelijk aangepast advies moet daarom de kennis over de behoefte aan en het rendement van meststoffen worden verweven met die van de bedrijfsomstandigheden. Dat brengt mee, dat de advisering het best in handen kan zijn van de voorlichtingsdienst die de bedrijven kent. De onderzoeker moet zich aanpassen door zijn conclusies zo te formuleren, dat zij min of meer pasklaar zijn om door de bedrijfsadviseurs gebruikt te kunnen worden. Hij moet dus zelf op de hoogte zijn van de gang van zaken in het bedrijf en in elk geval van de factoren die direct of indirect van belang zijn voor de bemestingsgegewoonten in de praktijk.

Het op de hoogte blijven van de onderzoekers wordt in ons land sterk bevorderd door de contacten tussen instituten en voorlichtingsdienst. Omgekeerd zorgt de onderzoeker door publikaties en cursussen voor de nodige aanvullende kennis van de voorlichter. Vele adviezen, die door het instituut zijn voorbereid, worden eerst nog in commissies besproken met specialisten van andere instituten en van de voorlichtingsdiens. Zodoende wordt zo goed mogelijk gewaarborgd dat het werk van de onderzoeker in de praktijk tot zijn recht komt.

Ondanks deze samenwerking kan de onderzoeker behoefte hebben aan een nog nauwer contact met de praktijk of aan een zelf uitgevoerd onderzoek in bedrijfsverband om alle aan zijn studie-onderwerp vastzittende problemen van nabij te leren kennen. Er zijn verschillende onderzoekingen van deze aard aan het instituut gaande. Te Nagele in de NOP wordt op de drie naast elkaar liggende bedrijven, die in eigen beheer zijn, het effect van meer of minder intensieve organische bemesting nagegaan. Het gaat daarbij niet alleen om de opbrengsten en het verloop van enkele vruchtbaarheidsfactoren, maar ook om aspecten als de "vroegheid "van het land, de berijdbaarheid, de benodigde trekkracht, de mogelijkheden van vruchtwisseling, het optreden van onkruiden e.d. en uit-

eindelijk om de economie van de bedrijven als geheel. Op zandgrond wordt op een aantal bedrijven nagegaan, wat de betekenis is van de sterke structuurwijziging van de bedrijven in verschillende richtingen, zoals die in de laatste jaren hebben plaatsgehad, voor de bodemvruchtbaarheid. Tevens wordt bestudeerd, hoe onze adviezen in de nieuwe typen, waarmee ook de voorlichtingsdienst nog weinig ervaring heeft, kunnen worden ingepast. Wij hopen op deze wijze te komen tot een nog betere aanpassing van de adviezen aan de bedrijven en daardoor tot een hoger rendement van het onderzoek.

Literatuur

ADVIESBASIS voor de bemesting van landbouwgronden. Ministerie van landbouw en visserij. 's-Gravenhage (1962).

Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek, (Oosterbeek). Boer en Onderzoek. Rapport (1963).

BRUIN, P. Samenvatting van enige resultaten van kalkproefvelden op bauwlond. Versl. Landbk. Onderz. **42** (1936) 773–819.

BRUIN, P. Eindverslag van de kalktoestandscommissie van de Friese maatschappij van landbouw (1938).

BRUIN, P. en ROWAAN, P. A. De inwerking van verschillende kalk- en magnesiummeststoffen op een zure, humeuze zandgrond, mede in verband met haar fijnheid. Landbk. Tijdschr. **59** (1947) 5–16.

BOSKMA, K. Kalktoestand van de grond en opbrengst van stoppelknollen. Landbouwvoorl. **21** (1964) 435–438.

BURG, P. F. J. VAN De overbemesting van granen door middel van ureumbespuiting. Stikstof no. 18 (1958) 182–188.

BURG, P. F. J. VAN. De invloed van stikstofoverbemesting op granen; het verdelen der totaal benodigde hoeveelheid stikstof over voorjaarsgift en late overbemesting. Stikstof **2** (1959) 338–341.

BURG, P. F. J. VAN. De invloed van een stikstofoverbemesting op de opbrengst van granen; de vorm waarin en de wijze waarop een late overbemesting wordt toegediend. Stikstof **2** (1959) 342–346.

BURG, P. F. J. VAN en ARNOLD, G. H. Vergelijking van het effect van een late overbemesting met dat van eenzelfde hoeveelheid stikstof in het voorjaar bij opklimmende basishoeveelheden stikstof in het voorjaar. Stikstof **3** (1960) 78–86.

BURG, P. F. J. VAN en ARNOLD, G. H. Late top dressing of nitrogen on cereals. Proc. Nat. Acad. Sci. India Sect. A **31** (1961) 157–164.

BURG, P. F. J. VAN. Invloed van de soort stikstofmeststof en het tijdstip van toediening op de weidevroegheid in het voorjaar. Stikstof **3** (1962) 372–377.

BURG, P. F. J. VAN. Geschiktheid van zwavelzure ammoniak voor de vroege stikstofbemesting in verband met de weidevroegheid en de kwaliteit van het weidegras. Stikstof **4** (1963) 23–28.

BURG, P. F. J. VAN. The agricultural evaluation of nitrophosphates with particular reference to direct and cumulative phosphate effects, and to interaction between watersolubility and granule size. Proc. Fertil. Soc. no. 75 (1963) 1–54.

CASTENMILLER, G. M. De betekenis van de kalktoestand van het Nederlandse bouwland voor de toekomstige produktiemogelijkheden van de akkerbouw. Landbk. Tijdschr. **60** (1948) 92–106.

CASTENMILLER, G. M. Zwavelzure ammoniak met kalk op zandgrond. Landbk. Tijdschr. **62** (1950) 233–240.

FERRARI, TH. J. Vergelijking tussen proeven met en zonder ingreep. Landbk. Tijdschr. **72** (1960) 792–801.

FERRARI TH. J. Gedeelde stikstofbemesting bij haver? Landbouwvoorl. **16** (1959) 237–242.

FERWERDA, J. D. Over de werking van stalmest op bouwland I. Versl. Landbk. Onderz. **57**. 13 (1951).

FERWERDA, J. D. Over de werking van stalmest op bouwland. Versl. Landbk. Onderz. **57**. 16 (1951).

FRANKENA, H. J. Over stikstofbemesting op grasland. Vergelijking van verschillend stikstofmeststoffen. Versl. Landbk. Onderz. **42** (1936) 669–733.

FRANKENA, H. J. Stikstofbemesting en opbrengst. Versl. Landbk. Onderz. **44** (1938) 913–938.

GROOTENHUIS, J. A. Organische bemesting in verband met de aardappelteelt. Versl. Aardappeldag (Leeuwarden, 1960).

GROOTENHUIS, J. A. Organische bemesting in de praktijk. Aspecten van de landbouw in de NOP (1960) 45–47.

GROOTENHUIS, J. A. Organische bemesting en stikstofbehoefte van suikerbieten. Landbk. Onderz. in de NOP (1961) 53–61.

't HART, M. L. en PAAUW F. VAN DER. Kalibemesting op grasland. Dir. v. d. Landb. Landbouw-Voorlichtingsd. Meded. no. 30 (1942).

HENKENS, Ch. H. Koper op bouwland. Landbouwvoorl. **14** (1957) 581–589.

HENKENS, CH. H. De waarde van de koperbepalingen met Aspergillus niger op bouwland. Versl. Landbk. Onderz. **64**. 3 (1958).

HENKENS, CH. H. De waarde van chemische bepalingsmethoden in vergelijking met de Aspergillus niger-methode. Versl. Landbk. Onderz. **67**. 10 (1961).

HUDIG, J. De betekenis van den kalktoestand voor de cultuur op de zand- en veengronden. Ber. RLPS Groningen no. 34 (1928).

ITALLIE, TH. B. VAN Over de chemische samenstelling van aardappelen in verband met de kalibemesting. Landbk. Tijdschr. **45** (1933) 241–255.

ITALLIE, TH. B. VAN. Over de chemische samenstelling van aardappelen in verband met de kalibemesting II. Landbk. Tijdschr. **45** (1933) 421–436.

ITALLIE, TH. B. VAN. Over de chemische samenstelling van aardappelen in verband met de kalibemesting III. Landbk. Tijdschr. **46** (1934) 272–286.

KOLENBRANDER, G. J. Produktie aan organische mest en gier en de daarin aanwezige totale hoeveelheden minerale plantenvoedende stoffen. Rapp. IB 4 (1959).

KOLENBRANDER, G. J. Berekening van stalmest-produktie-eenheden. Landbk. Tijdschr. **75** (1963) 106–120.

KORTLEVEN, J. Invloed van stadsvuilcompost op het gewas. Versl. Landbk. Onderz. **62**. 12 (1956).

KORTLEVEN, J. De stikstofvoeding van de aardappel door middel van stalmest en van kunstmest I. Versl. Landbk. Onderz. **63**. 19 (1957).

KORTLEVEN, J. De stikstofvoeding van de aardappel door middel van stalmest en van kunstmest II. Versl. Landbk. Onderz. **65**. 1 (1959).

KORTLEVEN, J. De stikstofvoeding van de aardappel door middel van stalmest en van kunstmest III. Versl. Landbk. Onderz. **65**. 17 (1959).

KORTLEVEN, J. De stikstofvoeding van de aardappel door middel van stalmest en van kunstmest van IV. Versl. Landbk. Onderz. **65**. 19 (1959).

KORTLEVEN, J. Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Versl. Landbk. Onderz. **69**. 1 (1963).

KUIPERS, S. F. en VRIES TH. DE. Balansberekeningen voor het vaststellen van de fosfaat- en kalibehoefte van gemengde bedrijven en weidebedrijven. Landbouwvoorl. **16** (1959) 498–511.

KUIPERS, S. F. en VRIES, TH. DE. Normen van de meststoffenbalans I. Landbouwvoorl. **19** (1962) 197–204.

KUIPERS, S. F. en VRIES, TH. DE. Normen van de meststoffenbalans II. Landbouwvoorl. **19** (1962) 248–257.

DE LA LANDE CREMER, L. C. N. Het stalmest- en gierbemestingsonderzoek op bouw- en grasland in Nederland tussen 1900 en 1952. Rapp. IB Groningen (1953) Stencil C 4532.

DE LA LANDE CREMER, L. C. N. Dunne mest. Landbouwvoorl. **15** (1958) 484–493.

MULDER, E. G. Investigations on the agricultural value of nitrophosphate and anhydrous ammonia. Proc. Fertil. Soc. no. 25 (1953) 1–50.

PAAUW, F. VAN DER. Samenvattend overzicht van de resultaten verkregen met verschillende vormen van fosfaatmeststoffen op Nederlandse proefvelden. Versl. Landbk. Onderz. **41** (1935) 265–302.

PAAUW, F. VAN DER. Het kalivraagstuk op de zand- en dalgronden. Versl. Landbk. Onderz. **42** (1936) 393–448.

PAAUW F. VAN DER. De waarde van dicalciumfosfaat als meststof. Landbk. Tijdschr. **50** (1938) 95–107.

PAAUW, F. VAN DER. Samenvattende beschouwing over de oplosbaarheid van Thomasslakkenmeel in enkele met het natuurlijke bodemvocht enige gelijkenis hebbende zwakke oplosmiddelen. Landbk. Tijdschr. **50** (1938) 497–516.

PAAUW, F. VAN DER. Het tijdstip van de aanwending van Thomasslakkenmeel. Landbk. Tijdschr. **51** (1939) 621–628.

PAAUW, F. VAN DER. Vergelijkend onderzoek over de waarde van ammoniumfosfaten als fosforzuurmeststof. Versl. Landbk. Onderz. **64** (1940) 111–217.

PAAUW, F. VAN DER. Het ter beschikking komen van kali in sterk uitgeputte grond. Versl. Landbk. Onderz. **48** (1942) 363–406.

PAAUW, F. VAN DER. Onderzoekingen over de kalihuishouding op zandgrond en bezand hoogveen. Versl. Landbk. Onderz. **48** (1942) 465–499.

PAAUW, F. VAN DER. Grondonderzoek naar fosfaat- en kalitoestand op grasland. Versl. Landbk. Onderz. **49** (1943) 915–1012.

PAAUW, F. VAN DER. Een onderzoek naar de invloed van het in gekorrelde vorm toepassen van fosfaat bevattende meststoffen op de beschikbaarheid van dit bestanddeel. Versl. Landbk. Onderz. **50** (1945) 207–229.

PAAUW, F. VAN DER. Fosfaatbemesting in de landbouw. Min. v. Landb. (1946).

PAAUW, F. VAN DER. Oorzaken van de verschillende werking van superfosfaat en Thomasslakkenmeel. Versl. Landbk. Onderz. **56**. 6. (1950).

PAAUW, F. VAN DER. Voorlopige mededeling over meerjarige fosfaatproeven (Serie 1) t/m 1953. Gestenc. Versl. Interprov. Proeven no. 51. (1955)

PAAUW, F. VAN DER. Fosfaatbemesting en -voorraadbemesting. Landbk. Tijdschr. **69** (1957) 38-43.

PAAUW, F. VAN DER en PRUMMEL, J. Bemestingswaarde van het natuurlijke fosfaat "Hyperfosfaat Reno". Versl. Landbk. Onderz. **55**. 1 (1949).

PAAUW, F. VAN DER en RIS, J. Toetsing van grondonderzoek naar kalitoestand op Nederlands grasland. Versl. Landbk. Onderz. **59**. 2 (1953).

PRUMMEL, J. Een voor ons land nieuwe bemestingsmethode. TNO-Nieuws **7** (1952) 1–3.

PRUMMEL, J. Resultaten van rijenbemestingsproeven in ons land. Landbouwvoorl. **10** (1953) 313–318.

PRUMMEL, J. Rijenbemesting. Stikstof no. 4 (1954) 128–131.

PRUMMEL, J. Toepassing van radioactief fosfaat bij het onderzoek over de plaatselijke toediening van kunstmeststoffen. Landbk. Tijdschr. **67** (1955) 680–684.

PRUMMEL, J. Kalibemesting bij aardappelen. Stikstof no. 11 (1956) 367–372.

PRUMMEL, J. Placement of fertilizers. VIe Congr. Intern. Sci. Sol (1956) 167–171.

PRUMMEL, J. Rijenbemesting met fosfaat bij peulvruchten en mais. Landbouwvoorl. **15** (1958) 83–91.

PRUMMEL, J. Genezing van kaligebrek bij aardappelen door bespuiting of overbemesting in een laat stadium. Landbouwvoorl. **15** (1958) 237–241.

PRUMMEL, J. Hogere opbrengsten van peulvruchten door rijenbemesting. Twintig jaren PSC (1959) 196–203.

PRUMMEL, J. Rijenbemesting met fosfaat bij stamslabonen. Techn. Ber. PSC 82 (1959) 1–8.

PRUMMEL, J. Placement of a compound (N.P.K.) fertilizer compared with straight fertilizers. Neth. J. Agr. Sci. **8** (1960) 149–154.

PRUMMEL, J. Praktijkproeven met rijenbemesting. Landbouwmechan. **13** (1962) 582–587.

PRUMMEL, J. Najaars- en voorjaarsbemesting met fosfaat en kali op bouwland. Landbk. Tijdschr. **74** (1962) 252–260.

PRUMMEL, J. Voorraadbemesting met kali op rivierklei. Landbk. Tijdschr. **74** (1962) 737–751.

PRUMMEL, J., PAAUW, F. VAN DER en HOOGLAND, J. A. Perspectieven voor rijenbemesting in ons land. Landbouwvoorl. **14** (1957) 514–519.

PRUMMEL, J., DATEMA, P., POESSE, G. J. en KLOOSTER, J. J. Onderzoek naar de strooiregelmaat van kunstmeststrooiers. Landbouwvoorl. **16** (1959) 134–144.

PRUMMEL, J. en DATEMA, P. Strooiregelmaat van kunstmeststrooiers en de betekenis daarvan voor de opbrengst. Landbouwmechan. **13** (1962) 1–12.

PRUMMEL, J. en DATEMA, P. Strooiproblemen bij kunstmeststrooiers. Stikstof **4** (1964) 154–157.

RIS, J. Bemesting van aardappelen en rogge op een lichte zandgrond. Landbouwvoorl. **14** (1957) 324–330.

SJOLLEMA, B. Invloed van chloorverbindingen en van andere in de ruwe Stassfurter zouten voorkomende verbindingen op de samenstelling en opbrengst van aardappelen. Landbk. Tijdschr. **7** (1899) 222–252 en 276–289.

SJOLLEMA, B. Kort overzicht van de onderzoekingen verricht in het R.L.P.S. te Groningen gedurende de laatste 12½ jaar (1895–1907), samengesteld naar aanleiding van de landbouwtentoonstelling, te 's-Gravenhage te houden in sept. 1907, 18 blz.

SLUIJSMANS, C. M. J. en BOSKMA, K. Kalktoestand van de grond en opbrengst van bieten op zand- en dalgrond. Versl. Landbouwk. Onderz. **65**. 18 (1959).

SLUIJSMANS, C. M. J. Invloed van (meng)meststoffen op de kalktoestand van de grond. Rapp. IB (1961).

SLUIJSMANS, C. M. J. Wijzigingen in de magnesiumtoestand van de grond onder invloed van bemesting met kieseriet. Gestenc. Versl. Interprov. Proeven no. 94 (1963).

SLUIJSMANS, C. M. J. Wijzigingen in de magnesiumtoestand van de grond onder invloed van bemesting met kieseriet (II). Gestenc. Versl. Interprov. Proeven no. 98 (1964).

VRIES, O. DE en VISSER, W. C. De veranderingen in de grond door lang voortgezette bemesting met enkele stikstofmeststoffen. Versl. Landbk. Onderz. **40** (1934) 505–541.

VISSER, W. C. Kalktoestand en oogstopbrengst. Versl. Landbk. Onderz. **44** (1938) 313–359.

VISSER, W. C. Invloed van de gebruikte stikstofsoort op grond en gewas. Versl. Landbk. Onderz. **44** (1938) 881–912.

VISSER, W. C. Kalktoestand en oogstopbrengst II. Keniagerst. Versl. Landbk. Onderz. **45** (1939) 395–417.

VISSER, W. C. Kalktoestand en oogstopbrengst III. Haver IV. Aardappelen. Versl. Landbk. Onderz. **49** (1943) 1–28.

WISSELINK, G. J. Een vijftienjarige proef met stalmest en stoppelgewassen op humeuze zandgrond te Heino. Versl. Landbk. Onderz. **66**. 17 (1961).

WISSELINK, G. J. en LUBBERS, J. De uitkomsten van 9 proefpercelen met organische bemesting over een periode van 9 jaar. Rapp. IB 9 (1963).

J. VAN DER BOON

Bodemvruchtbaarheidsonderzoek in de tuinbouw

Grondonderzoek in de tuinbouw vóór 1957

Het grondonderzoek in de tuinbouw heeft niet zo'n systematische ontwikkeling gekend als in de landbouw, waar het Rijkslandbouwproefstation te Groningen reeds in 1927 de eerste routine bepaling voor grondonderzoek – de pH-bepaling – overdroeg aan het Bedrijfslaboratorium. In de tuinbouw is de interpretatie der uitkomsten van de te Groningen ontwikkelde grondanalysemethoden ontwikkeld door de rijkstuinbouwconsulentschappen. De ontwikkeling was regionaal, waarbij de omvang van de proefnemingen werd bepaald door de interesse van de rijkstuinbouwconsulent. Zo voerde BLOEMSMA vele bemestingsproeven uit met groentegewassen op zandgronden. In Groningen werkte men incidenteel met tuinbouwgewassen. Zo onderzochten HISSINK en VAN DER SPEK (1936) de invloed van stalmest en kunstmest op de pH van de grond op het "vaste bemestingsproefveld" in de gemeentelijke proeftuin te Sappemeer. Van de hand van MEYER (1938) verscheen een overzicht over de optimale pH voor tuinbouwgewassen. GOEDEWAAGEN (1952) onderzocht de periodiciteit in de wortelontwikkeling van aardbeiplanten, welk onderzoek voortvloeide uit het hydrologische onderzoek van VISSER op de duinzandgronden in Kennemerland, waar de tuinders de Provinciale Watervoorziening verantwoordelijk stelden voor de toenemende verdroging van de gewassen (zie blz. 73 van dit boek).

In 1945 werd het onderzoek naar de bodemvruchtbaarheid in de tuinbouw gestimuleerd door de toenmalige Inspecteur voor het Tuinbouwkundig Onderzoek dr. DE BAKKER. Tuinbouwkundige ingenieurs werden bij diverse rijkstuinbouwconsulentschappen gedetacheerd. De wetenschappelijke leiding was eerst in handen van prof. dr. SCHUFFELEN, later in die van dr. PIJLS.

In 1957 vond een reorganisatie plaats, waarbij het tuinbouwkundige bodemvruchtbaarheidsonderzoek werd ondergebracht bij het Landbouwproefstation te Groningen, dat in zijn nieuwe vorm als Instituut voor Bodemvruchtbaarheid ook een taak kreeg ten behoeve van de tuinbouw. Sindsdien hebben in het bij-

zonder de specialisten hun werkterrein uitgebreid tot de tuinbouw. Door het instituut zijn vier academici gestationeerd in de teeltcentra, t.w. bij het Proefstation voor de Bloemisterij te Aalsmeer, het Proefstation voor de Fruitteelt te Wilhelminadorp, het Proefstation voor de Groente- en Fruitteelt onder glas te Naaldwijk en het Proefstation voor de Groenteteelt in de volle grond te Alkmaar. Deze stationering heeft tot doel een band te leggen tussen de specifieke eisen van het gewas en de chemische en fysische eigenschappen van de grond.

In de tuinbouw zijn vroeger regionale laboratoria voor grondonderzoek opgericht. Het laboratorium van het Proefstation voor de Groente- en Fruitteelt onder glas te Naaldwijk is hiervan alleen gehandhaafd en heeft een eigen weg ingeslagen.

Ontwikkeling sinds 1957

Het zou te ver voeren alle onderwerpen te behandelen, die in de periode 1957–1965 zijn onderzocht. Daarom worden slechts de belangrijkste en die, welke typerend zijn voor de wijze van aanpak van een onderzoek, uitgekozen.

Bemestingsadviezen in de volle-grondsteelt

De bemestingsadviezen in de volle-grondsteelt zijn gebaseerd op de resultaten van proefnemingen in de rijkstuinbouwconsulentschappen en op de ervaringen opgedaan bij veldwaarnemingen als reactie op de geadviseerde of naar het inzicht van de tuinder gegeven bemesting.

In 1952 werd begonnen met een kritisch overzicht van de resultaten van bemestingsproefvelden in de tuinbouw (VAN DER BOON 1960). De gegevens van de bemestingsproeven in de rijkstuinbouwconsulentschappen werden verzameld van 1937 af, van welk jaar de eerste uitslagen van grondonderzoek dateren. De verkregen grondanalysecijfers werden gebruikt om grenswaarden voor fosfaat en kali op te stellen, boven welke niet meer behoeft te worden bemest. De proefvelden werden verdeeld naar de grondsoort. Deze kritische studie leidde voor de groenteteelt op zandgronden tot een samenhang tussen de opbrengstderving, te verwachten bij weglating van de fosfaat- resp. kalibemesting, en het grondonderzoek op deze voedingselementen.

Het beschikbare proefveldmateriaal leverde bovendien een rangorde van gewassen op naar hun verschillen in fosfaat- en kalibehoefte.

In de fruitteelt daarentegen hadden bemestingsproeven met fosfaat geen succes. De bomen hebben volgens berekening van de opgenomen hoeveelheid een vrij lage behoefte aan fosfaat en ook volgens buitenlandse proeven een behoorlijk vermogen om moeilijk beschikbaar fosfaat op te nemen.

De bewerking van het geringe aantal gegevens in de fruitteelt op kleigrond

gaf aan dat de grens tussen wel en niet op kali reagerende proeven ligt bij K_2O-HCl in de bovenlaag tot 20 cm tussen 0,030–0,040 %.

Recente onderzoekingen over de kalibemesting van vroege aardappelen op zeeklei in Noord-Holland gaven als gewenst kaliniveau in de grond 0,045–0,050 % K_2O-HCl. De optimale gift was 440 kg K_2O/ha in de vorm van kalizout 40 %. Verse bemesting gaf nog een gering voordeel, als de in de bodem aanwezige rijke kalivoorraad reeds ongunstig werkte. Ook bij de berekening van de economisch rendabele gift bleken zeer hoge giften verantwoord (VAN DER BOON e.a. 1963).

Onderzoek van organische meststoffen

In de tuinbouw, speciaal in de glasteelt worden grote hoeveelheden organische meststoffen gebruikt. Bij de bemesting met kunstmest wordt over het algemeen naar verhouding geringe aandacht besteed aan de voedende waarde van de organische meststof. Nader onderzoek werd uitgevoerd naar de juistheid van deze opvatting in de praktijk.

In een warenhuisproef met bonen en tomaten was de stikstofwerking van paardemest gering. De werkingscoëfficiënten lagen tussen 0 en 10 %, waarbij die voor verse iets hoger lag dan die voor oude paardemest (VAN DER BOON en ROORDA VAN EYSINGA 1957). Overjarige stalmest gebruikt voor de teelt van potplanten, had een geringe stikstofwerking ondanks de lage C/N-verhouding. De nog aanwezige stikstof was waarschijnlijk in moeilijk aantastbare, organische verbindingen vastgelegd (DE LA LANDE CREMER 1961). De zeer zware stalmestgiften in de anjerteelt (tot 2 m^3 per are) verlagen echter wel degelijk de optimale kunstmestgift voor stikstof.

Weinig of geen voor de plant beschikbaar fosfaat kwam vrij uit afgewerkte champignonmest in een bemestingsproef onder glas. Fosfaat uit stalmest werkte voor 50–100 % vergeleken met een in water oplosbare fosfaatmeststof, maar was alleen van betekenis als geen kunstmestfosfaat was gegeven. Indien stalmest èn kunstmest waren gegeven, kwam de fosfaatwerking van de stalmest minder tot uiting en werd de produktie zodanig verhoogd, dat met het fosfaat uit stalmest geen rekening behoefde te worden gehouden voor de bepaling van de kunstmestgift (ROORDA VAN EYSINGA 1962).

Er worden in de tuinbouw vele soorten organische meststoffen gebruikt. Vaak wordt het oordeel gevraagd over de waarde ervan. Een globaal oordeel is aan de hand van chemisch onderzoek van de meststof meestal wel te geven. Soms moet echter door pot- en veldproeven de werking van de voedingsstoffen nader worden bepaald. In bepaalde gevallen kunnen giftige bestanddelen aanwezig zijn.

Ook worden soms in de praktijk klachten gehoord, die een nader onderzoek nodig maken. Zo is onlangs cacaoafvalkalk onderwerp van studie geweest. Chemisch gezien is dit een waardevolle meststof. Onderzoek toonde aan, dat het verse produkt een veel te hoge pH (= 12) had. Tijdens de broei daalt de pH tot ± 8, waarbij geen schade meer is te duchten. Bij afsluiting van het broeiproces van de lucht kunnen tijdelijk voor het gewas schadelijke stoffen ontstaan (VAN DER BOON, KOLENBRANDER en WIERSUM 1963). Onderzocht wordt of door toevoeging van koolzuurgas de pH zodanig kan worden verlaagd, dat het verse, voorbehandelde produkt dadelijk kan worden gebruikt. Uit het bovenstaande volgt, dat het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid een taak heeft bij de beoordeling van industriële en stedelijke afvalprodukten en bij het aangeven van wegen om bepaalde organische materialen te verbeteren of op betere wijze toe te passen.

Veenaarde en potgrond

In de tuinbouw wordt op grote schaal grond van elders aangevoerd voor het opkweken van groente- en potplanten. Het zijn materialen, rijk aan organische stof, zoals turfmolm, bagger, meermolm, veenaarde.

De grote betekenis van de juiste samenstelling van potgronden werd o.a. op de voorgrond gesteld door het onderzoek van ROORDA VAN EYSINGA, die aantoonde dat een tomatenplant opgekweekt in een slechte perspot, na overplanten in het warenhuis achterbleef, een latere oogst gaf en de opbrengst van goed opgekweekte planten niet meer inhaalde. Dit feit was door de praktische tuinder onderschat. Men meende dat een goede verzorging de achterstand van de plant spoedig zou opheffen. Dat bleek dus niet het geval en vooral de eerste vroege tomaten met hun hoge prijzen tellen extra mee.

Ook in de sierteelt nam de belangstelling voor potgrondmaterialen toe. Enerzijds was de wisselende samenstelling van veenaarde gewonnen in de laagveengebieden van Zuid-Holland, ongewenst bij de steeds meer gemechaniseerde veenwinning en bij de teelt der gewassen. Anderzijds werd gevreesd dat het aanbod van meermolm, veenaarde en naaldenbosgrond in de toekomst zou afnemen.

Zwartveen nog in grote hoeveelheden in Drente aanwezig en als grondstof voor turf economisch steeds minder aantrekkelijk, bleek bij doorvriezen vóór de uitdroging zijn irreversibel indrogende eigenschappen grotendeels te verliezen. Door VAN DIJK (VAN DIJK en BOEKEL 1963) werden in het laboratorium methoden ontwikkeld om de fysisch-chemische eigenschappen ervan vast te leggen. In proeven werd vastgesteld dat drie dagen vorst van −5°C reeds voldoende zijn om een goed produkt te verkrijgen. Het veen mag daarbij niet verder zijn ingedroogd dan tot een vochtgehalte van 80 %. De watercapaciteit is een

bruikbare maatstaf voor de bepaling of het zwartveen voldoende doorgevroren is geweest. De door het luchtdroge materiaal bij verzadiging opgenomen hoeveelheid water bedraagt bij doorgevroren zwartveen ten minste 600 g per 100 g droge stof (Rapp. Subcommissie Zwartveen 1963). Menging van doorgevroren zwartveen door de grond geeft een verbetering van de lucht- en vochthuishouding. Dit effect neemt in de loop der jaren geleidelijk af, waarschijnlijk door mechanische verkleining van het produkt (BOEKEL en VAN LOKHORST 1963; Rapport Zwartveenonderzoek). Het is gebleken dat doorgevroren zwartveen stikstof vastlegt in een door zwavelzuur hydrolyseerbare vorm. Menging van fosfaat met doorgevroren zwartveen leidt ertoe dat na toediening van het mengsel als structuurverbeteringsmiddel het fosfaat beter voor de plantenwortel beschikbaar blijft dan rechtstreeks aan de grond toegediend kunstmestfosfaat.

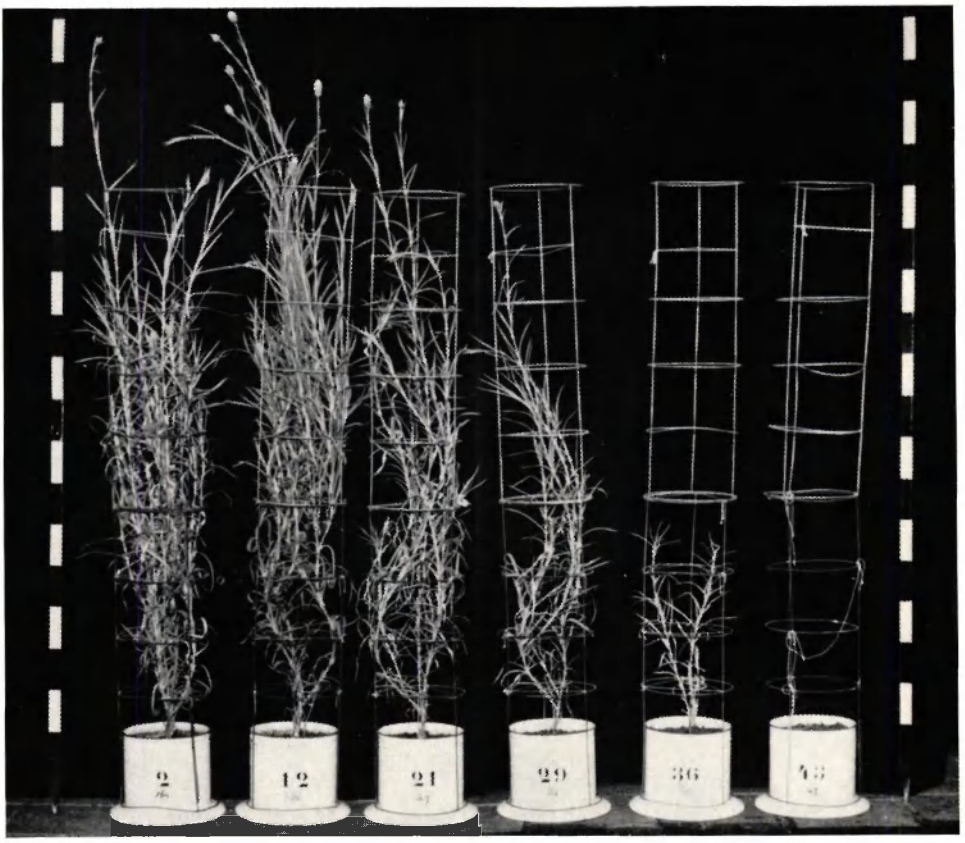
Door ARNOLD BIK (1961, 1962) werden uitgebreide proeven genomen met potgrondmengsels met variërende hoeveelheden doorgevroren zwartveen resp. turfmolm en klei. Verbetering van de fysische kwaliteit van een potgrond wordt bereikt door toevoeging van veel organisch materiaal. Hierdoor wordt het vermogen water vast te houden vergroot. Een grond: water: lucht-verhouding van 15 : 55 : 30 bij pF 1,5 wordt voor een potgrond de beste geacht. Naarmate meer veen in het mengsel aanwezig is, kan de hoeveelheid stikstof in het mengsel hoger zijn zonder zoutschade en wordt de bereikbare maximale produktie van de plant hoger. Deze interactie tussen het substraat waarop de plant leeft, en de optimale stikstofgift bleek te gelden voor alle gebruikte potplanten, zoals Cyclamen en Gloxinia, maar ook voor anjers in tablettenteelt. Diepergaand onderzoek wordt uitgevoerd om na te gaan, waarop deze interactie berust. Reeds werd gevonden dat de osmotische concentratie van het bodemvocht bij een bepaalde stikstofgift lager is, naarmate meer organische stof is gebruikt.

Door ROORDA VAN EYSINGA werd een mengsel van turfmolm en vers zwartveen samengesteld, aangevuld met kunstmeststoffen voor het opkweken van groentegewassen in perspotten. Bij een steekproef in de praktijk bleken met dit mengsel gelijkwaardige, maar meestal betere resultaten te worden verkregen dan met de door de tuinders samengestelde perspotten. Perspotjes die rijk zijn aan turfmolm, zetten na het persen uit en nemen bijna 25 % in volume toe, terwijl door uitdroging het volume slechts weinig kleiner wordt. Perspotjes van vers zwartveen worden bij indroging veel kleiner. Perspotten van zwartveen kunnen een hogere druk verdragen naarmate ze uitdrogen tot een bepaalde grens waarna ze breken of scheuren. (ROORDA VAN EYSINGA e.a. 1962, 1963).

Het opkweken van Azalea een nieuwe ontwikkeling in de Nederlandse tuinbouw, dat in België gewoonlijk wordt uitgevoerd op naaldenbosgrond en met gebruik van moutkiemen, bleek ook goed mogelijk op doorgevroren zwartveen,



Bemestingsproef met tomaten in potten in een kas.



Stikstofbemestingsproef met anjers in potten
(links schade door te weinig,
rechts door overmaat stikstof).

mits bemesting en toediening van water goed waren aangepast aan het nieuwe materiaal.

Het streven is gericht op een constant en zo uniform mogelijk potgrondmengsel. Aan een belangrijke voorwaarde wordt voldaan bij gebruik van zwartveen, dat mits het gehele profiel wordt gebruikt tot aan het dargveen toe, gemiddeld van behoorlijk constante kwaliteit is. Door toevoeging van kunstmeststoffen heeft de tuinder het in de hand een gestandaardiseerd mengsel samen te stellen, dat goed past in het raam van een steeds sterker gemechaniseerde tuinbouw. Vraagpunten zijn, in hoeverre het gebruik van natuurlijke organische meststoffen als stalmest noodzakelijk is, of deze te vervangen is door langzaam werkende, synthetische meststoffen en of toevoeging van klei geheel kan worden gemist.

Ook wordt aandacht besteed aan de handel in potgronden in kleine verpakking voor de huisvrouw. Er worden pogingen gedaan de fabrikanten op vrijwillige basis te brengen tot een geregelde chemische en fysische controle van hun produkten. Het Proefstation voor de Bloemisterij te Aalsmeer kan op grond van de proeven van ARNOLD BIK hierbij nuttige adviezen verstrekken.

Bemestingsadviezen in de glasteelt

Door ROORDA VAN EYSINGA werd een uitgebreid onderzoek verricht over de bemesting van sla en tomaat, de belangrijkste groentegewassen onder glas (NAGELS en ROORDA VAN EYSINGA 1958; ROORDA VAN EYSINGA 1961, 1961, 1962). Een gift van 0,5–1,5 kg stikstof per are is voor sla optimaal. Onderzoek naar de in water oplosbare stikstof van de bovenlaag van de grond maakt het mogelijk de optimale gift nauwkeuriger te bepalen. Het vochtregime tijdens de teelt bepaalt mede de hoogte van de optimale gift: een drogere grond geeft een lagere opbrengst met een kleinere optimale gift.

Bemesting met fosfaat kan achterwege blijven als de grond meer dan 150 mg P_2O_5 per 100 gram bevat, geëxtraheerd met ammoniumlactaat-azijnzuur. Op zeer fosfaatarme gronden zijn giften van 20 kg dubbelsuperfosfaat of meer per are noodzakelijk. De reactie op kali was gering, tenzij de kaligehalten van de grond zeer laag waren, t.w. beneden 0,010 % K_2O. Sla heeft geen bemesting met magnesium nodig als het MgO-NaCl-gehalte van de grond boven 100 d.p.m. ligt. Onderzoekingen zijn gaande over de optimale bemesting van tomaten onder glas. De belangrijkste voedingselementen zijn stikstof en kali. De kalibehoefte van de tomaat wordt geschat op circa 6 kg K_2O per are. De grenswaarde van K_2O-HCl voor zandgronden is circa 0,030 %, wat de opbrengst betreft. Maar om de grootste hoeveelheid kwaliteitsprodukt te verkrijgen, zijn zwaardere kaligiften noodzakelijk; hiervoor ligt de grenswaarde van K_2O-HCl bij ongeveer

0,050 %. Het onderzoek over de gewenste stikstofbemesting van de tomaat is nog in gang.

De zware bemestingen in de groenteteelt onder glas maken, dat de grond verzout. Oriënterend onderzoek door ROORDA VAN EYSINGA maakte waarschijnlijk, dat aan de doorspoeling van kasgrond na de teelt van tomaat in de praktijk onvoldoende aandacht wordt besteed. De daling van het gloeirest-extractgehalte is evenredig met de hoeveelheid gebruikt water, en de noodzakelijke duur van de doorspoeling hangt af van het niveau waarop het gehalte zich bij het begin bevindt.

Bodembehandeling in de fruitteelt

Lange tijd heeft in Zeeland de gewoonte bestaan de grond in de boomgaard zwart te houden. Dit werd gedaan uit vrees dat de boom vochtconcurrentie zou ondervinden, omdat de gronden in Zeeland meestal aan de lichte kant zijn en onvoldoende vocht kunnen vasthouden. Het zwart houden leidde tot een zodanige afbraak van organische stof in de grond, dat de structuur van de bouwvoor ernstig achteruitging en het optreden van gebreksziekten (magnesium-, ijzer- en zinkgebrek) in de hand werd gewerkt. Later werd aan dit systeem minder streng de hand gehouden en werd van juli af de ontwikkeling van het onkruid niet meer tegengegaan of werden zelfs groenbemesters, vooral vlinderbloemigen ingezaaid. In de laatste jaren wordt gras ingezaaid. Een stevige grasmat heeft het voordeel, dat een goede structuur van de grond in de rijpaden gehandhaafd blijft. In een moderne boomgaard, waar talrijke ziektebestrijdingen moeten worden uitgevoerd, wordt veel gereden en is bescherming van de bovengrond geboden. Een spoedige toegankelijkheid van de boomgaard na regen bespaart de fruitteler veel tijdverlies.

Ook om een andere reden staat de bodembehandeling in het middelpunt van de belangstelling. Pas geplante boomgaarden werden vroeger vaak nog enige jaren gebruikt voor de teelt van landbouwgewassen. Dit blijkt echter ternauwernood lonend. Het aanschaffen of aanhouden van apart gereedschap en de vele arbeid stellen financiëel hoge eisen. Een groot bezwaar van de tussenteelt is bovendien het bederf van de structuur, vooral bij het rooien van aardappelen en bieten in een nat najaar.

Vroeger leidde het inzaaien van grassen tot een duidelijke achteruitgang in de stand van de bomen. Onderzoek heeft geleerd dat de concurrentie van het gras met de boom ten aanzien van stikstof sterk is onderschat. In de eerste jaren na het inzaaien van gras is wel 300–400 kg stikstof per ha nodig om de concurrentie het hoofd te bieden. In een proef bleken grote hoeveelheden stikstof echter niet voldoende om de achteruitgang van de stand der pas geplante bomen door de

aanwezigheid van gras over het gehele veld teniet te doen. Een oplossing die goed voldoet en op vele plaatsen wordt toegepast, is de grond onder de bomen zwart te houden en de strook tussen de bomen met gras te bezaaien. Hierdoor wordt het structuurverval van de grond door het vele berijden tegengegaan. De strook onder de bomen kan tegenwoordig op eenvoudige wijze zwart gehouden worden door toepassing van chemische onkruidbestrijdingsmiddelen. De vraag die hierbij opkomt, is of en hoe vaak het nodig is het bovenste laagje van de grond los te maken, om de uitwisseling van koolzuur en zuurstof te bevorderen en de verdamping tegen te gaan. Op sommige gronden vertoont de zwart gehouden strook ernstige verslemping. De vraag, hoe lang de zwarte strook moet worden gehandhaafd, naarmate de boom ouder wordt, hangt onder meer af van het vochthoudende vermogen van de grond. Bij strokencultuur bestaat in vergelijking met zwart gehouden grond slechts een matige stikstof- en vochtconcurrentie. Op droogte gevoelige plaatgrond in Zeeland was de opbrengstderving 10 % en het is de vraag of de betere berijdbaarheid en de gemakkelijker uitvoering van de ziektebestrijding bij strokencultuur in dat geval niet de doorslag geven (DELVER 1962). Uit onderzoek is wel gebleken dat het gras op de stroken voldoende met stikstof moet worden bemest. Anders kan de boom zijn wortelgroei daar niet handhaven en wordt de hoeveelheid voor de boom bereikbaar vocht beperkt (DELVER 1963).

Op goed vochthoudende gronden kan de gehele boomgaard enige jaren na het planten zonder bezwaar in gras worden gelegd. De concurrentie van het gras om de stikstof kan worden verminderd door tijdig te bemesten. Stikstof die laat in het voorjaar wordt gegeven, neemt het gras volledig op (VAN DER BOON en KOLENBRANDER 1960). Wanneer men de stikstof in het late najaar geeft, verplaatst de winterregen de stikstof in het profiel naar de zone met de meeste boomwortels (20–50 cm). Deze verplaatsing is afhankelijk van de hoeveelheid neerslag, de zwaarte van de grond (op lichtere gronden moet later worden bemest) en de gebruikte stikstofmeststof. Bewerking der gegevens van de neerslag in de laatste twaalf winters in Zeeland leidde tot de uitkomst, dat bemesting met zwavelzure ammoniak op diep doorwortelbare klei het best kan plaatsvinden in de tweede helft van november. Dan is de stikstof eind februari doorgedrongen tot een diepte van 20–60 cm. Kalkammonsalpeter kan ongeveer een maand later worden gegeven. Aanbevolen wordt vóór de winter tweederde van de optimaal geachte gift uit te strooien en de rest in februari als kalksalpeter te geven. Bij overvloedige regen in de winter (meer dan 175 mm van het tijdstip van bemesting tot half februari) kan in februari nog extra stikstof worden toegediend. Belangrijke stikstofverliezen kunnen optreden bij uitstrooien van de meststof op ontdooiende, diep bevroren grond (DELVER 1964).

Er wordt naar een basis gezocht voor het bemestingsadvies voor stikstof. Tot nu toe wordt gelet op de groeikracht van de boom; het aantal en de lengte van het eenjarige schot. Onderzoek van de bouwvoor op in water oplosbare stikstof omstreeks 1 juni kan inzicht geven in het aanbod van stikstof aan de boom (VAN DER BOON en BUTIJN 1961). Een meer betrouwbare basis zou zijn de bemonstering van de gehele doorwortelbare zone. Deze methode van grondonderzoek is echter bezwaarlijk voor de praktijk. De laatste tijd wordt vooral aandacht besteed aan het stikstofonderzoek van het blad. In het voorjaar, wanneer de blaadjes zich ontplooien, is het stikstofgehalte zeer hoog. In het verdere seizoen treedt een daling op, terwijl van midden juli tot eind augustus het stikstofgehalte van de bladeren aan het ondereinde van het langlot zich min of meer op een constant niveau handhaaft. Aan het einde van het seizoen daalt het stikstofgehalte van het blad aanzienlijk voordat het afvalt. DELVER (1963) berekende dat op deze wijze circa 30 % van de stikstof wordt teruggevoerd naar het hout en de bast van de boom. Hoewel over het optimale gehalte van het blad aan stikstof al uitspraken zijn gedaan – het zou in juli-augustus 2,3–2,5 % moeten bedragen –, blijken vele factoren, die op het eerste gezicht niets met de voeding te maken hebben, het stikstofgehalte te beïnvloeden. Dragende bomen hebben een hoger stikstofgehalte in het blad; na sterk snoeien en bij dichte stand van de bomen is het gehalte eveneens hoger, terwijl na een flinke regenbui het stikstofgehalte is gedaald. Op vochtige gronden wordt een lager gehalte gevonden. Betekenis en grootte van deze invloeden moeten eerst nader worden onderzocht, om het stikstofgehalte van het blad in augustus of september als uitgangspunt te kunnen nemen voor het advies van de stikstofbemesting in de komende winter.

Kwaliteit van tuinbouwprodukten

In de toekomst zullen ongetwijfeld steeds meer eisen worden gesteld aan de kwaliteit van tuinbouwprodukten. Niet alleen de uiterlijke kwaliteit van het produkt zal bij de verkoop worden beoordeeld, maar het is te verwachten, dat o.a. door de sterke ontwikkeling van de verwerkende industrie ook aan de "inwendige" kwaliteit van het produkt hogere eisen zullen worden gesteld.

Bij het onderzoek werd tot nu toe de meeste aandacht geschonken aan de verkrijging van de maximale hoeveelheid van een goed produkt. De stikstof- en kalibemestingsproeven van ROORDA VAN EYSINGA zijn nu echter behalve op een goede opbrengst vooral op een uitstekende kwaliteit van het produkt gericht. Het is al gebleken, dat voor een hoge opbrengst aan tomaten van goede kleur (dus zonder "wankleurigheid") veel kali moet worden gegeven. Soms wordt de totale opbrengst reeds verminderd door de hoge kaligift, terwijl de hoeveelheid produkt van prima kwaliteit nog toeneemt. In een proef trad

bij een hiervoor gevoelig ras veel neusrot op door de hoge kaligift en in onderzoek is, hoe de kalkbemesting moet zijn op diluviale oude bouwland-zandgronden om dat te vermijden.

Bij de teeltproeven met potplanten in diverse potgrondmengsels werd steeds de marktkwaliteit van het produkt aan het einde van de proef gewaardeerd. Hierbij bleek dat de mengsels met veel turfmolm aan het einde van de groei-periode een zwaardere overbemesting vragen, waardoor een prima produkt ontstond. In potproeven met anjers werd de invloed van de bemesting op de houdbaarheid van de gesneden bloem bepaald. Er werd echter weinig invloed van de bemesting geconstateerd. In enkele proeven heeft verhoging van de stal-mestgift een verbetering van de houdbaarheid bewerkstelligd. De anjer reageerde sterk op de stikstofbemesting. Hoge stikstofgiften gaven een hogere produktie aan bloemen, met een kleine vermeerdering van tweede soort en gescheurde bloemen.

IJzergebrek was in vele gevallen de oorzaak van gele bladeren van potplanten, vooral bij Primula obconica. Uitgebreide proeven over de toediening van ijzer-chelaat (Chel Fe 330 en Chel Fe 138) gaven voor de praktijk bruikbare richt-lijnen.

Ook in de rozenteelt kwam veelvuldig ijzergebrek voor. De groei stagneerde en de teelt moest voortijdig worden beëindigd. Toepassing van ijzerchelaat herstelde de groei, verhoogde de produktie en verbeterde de kwaliteit van het geoogste produkt (ARNOLD BIK 1961).

Ook in de fruitteelt treedt nogal eens ijzergebrek op. In extreme gevallen (löss op krijt) leidde dit zelfs tot afsterving van de boom. IJzerchelaat werkte reeds binnen drie weken gunstig en leidde tot herstel van de groei. Al was aan het einde van het eerste proefjaar geen chelaat meer in de grond aan te tonen, toch werd een gunstige nawerking gedurende twee jaren geconstateerd (ROORDA VAN EYSINGA 1960). In proeven met peren op zeeklei in Zeeland genas chelaat (Chel Fe 138) ijzergebrek. Het tweede jaar gaf in de proeven van DELVER een geringe gunstige nawerking te zien. Het chelaat moet in het voorjaar goed worden ingespoeld om tijdig het wortelstelsel te bereiken en zijn gunstige werking te kunnen uitoefenen. Ook met Chel Fe 330 zijn resultaten te bereiken, maar de hoeveelheid hiervan moet veel hoger zijn. Het is echter nog de vraag, of toe-passing van ijzerchelaat in de fruitteelt economisch verantwoord is. In minder ernstige gevallen, waar de bomen geen ernstige stilstand in de groei vertonen, kan deze bestrijdingswijze geldelijk niet uit. Onderzoek is gaande onder welke bodemomstandigheden ijzergebrek optreedt. IJzergebrek van appelbomen ver-toonde een goede correlatie met het in azijnzuur-natriumacetaat oplosbare ijzer in de grond (VAN DER BOON en BUTIJN 1961). Dit verschuift echter het probleem

naar de vraag onder welke omstandigheden ijzer oplosbaar blijft. Het blijkt dat ijzergebrek bij ophoping van bicarbonaat in de grond veelvuldiger optreedt. Een betere maat voor de voorspelling van ijzergebrek lijkt de bepaling van ijzer in de grond dat aan humus gebonden en door chelaat vrij te maken is. Op enige bodembehandelingsproeven werd geconstateerd, dat de bomen op zwart gehouden velden meer ijzergebrek vertoonden. Dit kan o.a. samenhangen met de achteruitgang in hoeveelheid en aard van de organische stof in de grond. De ruwheid van de schil van Golden Delicious bleek onder invloed te staan van de wijze van bodembedekking en de toevoer van water.

Als laatste voorbeeld van een onderzoek van de bodemvruchtbaarheid dat van belang is voor de kwaliteit van het produkt, is het stip in de appel Cox's Orange Pippin, een fysiogene ziekte, te noemen. Gevonden is dat bemesting met kalium en magnesium stip in de hand werkt, terwijl toediening van calcium een daling van de aantasting te zien geeft. Bespuiting met 0,5–0,75 % oplossingen van calciumnitraat kunnen de aantasting van stip met 80 % terugdringen. Ook het aantal zacht geworden, bedorven vruchten tijdens de bewaring werd verminderd. Op de kalkrijke zeekleien van Zeeland en de Zuidhollandse eilanden wordt stip met succes bestreden. Er werd een positieve samenhang gevonden tussen stip en het kaligehalte resp. de K+Mg/Ca-verhouding van blad en vrucht. De laatste uitkomsten toonden aan, dat vooral late bespuitingen het meest werkzaam zijn (VAN DER BOON, DAS, VAN SCHREVEN 1962, 1963).

Het ligt in de bedoeling door fysiologisch onderzoek na te gaan, waarom toediening van calcium de vrucht gezond houdt. Onderzocht zal worden of calcium onvoldoende bijdraagt aan vorming van de celwanden in de vrucht of dat de wederzijdse beïnvloeding van kalium, magnesium en calcium voor de handhaving van de osmotische concentratie van het celsap tekortschiet. De verwachting is dat dergelijk fysiologisch onderzoek bij de appel een basis zal leggen voor een beter begrip van de kwaliteitsgebreken van andere vruchten en gewassen met reserve organen (bloembollen, aardappelen), waar volgens de praktijk de hoge kunstmestgiften de houdbaarheid en de kwaliteit ongunstig zouden hebben beïnvloed.

Literatuur

ANON. Resultaten van het zwartveenonderzoek. Verslag van de werkzaamheden van de Werkgroep Zwartveenonderzoek T.N.O. Rijkstuinbouwconsulentschap Bodemaangelegenheden (1963) 15 blz.

ARNOLD BIK, R. Über die Eisenchlorose bei Treibhausrosen in Aalsmeer und die mit Eisenchelat düngung erzielten Resultate. Schweiz. Gärtnerzeitung **64** (1961) 113.

ARNOLD BIK, R. Fysische gesteldheid van potgronden. Vakbl. Bloemisterij **16** (1961) 191.

ARNOLD BIK, R. Scheikundige toestand van potgronden. Vakbl. Bloemisterij **16** (1961) 295.

ARNOLD BIK, R. Ervaringen met "tuinturf" als substraat bij de Azaleateelt. Bodem no. 50 (1962) 8–14.
ARNOLD BIK, R. Stikstofbemesting bij de anjerteelt. Stikstof **3** (1962) 502–520.
ARNOLD BIK, R. Substrates and fertilising of potplants. Proc. XVIth Intern. Hort. Congress Brussels (1962) 116–125.
ARNOLD BIK, R. en ZWAARD, P. VAN DER. Over de bruikbaarheid van verschillende substraten voor de Azaleateelt. Vakbl. Bloemisterij **16** (1961) 111.
BOEKEL, P. en LOKHORST, A. G. VAN. Verbetering van de bodemstructuur door veenachtige produkten. Verslag Inst. Bodemvr. van het in 1962 verrichte onderzoek C 1746.
BOON, J. VAN DER. Bemesting met kunstmest en grondonderzoek in de opengrondse fruit- en groenteteelt. Meded. Dir. Tuinb. **23** (1960) 279–285, 384–388, 424–428.
BOON, J. VAN DER, en ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. Stikstofwerking van stalmest en stikstofbemesting bij tomaten en bonen onder glas. Meded. Dir. Tuinb. **20** (1957) 442–449.
BOON, J. VAN DER en BUTIJN, J. Invloed van bodemfactoren op Jonathan M XVI, onderzocht volgens de proefplekkenmethode. Meded. Dir. Tuinb. **24** (1961) 44–53.
BOON, J. VAN DER en KOLENBRANDER, G. J. Verplaatsing van stikstof naar de diepte in een grasboomgaard. Landbk. Tijdschr. **72** (1960) 904–915.
BOON, J. VAN DER, POUWER, A. en VOS, N. M. DE. Nitrogen dressing in orchards with a grass sward. Proc. XVIth Intern. Hort. Congress Brussels (1962) 151–157.
BOON, J. VAN DER, DAS, A. en SCHREVEN, A. C. VAN. Bestrijding van stip in appels, in het bijzonder door opvoering van de calciumvoeding. Fruitteelt **52** (1962) 161–163, 171 en Landwirt **16** (1962) 355–357, Fruitteelt **53** (1963) 786–788.
BOON, J. VAN DER, DELVER, P., KNOPPIEN, P., en VISSER, A. Kalibemesting van vroege aardappelen in Noord-Holland. Versl. Landbk. Onderz. **69**. 12 (1963) 74 blz.
BOON, J. VAN DER, KOLENBRANDER, G. J. en WIERSUM, L. K. Cacao-afvalkalk, vers of gebroeid. Meded. Dir. Tuinb. **26** (1963) 490–494.
DELVER, P. Optimisme over de grasstrokencultuur. Fruitteelt **52** (1962) 262–263.
DELVER, P. Tijdstip van de stikstofbemesting. Fruitteelt **52** (1962) 1266–1267, 1290–1291.
DELVER, P. Mogen we stikstof strooien op bevroren grond? Fruitteelt **54** (1964) 113–115.
DELVER, P. Stikstof in de fruitteelt. Fruitteelt **53** (1963) 1307–1309, 1333–1335, 1364–1365, 1384–1387.
DIJK, H. VAN. Veenaarde. Tuinbouwber. Gron. Drente **16** (1961) 221.
DIJK, H. VAN en BOEKEL, P. Effect of drying and freezing on some physical properties of peat. Proc. Intern. Peat Congress Leningrad (1963) (ter perse).
GOEDEWAAGEN, M. A. J. Grondwaterstand en beworteling der gewassen. Versl. Techn. Bijeenk. 1–6 (1952) 65–82.
HISSINK, D. J. en SPEK, J. VAN DER. Kort overzicht van de resultaten van het grondonderzoek in diverse jaren in het tijdvak 1923 tot en met 1934 van het vaste bemestingsproefveld in de gemeentelijke proeftuin te Sappemeer. Versl. Landbk. Onderz. **42** (5) B (1936) 187–223.
LANDE CREMER, L. C. N. DE LA. Stikstofwerking van overjarige stalmest. Landbk. Tijdschr. **73** (1961) 368–370.
MEIJER, C. De beste pH voor tuinbouwgewassen. Korte Meded. Rijkslandb. proefst. no. 81 (1938) en Tuinderij **47** (1938).
NAGELS, W. en ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. Vijf jaren bemestingsproef in een warenhuis met sla, tomaten en bonen. Meded. Dir. Tuinb. **21** (1958) 350–366.
ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. Proeven met chelaat bij fruit in Zuid-Limburg ter bestrijding van ijzerchlorose. Meded. Dir. Tuinb. **23** (1960) 237–239.
ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. Bemesting met stikstof van kropsla geteeld in het voorjaar onder glas. Versl. Landbk. Onderz. **68**. 3 (1961) 32 blz.

ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. Beoordeling van de fosfaattoestand van diluviale zandgrond voor de teelt van kropsla in het voorjaar onder glas. Versl. Landbk. Onderz. **67**. 6 (1961) 24 blz.

ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. Fosfaatwerking van stalmest en afgewerkte champignonmest bij kropsla onder glas. Versl. Landbk. Onderz. **68**. 6 (1962) 23 blz.

ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. Düngung von Kopfsalat beim Anbau im Frühjahr in Gewächshäusern. Proc. XVIth Intern. Hort. Congr. Brussels (1962) 229–236.

ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. Development of a pure peat mixture for raising plants with blocks (ter perse).

ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. en BOON, J. VAN DER. Stikstofwerking van stalmest en stikstofbemesting van sla onder glas. Stikstof no. 28 (1960) 174–181.

ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. en MARTENS, N. G. C. Bepaling van veerkracht en drukvastheid van perspotten. Meded. Dir. Tuinb. **25** (1962) 486–493, 506.

ROORDA VAN EYSINGA, J. P. N. L. en MARTENS, N. G. C. Invloed van veerkracht en uitdroging op het volume van perspotten van vers zwartveen en turfmolm. Meded. Dir. Tuinb. **26** (1963) 386–391.

SCHREVEN, A. C. VAN, BOON, J. VAN DER en DAS, A. Stip in appel. Meded. Dir. Tuinb. **25** (1962) 181–191.

P. BRUIN

Ontwikkeling van het landbouwkundige onderzoek aan de Groningse instellingen

Inleiding

De keuze van juist Groningen voor de stichting van een Rijkslandbouwproefstation in 1890 heeft de plaats bepaald voor het bodemvruchtbaarheidsonderzoek in Nederland. De bij Groningen gelegen polders van stijgende ouderdom, het veenkoloniale gebied, de daartussen gelegen overgangsgronden, de heideontginningen en de esgronden nodigden de onderzoekers, die aanvankelijk vooral met controle-onderzoek waren belast, als het ware uit zich aan de studie van de vruchtbaarheid van deze gronden te wijden. Bovendien was de grootmeester van de Nederlandse bodemkunde VAN BEMMELEN voor hen een voorbeeld.

De huidige taak van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid brengt mee, dat in dit overzicht aan de ontwikkeling van het vruchtbaarheidsonderzoek de grootste aandacht zal worden besteed. Het belangrijke bodemkundige en hydrologische onderzoek dat aan de Groningse instellingen is verricht, kan hierbij ongedwongen worden betrokken, aangezien het naar zijn aard de verbetering van de vruchtbaarheid van de grond tot doel had. De studies over de teelt van gewassen, hoewel beperkter van omvang en alleen tot 1939 tot de taak van het instituut behorende, kunnen daarnaast zeker niet onbesproken blijven.

Het overzicht is ingedeeld in enige episoden, die over het algemeen samenvallen met de verschillende reorganisaties van het onderzoek en zijn instellingen. De lijnen van ontwikkeling van het onderzoek zijn, ondanks de wijzigingen in de organisatie van het instituut, grotendeels zo zeer zichzelf gebleven, dat ze kunnen worden ontleend aan de doelstelling en de wetenschappelijke structuur van het huidige instituut.

De werkwijze die in de statuten van de stichting Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (1957) ter bereiking van het gestelde doel nl. de vermeerdering en verbreiding van de kennis van de bodemvruchtbaarheid, in het bijzonder wordt vastgelegd, is de bestudering van vruchtbaarheidsfactoren. De ervaring heeft geleerd, dat op deze basis middelen kunnen worden gevonden ter verbetering

van de bodembehandeling en de grondbewerking en van de bemestingstoestand en de vruchtbaarheid van de grond. Het onderzoek naar de streeksgewijze en landelijke vruchtbaarheidstoestand wordt ook tot de middelen gerekend om de gestelde doeleinden te bereiken. Ter verbreiding van de verkregen kennis wordt de samenwerking met de Rijkslandbouw- en tuinbouwvoorlichtingsdiensten als schakels tussen praktijk en onderzoek noodzakelijk geacht.

De wetenschappelijke structuur van het instituut maakt onderscheid tussen onderzoek van "toegepaste" en van "fundamentele" aard. Met deze onderscheiding wordt te kennen gegeven dat er zowel studie wordt gemaakt van de relaties tussen de vruchtbaarheidsfactoren en de eigenschappen van de gewassen als van de verklaring van deze relaties.

Er wordt in ons overzicht door alle episoden heen in het bijzonder gelet op de ontwikkeling van de factorenstudie en van het streeksgewijze onderzoek, op de verhouding waarin het toegepaste tot het fundamentele onderzoek staat en tenslotte op de toepassing van de verkregen resultaten, waaraan een apart hoofdstuk is gewijd.

De lezer zal in dit historische overzicht vele elementen aantreffen die uitvoeriger en meer principieel in de voorgaande artikelen worden behandeld. Wij hebben ons tot taak gesteld de ontwikkeling van de verschillende richtingen van onderzoek in onderling verband te vervolgen, nog onbehandelde onderwerpen en facetten in beschouwing te nemen en enkele gebeurtenissen van personele aard te releveren.

Wij moeten ons beperken tot een beschrijving van het werk en de lotgevallen van de Groningse instellingen, hoewel wij er ons van bewust zijn, dat ook elders in het land belangrijke bijdragen zijn geleverd tot de vermeerdering van de kennis van de bodemvruchtbaarheid (BRUIN 1957). Dit laatste is vanzelfsprekend in het bijzonder het geval, wanneer het onderzoek aan de Stichting voor Bodemkartering en dat aan het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding over bodem en bodemgesteldheid tot het bodemvruchtbaarheidsonderzoek in ruime zin worden gerekend.

Het wetenschappelijke karakter van alle mededelingen in dit boek brengt mee, dat alleen het werk van de onderzoekers daarin een plaats vindt. De ontwikkeling van de wetenschap is echter ondenkbaar zonder een gelijktijdige groei van alle technische en administratieve diensten. Wij allen ervaren dagelijks dat de toegewijde en vakkundige steun van alle medewerkers van hoog tot laag nodig is voor de volbrenging van de gestelde taak.

Wijzigingen in de taak van de organisatie

De opening van drie proefstations naast het reeds in Wageningen bestaande had

plaats op 2 januari 1890. Een van deze was het Rijkslandbouwproefstation te Groningen. Een kenmerk van het proefstationswezen in Nederland is de steeds voortgaande specialisatie van taken. Deze kan voor Groningen kort als volgt worden aangegeven: veelsoortige dienstverrichting ten behoeve van de landbouw tot 1916 – onderzoek betreffende bodem, bodemvruchtbaarheid en gewassenteelt van 1916 tot 1939 – bodem en bodemvruchtbaarheid van 1939 tot 1957 – daarna bestudering van de bodemvruchtbaarheid voor de akker- en weidebouw en tuinbouw. De volgende naamsveranderingen zijn met deze reorganisaties gepaard gegaan: Rijkslandbouwproefstation – Rijkslandbouwproefstation voor de Akker- en Weidebouw – Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut – Instituut voor Bodemvruchtbaarheid. Hierbij moet nog worden vermeld, dat de bodemkundige afdeling van het Rijkslandbouwproefstation in 1926 in een zelfstandig Bodemkundig Instituut werd omgezet, dat in 1939 met het Rijkslandbouwproefstation onder één hoofddirecteur werd samengevoegd. Verder is de samenbrenging van de vier autonome afdelingen van het Rijkslandbouwproefstation voor de Akker- en Weidebouw onder één hoofddirectoraat in 1930 van zoveel betekenis geweest, dat deze als een reorganisatie moet worden beschouwd, echter zonder wijziging van de taak.

Tevens grepen veranderingen in de juridische status plaats. Van 1890 tot 1945 had men met zuivere rijksinstellingen te maken. In de periode 1945–1957 werd het onderzoek te Groningen ondergebracht bij de Landbouworganisatie TNO. Na 1957 is de status die van een ministeriële stichting.

De reorganisatie in 1916 had een scheiding tussen de controlerende en de onderzoekende taak van de Rijkslandbouwproefstations tot doel. Voor het proefstation te Groningen had in 1927 in feite wederom een dergelijke scheiding plaats. De Vereniging tot Exploitatie van het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek werd toen gesticht en het grondonderzoek voor de praktijk van de afdeling voor de cultuur op zand- en veengronden werd aan dit laboratorium overgedragen. Er bleef echter tot 1945 een personele unie bestaan tussen het Rijkslandbouwproefstation en het Bedrijfslaboratorium.

De reorganisatie in 1930 gaf een vast beleid in één werkverband van de richtingen van onderzoek die in de vier afdelingen tot ontplooiing waren gekomen. Die van 1939 betekende een verbreking van het organisatorische verband tussen bodemvruchtbaarheidsonderzoek en onderzoek over de teelt van gewassen in één instituut, dat DE VRIES bij de aanvaarding van zijn hoofddirecteurschap in 1930 voor ogen had gestaan. Er greep echter een hereniging plaats tussen het onderzoek van bodem en bodemvruchtbaarheid. Het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek te Wageningen werd gesticht en het Bodemkundig Instituut werd na de pensionering van HISSINK onder leiding van O. DE VRIES gesteld.

Tenslotte werd bij de reorganisatie in 1957 het hydrologische onderzoek naar de nieuwe stichting Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen overgebracht. Het bodemkundige onderzoek werd naar de behoefte over het laatstgenoemde instituut, de Stichting voor Bodemkartering die reeds in 1945 tot stand was gekomen, en het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid verdeeld. Het sterk gedecentraliseerde onderzoek van bodemvruchtbaarheid en bemesting voor de tuinbouw werd daarbij aan laatstgenoemd instituut toevertrouwd.

Bouwstenen uit de periode vóór 1930

De verschillende geaardheid en opleiding van de onderzoekers, de grote mate van autonomie der afdelingen van het Rijkslandbouwproefstation voor de Akker- en Weidebouw na 1916 en ook het verschil in de grondsoorten die resp. aan de eerste en de tweede afdeling werden onderzocht, hebben er toe bijgedragen dat in deze periode eerder van "bouwstenen" en "projecten" dan van lijnen van onderzoek kan worden gesproken (GEDENKBOEK 1927). Dit moet geenszins als een kritiek op het verrichte onderzoek worden beschouwd. Men staat integendeel verbaasd, hoeveel werk er toen met geringe middelen en krachten is verricht.

In de beginperiode organiseerden HOLLEMAN (1889–1893), VAN BIJLERT (1894–1895) en SJOLLEMA (1895–1907) voornamelijk het controle-onderzoek. Het aantal te onderzoeken monsters steeg snel. Dit onderzoek verschafte een rijke ervaring op analytisch gebied.

Wij doen niemand tekort wanneer wij memoreren dat J. TEN HAVE in 1906 als eerste analist in Nederland door SJOLLEMA opgeleid, de continuïteit van gedegen analytisch onderzoek hooghield tot 1950, toen hij met de titel van „adjunct-scheikundige" de rijksdienst verliet.

SJOLLEMA zag verder nog kans vele landbouwkundige onderwerpen van allerlei aard te entameren. Deze behoorden ten dele ook tot het gebied van het bodemvruchtbaarheidsonderzoek, zoals de bestudering van de invloed van de bemesting op het zetmeelgehalte van fabrieksaardappelen en die over de bereiding en toediening van stalmest. Voor de bestudering van het belangrijke vraagstuk der bestrijding van de veenkoloniale haverziekte werd hij van 1905 af bijgestaan door HUDIG.

HUDIG en zijn medewerkers vonden tevens middelen ter bestrijding van de "zure" of "Hooghalense" ziekte, in latere jaren nog gevolgd door de succesvolle genezing van de ontginningsziekte als derde "bodemziekte". Het onderzoek naar de regulering van de kalktoestand van zand- en dalgronden, weldra gesteund door een ervaring op grond van vele grondmonsters uit de praktijk, begon zich te ontwikkelen.

Het onderzoek van MASCHHAUPT die SJOLLEMA als directeur opvolgde (1907–1943) en na de reorganisatie van 1916 het directoraat van de afdeling voor klei- en zavelgronden bekleedde, was van geheel andere aard. Hij is steeds een voorvechter geweest van fundamenteel onderzoek op het gebied van bodem en bemesting en waarschuwde tegen het gevaar van proefnemingen die nauw bij de praktijk schenen aan te sluiten, maar slechts incidenteel van aard waren. Zo mag worden gezegd dat MASCHHAUPT baanbrekend onderzoek heeft verricht omtrent de chemische samenstelling van gewassen onder Nederlandse klimatologische omstandigheden, waarop later door VAN ITALLIE is voortgebouwd en dat hij een pleitbezorger is geworden van het gebruik van lysimeters voor fundamenteel landbouwkundig en bodemkundig onderzoek (BRUIN 1948).

Het onderzoek van HISSINK had van de aanvang in 1916 af betrekking op de bodemkundige karakterisering van grondsoorten en bodemtypen en werd in 1926 toen deze afdeling tot een zelfstandig Bodemkundig Instituut werd, op dezelfde wijze voortgezet. Het heeft daarom geen zin voor dit onderzoek het jaar 1930 als een afsluiting van een periode te zien.

De bodembacteriologie stond nog in het begin van zijn ontwikkeling toen GERRETSEN in 1919 na het vertrek van SÖHNGEN directeur werd van de microbiologische afdeling. Het lag voor de hand dat zijn onderzoek vooral begrip moest brengen omtrent de microbiologische processen in de grond. De studies van GERRETSEN over de omzettingen van stikstof in de grond en over die van organische stof hebben reeds vroeg tot een beter inzicht in deze processen bijgedragen. Een direct nut voor de praktijk werd verkregen door de bereiding van entstof voor de ontwikkeling van wortelknolletjes-bacteriën, in het bijzonder voor serradella, lupine en luzerne op nieuwe gronden.

Tenslotte noemen wij ZIJLSTRA die als directeur van de botanische afdeling (1917–1939) naast de behandeling van plantkundige en plantenteeltkundige onderwerpen het initiatief nam voor het wortelonderzoek en het botanische graslandonderzoek, dat zich later onder leiding van GOEDEWAAGEN en D. M. DE VRIES sterk ecologisch heeft ontwikkeld.

Na deze schets van het werk der pioniers aan de Groningse instellingen van landbouwkundig onderzoek gaan wij in verband met de verdere uitbouw nog nader in op enkele facetten van hun onderzoek.

De aanpak van het onderzoek is voor de klei- en zavelgronden zeer verschillend geweest van die voor de zand- en dalgronden. De alluviale afzettingen van verschillende ouderdom in Groningen, in de loop der eeuwen door het klimaat en door de ingreep van mensen beïnvloed, noopten tot een bestudering van het verouderingsproces van kleigronden als oorzaak van de vermindering van de

vruchtbaarheid. Hierbij kwamen nog de vele overgangsgronden tussen klei en veen, waardoor de onderzoeker ertoe werd gebracht een karakterisering van de verschillende bodemtypen te maken. VAN BEMMELEN is reeds vóór de stichting van de proefstations met deze studie begonnen en heeft in dit opzicht MASCHHAUPT en HISSINK sterk beïnvloed. Immers MASCHHAUPT bepleitte in 1914 in een rede voor de Groninger Landbouwbond een systematisch vergelijkend onderzoek van de cultuurgronden gepaard met een vergelijkende studie van de cultuur op die gronden en betreurde het dat het werk van VAN BEMMELEN (1863) toen reeds een halve eeuw had stilgelegen. HISSINK liet aan zijn rapport over "De bodemkundige gesteldheid van den Andijker proefpolder in het jaar 1927–1928" voorafgaan het "Verslag omtrent het landbouw-scheikundig onderzoek van den bodem van het Wieringermeer, uitgebracht aan de Commissie uit de waterschappen ter voorbereiding van de indijking" van VAN BEMMELEN. Het ging bij deze onderzoekingen steeds om een bodemkundige vergelijking tussen nog onbekende gronden en bekende landbouwgebieden, waar men de beschikking had over de ervaring van de boeren. De basis van deze onderzoekingen werd gevormd door bepalingen van de zwaarte van de grond en daarmee samenhangende bodemkundige grootheden, door die van de kalkhuishouding en door een beschrijving van de waterhuishoudkundige toestand. Bij de vergelijking tussen gebieden werd de ouderdom ook steeds in beschouwing genomen.

MASCHHAUPT verrichtte op deze wijze zijn onderzoek naar de toestand van de bodem in de Dollard in verband met mogelijke inpolderingen (1923) en begon met zijn studie in de Dollard-polders van opeenvolgende ouderdom.

Geheel anders waren de omstandigheden bij de zand- en dalgronden. Men heeft hier grotendeels te maken met gronden, waarvan de vruchtbaarheid door mensen moest worden opgebouwd. De kans dat daarbij fouten worden gemaakt, is groot. Het betreft meestal vruchtbaarheidsfactoren die op onoordeelkundige wijze worden beïnvloed. Wij beschreven hierboven reeds hoe SJOLLEMA en vooral HUDIG met deze afwijkingen te maken kregen en hoe met het kalktoestandsonderzoek van de laatste de kwantitatieve studie van afzonderlijke vruchtbaarheidsfactoren een aanvang nam.

Het spreekt vanzelf dat er overgangen zijn tussen deze beide onderscheiden werkmethoden nl. een vergelijking tussen gebieden naar hun landbouwkundige waarde op basis van de algemene bodemgesteldheid resp. een kwantitatieve factorenstudie. De onderscheiding is echter steeds van betekenis gebleven.

Tenslotte maken wij onderscheid tussen het onderzoek naar relaties tussen vruchtbaarheidsfactoren en groei van de gewassen en dat ter verklaring van deze relaties en van de mechanismen waarvan de factoren deel uitmaken.

HUDIG onderkende de grote betekenis van het kalktoestandscijfer voor de bekalkingsadviezen voor zand- en dalgronden en begon reeds aan het onderzoek naar de bepaling van de fosfaat- en kalitoestand. Hij nam het initiatief tot de oprichting van het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek en ging voort met het onderzoek naar de samenhang tussen de kalktoestand en de opbrengst van verschillende gewassen. Er bleef geen tijd over voor een verdieping van het onderzoek naar de verklaring van deze relatie. Bovendien was de tijd nog niet rijp voor een inzicht in de betekenis van sporenelementen voor de groei der gewassen.

Wij hebben hier een voorbeeld, hoe de gestandaardiseerde bepalingsmethode van een vruchtbaarheidsfactor reeds lang grote voordelen voor de praktijk kan opleveren, voordat het diepere wezen van het bestreden gebrek, dus het mechanisme, bekend is. Wat de bestrijding van de Hooghalense ziekte door bekalking betreft, zou het tot 1936 duren voordat VAN ITALLIE een grondige studie van het optreden van deze ziekte maakte, de vruchtbaarheidsfactor magnesium introduceerde en vooral de magnesiumvoorziening der gewassen bestudeerde, waardoor de aard van de ziekte bekend werd. Aan de veenkoloniale haverziekte veroorzaakt door mangaangebrek, werd door GERRETSEN eerst in 1935 diepgaand onderzoek gewijd. MULDER onderkende in 1938 kopergebrek als oorzaak van de ontginningsziekte.

Periode van opbouw 1930–1939

In 1930 begon inderdaad een nieuw tijdperk in de geschiedenis van de Groningse instellingen.

O. DE VRIES kreeg als hoofddirecteur de leiding van het Rijkslandbouwproefstation voor de Akker- en Weidebouw. Met grote kennis van zaken en volharding voegde hij de bouwstenen van de voorafgaande periode tot richtingen van onderzoek samen. Hij stimuleerde de ontplooiing van eigen kracht van de jonge onderzoekers die onder zijn leiding werkten. Hij toonde initiatief en expansiedrang en onderkende de betekenis van de druk van de praktijk voor de ontwikkeling van het onderzoek.

DE VRIES heeft er altijd naar gestreefd het onderzoek van bodem en bodemvruchtbaarheid en dat van de teelt der gewassen in een hecht verband samen te brengen. Het eerstgenoemde had bij zijn komst reeds een basis gekregen. De studies over de teelt van gewassen werden door hem, waar mogelijk, bevorderd.

Wat het laatste betreft maakte het onderzoek op het gebied van de weidebouw reeds goede vorderingen. FRANKENA richtte zijn werk toen vooral op de toediening en de nawerking van stikstof, op de rendabiliteit van de winning van hooi en op de maaitijden en de verschillende wijzen van behandeling van grasland,

mede in verband met de kwaliteit van het gras. Het onderzoek naar de botanische en chemische samenstelling werd tot ontplooiing gebracht onder leiding van D. M. DE VRIES en VAN ITALLIE. De grote stoot tot het graslandonderzoek werd gegeven door de aanleg van de "Staatsmijnproefvelden".

De organisatie kreeg een hechtere vorm, toen MEIJERS in 1932 met de leiding van de landbouwkundige afdeling werd belast. Deze verrichtte met zijn medewerkers belangrijk onderzoek over de teelt van luzerne, mais, soja en lupinen (MEIJERS 1936a en 1939). Er werd een onderzoek ingesteld naar de oogvlekkenziekte van de tarwe (MEIJERS 1937) en naar de mogelijkheden ter bestrijding van aardappelschurft (C. MEIJER 1939). MEIJERS verrichtte ook een uitvoerige studie over de vruchtopvolging (1936b).

De voorlopers van het onderzoek van de teelt van landbouwgewassen waren de Studiecommissie inzake steunverlening voor fabrieksaardappelen of Aardappelmeel-Studiecommissie (ASC) en de Technische Tarwe Commissie (TTC), waaraan de namen van DE WILLIGEN resp. van R. H. VISSER en FEEKES zijn verbonden. De vele mededelingen en verslagen van ASC en TTC geven blijk van de ontplooide activiteit (Studiecommissie 1941 – TTC 1934 t/m 1941).

Met betrekking tot de teelt der gewassen moet tenslotte nog het onderzoek van ZIJLSTRA aan de botanische afdeling over de winterhardheid van tarwe-, gras- en klaversoorten worden genoemd.

De wens van DE VRIES van één organisatorisch verband ging niet in vervulling, maar door het werk van de genoemde onderzoekers is zeker een hechte basis gelegd voor het werkprogramma van het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek (CILO) te Wageningen dat in 1939 het onderzoek van de teelt der gewassen overnam. De onderzoekers op het gebied van bodem en bodemvruchtbaarheid hebben ongetwijfeld een verlies geleden door de verdwijning van de landbouwkundige afdeling uit Groningen. Zij vonden hier een klankbord voor hun meer gespecialiseerde onderzoekingen. Het zou lange tijd duren, voordat hun onderzoek opnieuw was uitgegroeid tot een meer landbouwkundig geheel.

Het vruchtbaarheidsonderzoek werd voortgezet zowel op basis van factoren als in de richting van vergelijkingen van gebieden gebaseerd op de bodemgesteldheid.

Het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek had sterk te lijden van de landbouwcrisis in de dertiger jaren, zodat alles moest worden gedaan om zo efficiënt mogelijk te werken (BRUIN 1953). Het laboratorium verving mede daarom de bepaling van het kalktoestandscijfer door die van de pH, zo nodig aangevuld met de kalkfactor, waardoor veel sneller kon worden gewerkt en

stelde de bepaling van de fosfaat- en de kalitoestand open voor de praktijk op zand- en dalgronden, terwijl later de bepaling van deze beide vruchtbaarheidsfactoren ook voor klei- en zavelgronden mogelijk werd. We plaatsen deze activiteit van het Bedrijfslaboratorium voorop wegens de noodzakelijke eis: "grondonderzoek als basis voor bemesting goedkoop, snel en betrouwbaar". De drang van de praktijk heeft de studie van de bodemvruchtbaarheidsfactoren aan de Groningse instellingen sterk bevorderd. Het ging in deze periode vooral om de toetsing van het grondonderzoek als basis voor de bemesting, waarbij veld- en laboratoriumonderzoek hand in hand gingen.

Wij zullen ons destijds nog niet zo sterk bewust zijn geweest, dat dit grond- en bemestingsonderzoek voor de praktijk zou uitgroeien tot een systeem van bodemvruchtbaarheidsonderzoek. FERRARI en SLUIJSMANS behandelen in hun bijdragen resp. de methodologie en haar toepassing bij het bemestingsonderzoek die toen werden ontwikkeld.

DE GROOT laat in zijn beschouwing over de ontwikkeling van het scheikundige onderzoek zien dat er een duidelijk onderscheid bestaat tussen het conventionele scheikundige vruchtbaarheidsonderzoek op basis van factoren en de bepaling van de bodemgesteldheid als fundament voor een algemene landbouwkundige waardering (BRUIN 1956).

Bij de keuze van een extractiemiddel, waarvan men zich bij grondonderzoek toch altijd moet bedienen, moet men zich niet alleen laten leiden door inzicht in het wezen van de grond, maar vooral ook door de samenhang tussen de opneming van plantenvoedende bestanddelen door het gewas en de hoeveelheid van de in het gekozen extractiemiddel aanwezige elementen. Men krijgt daarbij te maken met de chemische en fysisch-chemische standaardisering van de evenwichtsomstandigheden die bij een extractie van invloed zijn. BRUIN en HETTERSCHIJ hebben in deze periode van opbouw van het grondonderzoek resp. op het gebied van de kalk- en van de fosfaathuishouding veel met deze moeilijkheden te maken gehad. De literatuur bevat talrijke vergelijkingen tussen verschillende methoden van onderzoek.

Het is, zoals ook in de uiteenzetting van SLUIJSMANS naar voren wordt gebracht, de sterke kant van onze werkwijze dat het veldonderzoek centraal werd gesteld. Het begeleidende chemische onderzoek maakte het mogelijk de resultaten van vele proefvelden met elkaar te verbinden. De grondmonsters van proefvelden en uit de praktijk werden volgens dezelfde methoden op hetzelfde laboratorium bepaald, waardoor een hecht verband tussen onderzoek en toepassing werd gelegd.

De bepaling van de bodemgesteldheid bevat weliswaar ook conventionele elementen, maar richt zich in veel sterkere mate op het wezen van de verbindingen

die in de grond voorkomen en op de processen die zich in dit milieu afspelen.

De toetsing van de methoden van grondonderzoek werd bewust ter hand genomen. VAN DER PAAUW gaf een samenvatting van de kaliproefvelden op zand- en dalgronden die voor verschillende doeleinden waren aangelegd, met als centraal punt de toetsing van het kaligetal. BRUIN (1936) en VISSER (1943b) deden hetzelfde voor de kalkproefvelden. Het omvangrijke onderzoek naar de kali- en fosforzuurhuishouding van de Groningse klei- en zavelgronden werd in 1938 en 1939 met medewerking van de Groninger Maatschappij van Landbouw, de door deze ingestelde Commissie voor Bedrijfsvoorlichting en de Rijkslandbouwconsulent onder leiding van W. C. VISSER verricht (1942). Het Bedrijfslaboratorium bevorderde regionale onderzoekingen voor de bepaling van de factor pH, waardoor tevens een overzicht werd verkregen over de kalktoestand van de desbetreffende gebieden op zand- en dalgrond. Dit werk werd door de crisismaatregelen van de regering sterk bevorderd.

Het verloop van de analysecijfers dat in de jaarlijks genomen grondmonsters van proefvelden naar voren kwam, en de onverwachte verschillen bij herbemonstering van praktijkpercelen noopten tot grote aandacht voor de reproduceerbaarheid van het grondonderzoek en tot een kritische beschouwing van de methoden van onderzoek. Die voor de bepaling van de kalktoestand en de kalkfactor werden voor alle gronden uit hetzelfde gezichtspunt opgebouwd. Men zag in dat de variabiliteit van analysecijfers bij chemisch grondonderzoek een van de kritieke punten was ten aanzien van de mogelijkheid een bemestingsadvies per perceel op basis van grondonderzoek te geven (BRUIN 1938).

Bij de bepaling van enkelvoudige factoren van de vruchtbaarheid van de grond werd niet alleen van chemische methoden gebruik gemaakt. Er werd ook begonnen met de ontwikkeling van microbiologische methoden voor de bepaling van de fosfaat- en kalitoestand. VISSER nam deze methoden op bij zijn toetsing te velde in zijn fosfaat- en kalionderzoek van de Groningse klei- en zavelgronden.

Tenslotte moet ook het chemische gewasonderzoek als hulpmiddel voor de bepaling van vruchtbaarheidsfactoren worden genoemd. VAN ITALLIE verrichtte daarover veel onderzoek en gaf als zijn mening te kennen, dat gewasonderzoek voor het gestelde doel wel niet de plaats van het grondonderzoek zou kunnen overnemen, maar als aanvulling en verklaring van grote waarde moest worden geacht. Dit zou in sterkere mate bij de groeifactor kali dan bij fosforzuur het geval zijn.

De richting van onderzoek die door MASCHHAUPT vóór 1930 was beoefend, werd ook daarna voortgezet. Het betreft systematisch vergelijkend onderzoek van cultuurgronden in verschillende klei- en zavelgebieden. Met zorg gekozen

typemonsters werden door het Bedrijfslaboratorium onderzocht op mechanische samenstelling en kalktoestand, zo nodig en mogelijk aangevuld met enig ander onderzoek. Talrijk waren de besprekingen met landbouwverenigingen in die gebieden die door MASCHHAUPT vaak tezamen met DECHERING werden gehouden. Er werd op deze wijze in onderlinge gedachtenwisseling inzicht verkregen in de algemene vruchtbaarheidstoestand van de onderzochte streken. Een voorbeeld van deze wijze van werken is het onderzoek over "De cultuurgronden op IJsselmonde" (1933). MASCHHAUPT putte bij de beschouwing van de resultaten steeds uit zijn rijke ervaring over de klei- en zavelgronden in het algemeen en van die in Groningen in het bijzonder (MASCHHAUPT 1936). Meerjarige onderzoekingen hebben deze ervaring doen rijpen.

Hoe was het nu gesteld met de verklaring van de gevonden relaties en met de bestudering van de mechanismen der processen? Allereerst bleek toen reeds dat door de relaties tussen de vruchtbaarheidsfactoren zelf grondsoorten karakteristiek konden worden onderscheiden. Dit werd b.v. duidelijk aangetoond door voor zand- en dalgronden en heideontginningen de fosfaatgehalten bepaald in een waterig en in een citroenzuur extract en als totaal fosfaat tegen elkaar uit te zetten (DE VRIES, HETTERSCHIJ en VAN DER PAAUW 1937). Er werden ook wetmatigheden gevonden bij de relaties tussen vruchtbaarheidsfactoren en opbrengst. VISSER (1938) en VAN DER PAAUW (1938) verdiepten zich in de verschillende vormen van samenhang tussen groeifactoren en opbrengst. Daarbij werden drie "principes" onderscheiden die resp. overeenkwamen met de wet van het minimum van LIEBIG, de wet van de constante werkingsfactoren van MITSCHERLICH, terwijl het derde "principe" uit het werk van BRUIN (1936) en VISSER (1938) naar voren kwam, dat nl. de optimale pH naar lagere waarden verschuift, wanneer de maximale opbrengst, dus de algemene vruchtbaarheidstoestand van de grond hoger wordt. VAN DER PAAUW maakte met gegevens uit de literatuur en uit een bewerking van de resultaten der meerjarige bemestingsproefvelden te Sappemeer en Borgercompagnie aannemelijk dat al naar de omstandigheden van het milieu alle drie "principes" kunnen optreden.

Naar de diepere oorzaken van relaties werd een onderzoek ingesteld. GERRETSEN verrichtte zijn reeds eerder genoemde studie over de oorzaak van de veenkoloniale haverziekte en VAN ITALLIE verschafte inzicht in het verschijnsel van de Hooghalense ziekte.

Ook aan het Bodemkundig Instituut greep er van het stichtingsjaar 1926 af een belangrijke ontwikkeling plaats. Het fysisch-chemische onderzoek van HISSINK, krachtig bijgestaan door VAN DER SPEK, had vooral betrekking op de adsorptieverschijnselen in de bodem, de processen die zich bij bekalking en ont-

kalking in de grond afspelen, de veroudering van kleigronden na de indijking, de granulometrie en het sorptieve vermogen der verschillende subfracties van de klei (HISSINK 1936). De grondsoorten werden zo gekarakteriseerd en ingedeeld, dat een vergelijking met gronden in binnen- en buitenland mogelijk werd. Het is de verdienste van HISSINK dat hij een internationale standaardisering van chemischen fysisch-chemische methoden ter karakterisering van gronden krachtig heeft bevorderd. De nogal sterke scheiding tussen de afdelingen van het Rijkslandbouwproefstation resp. Bodemkundig Instituut heeft ongetwijfeld een ongunstige invloed gehad op de coördinatie der methoden van onderzoek.

HISSINK kreeg meer mogelijkheden toen hij betrokken werd bij het onderzoek over de inpoldering van de nieuwe Zuiderzeegronden en lid werd van de Commissie Lovink voor de advisering omtrent de landbouwtechnische aangelegenheden betreffende de proefpolder nabij Andijk. Deze commissie hield zich ook reeds bezig met onderzoekingen van de toekomstige Zuiderzeegronden. ZUUR werd voor dit doel door de Directie van de Wieringermeerpolder in Groningen gedetacheerd, en hield zich in het bijzonder bezig met vraagstukken betreffende ontzilting en bodemkundige gesteldheid van die polder.

De aanstelling van HOOGHOUDT in 1929 betekende het begin van een zeer belangrijke ontwikkeling van agrohydrologisch onderzoek aan de Groningse instellingen. Aan het einde van de hier beschreven periode komt HOOGHOUDT reeds met zijn publikaties over de theorie en haar toepassingen van de kwantitatieve stroming van het water in de bodem.

HISSINK kon bij zijn afscheid in 1939 terugzien op een goed gefundeerd chemisch, fysisch en agrohydrologisch stramien van onderzoek, gedegen van inhoud en naar de stijl waarmee de resultaten werden te boek gesteld. Ook daarna heeft hij nog lange tijd met actieve belangstelling de ontwikkeling van het onderzoek kunnen vervolgen, vooral ook, waar het de toepassingen in de Zuiderzeepolders betrof.

Verdere uitbouw van het onderzoek 1939–1957

Een woord ter herdenking van stafleden die ons ontvielen, is hier op zijn plaats.

C. MEIJER die na een lange staat van dienst (1908–1943) ons instituut had verlaten, overleed nog tijdens de bezetting. Hij was de wetenschappelijke archivaris van het Rijkslandbouwproefstation. Verschillende samenvattingen van de resultaten van meerjarige bemestingsproefvelden verschenen van zijn hand. Hij en zijn rechterhand J. GOODIJK (1922–1954†) hebben de opbouw van de proefveldendienst geleid.

VAN ITALLIE die in 1939 de leiding van het laboratorium voor chemisch gewasonderzoek aan het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek te

Wageningen op zich nam, viel in 1945 ten offer aan oorlogshandelingen. Hij had zich aan ons instituut van 1931 tot 1939 tot een kundig beoefenaar van het studiegebied der chemische plantenvoeding ontwikkeld.

CASTENMILLER ontviel ons in 1951. Zijn algemene belangstelling in de landbouw en zijn problemen was onze werkgemeenschap tot grote steun.

HOOGHOUDT (1929–1953†) kan de grondlegger van het agrohydrologische onderzoek in Nederland worden genoemd. Zijn systematiek op dit gebied werd ook bekend in het buitenland. Hij consolideerde de resultaten van zijn onderzoek in praktische toepassingen van grote betekenis. Zijn plotselinge dood in 1953 betekende een groot verlies voor de ontwikkeling van de agrohydrologie.

Na de bezetting werd het landbouwkundige onderzoek weer met energie ter hand genomen. De nood in de oorlogsjaren had geleerd welke grote betekenis aan de landbouw en zijn organen moest worden toegekend. De Rijksdienst voor Landbouwherstel bestreed de gevolgen van de inundaties. Ons instituut nam hierin een bescheiden aandeel (ROWAAN 1951 – WESTERHOF, VAN BEEKOM, PRUMMEL en VAN DER PAAUW 1951).

Op 1 maart 1945 werd het instituut ondergebracht bij de Landbouworganisatie TNO. O. DE VRIES was voorzitter van deze tak van de Centrale Organisatie TNO geworden. BRUIN nam de leiding op zich van het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut TNO. DECHERING werd directeur van het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek.

De activiteit van de Centrale Organisatie TNO en haar bijzondere organisaties kan als een uiting van de emancipatie van het onderzoek worden gezien. De Landbouworganisatie TNO is niet tot volle ontplooiing gekomen, maar haar bestaan heeft ongetwijfeld grote invloed gehad op de groei van het onderzoek. Opdrachten voor het verrichten van onderzoek konden worden aanvaard. Ook de terbeschikkingstelling van Marshall-gelden onder toezicht van het Ministerie maakte de uitvoering van omvangrijke projecten mogelijk (bereiding, bewaring en toediening van stalmest, winderosie, stikstofhuishouding i.v.m. bodemstructuur, hydrologische profielen).

De uitbouw van het onderzoek had zowel op de studie van vruchtbaarheidsfactoren als op die van de bodemgesteldheid betrekking, terwijl ook het fundamentele onderzoek in omvang toenam.

In 1941 werd door een commissie van vertegenwoordigers van instituten en van de rijkslandbouwvoorlichtingsdienst een plan aanvaard voor de aanleg in interprovinciaal werkverband van bemestingsproefvelden voor de toetsing van methoden ter bepaling van enkelvoudige vruchtbaarheidsfactoren. In de oorlogs-

jaren kon hiermee een bescheiden begin worden gemaakt, maar de uitvoering kwam daarna eerst goed op gang. Er werden op bouwland series proefvelden aangelegd betreffende de factoren fosfaat, kali, kalk-kali, kalk-magnesia en koper en op grasland met betrekking tot fosfaat, kali, kali-magnesia en koper. De resultaten werden centraal te Groningen bewerkt en gepubliceerd en waren ook voor de verschillende ressorten afzonderlijk van veel betekenis. De advisering voor bemesting met behulp van grondonderzoek kreeg voor geheel Nederland een basis.

In de periode dat bij het proefveldwezen een landelijke uitbreiding plaatsvond, werd ook het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek sterk vergroot. Mariëndaal te Oosterbeek werd in 1948 het centrum met filialen te Groningen, Geldrop (1942) en Goes (1948). De personele unie met de Groningse instellingen van onderzoek werd beëindigd. Er is echter steeds een hechte samenwerking gebleven. De talrijke moeilijkheden bij de fundering en uitvoering van grondonderzoek werden met vereende krachten opgelost. De bewerking van de resultaten van de eerste series interprovinciale proeven werd voltooid (VAN DER PAAUW DE en LA LANDE CREMER 1951). VISSER gaf een inzicht in de bepaling van de nauwkeurigheid en doeltreffendheid van verschillende methoden van grondonderzoek (1943a). Het Bedrijfslaboratorium ontwikkelde een controlesysteem voor routine-onderzoek op grote schaal, daartoe gebracht door moeilijkheden voortkomende uit de standaardisering van het grondonderzoek op verschillende laboratoria en door de verschillen bij herhaling van de bepalingen. Onvolkomenheden bij de standaardisering traden daarbij aan het licht, maar ook wezenlijke invloeden van de methode en van de weersomstandigheden waaraan de bemonsterde velden waren blootgesteld.

De onderzoekers werden er zich van bewust dat hun methode van toetsing van het grondonderzoek als basis voor bemestingsadviezen een karakteristieke werkwijze inhield om tot een totale analyse van de vruchtbaarheid van de grond te komen. Reeds toen werd een eerste raming gemaakt van de mogelijkheden ter verbetering van de produktiviteit van de Nederlandse gronden ter bespreking op een bijeenkomst van de UNO die aan dit onderwerp was gewijd (BRUIN c.s. 1949).

VISSER die in 1942 overging naar de Cultuurtechnische Dienst, had gedurende zijn tienjarig verblijf aan ons instituut zijn stempel gedrukt op de ontwikkeling van het onderzoek, maar leverde ook in zijn nieuwe werkkring belangrijke bijdragen voor de toepassingsmogelijkheden van zijn werkmethode.

De aanstelling van enige onderzoekers maakte het in deze periode mogelijk het aantal bodemvruchtbaarheidsfactoren dat in studie kon worden genomen

uit te breiden en het reeds lopende onderzoek te versterken. Er werd reeds toen naar gestreefd het onderzoek zo te organiseren, dat de overwegend met behulp van proefvelden uitgevoerde factorenstudies werden gesteund door specialistisch onderzoek in de laboratoria.

Zo werd de basis voor de bekalking en de bemesting met magnesium versterkt (CASTENMILLER 1948, 1951) en werd een fundamenteel mineralogisch aspect in het onderzoek gebracht. Er kwam een wisselwerking tot stand tussen het onderzoek naar de mechanismen in de grond en de toetsing van vruchtbaarheidsfactoren.

Het chemische gewasonderzoek werd dienstbaar gemaakt aan de toetsing van het conventionele grondonderzoek. De kennis over de chemische samenstelling van landbouwgewassen werd verrijkt. De bepaling van sporenelementen werd verbeterd (RAMEAU 1958).

Tevens werd onzerzijds met de hulp van de Landbouworganisatie TNO het analytische onderzoek aan de Rijksuniversiteit te Utrecht gesteund.

De uitbreiding naar nieuwe vruchtbaarheidsfactoren betrof de fysische bodemvruchtbaarheid, de humushuishouding en de sporenelementen.

Met de benoeming van PEERLKAMP in 1943 deed het fysische bodemvruchtbaarheidsonderzoek zijn intree aan het instituut. Het door hem in dit boek gemaakte onderscheid tussen fysisch bodemvruchtbaarheidsonderzoek en bodemfysica is een analogon van het conventionele chemische bodemvruchtbaarheidsonderzoek en de bodemchemie. De moeilijkheden en mogelijkheden lopen parallel. Het door PEERLKAMP geïntroduceerde en later door BOEKEL uitgebouwde structuuronderzoek heeft aansluiting gevonden bij de studies over de kwantitatieve samenhang tussen vruchtbaarheidsfactoren en opbrengst.

Het onderzoek van HOOGHOUDT over de fysische eigenschappen van gronden in gedroogde toestand, dat volgens een onvoltooid gebleven plan zou worden voortgezet met een studie over de plasticiteit, is bodemfysisch van aard. De beide richtingen zouden elkaar te zijner tijd hebben kunnen aanvullen.

De aanstelling van FERWERDA in 1941 en die van KORTLEVEN in 1947 betekenden een intensivering van het organische-stofonderzoek. De studie over de landbouwkundige waarde en de principiële betekenis van stalmest en stadsvuilcompost werd aanvankelijk in het middelpunt geplaatst. Beide onderzoekers pasten bij de aanleg van hun veldproeven het serieprincipe toe, maar het is kenmerkend voor beiden dat daarbij, wellicht meer dan voorheen, op de mogelijkheden van mathematische toetsing der resultaten werd gelet. Het onderzoek van KORTLEVEN groeide uit tot een veelzijdige landbouwkundige studie over de vruchtbaarheidsfactor organische stof in grond en meststoffen. Er werden van 1948 af onder auspiciën van de Bodemvruchtbaarheidscommissie ook proeven over de voor-

ziening van de grond met organische stof in bedrijfsverband aangelegd. De drie organische-stofbedrijven te Nagele in de Noordoostpolder werden in 1951 gesticht; de resultaten daarvan werden gesteund door het inzicht dat bij de zgn. miniatuur organische-stofbedrijven op de proefboerderij dr. H. J. Lovink-hoeve werd verkregen (GROOTENHUIS 1962). De belangstelling voor het organische-stofprobleem was overal groeiende (Werkgroep omzettingen organische stof TNO 1950). Het vraagstuk van de optimale organische bemesting bij het optimale gehalte aan organische stof kwam centraal te staan. De fysisch-chemische ondersteuning van het onderzoek, voorheen slechts sporadisch verleend (HOOGHOUDT 1952 en 1960, ROGGEN 1949), werd door H. VAN DIJK ontplooid. Deze begon in 1954 met zijn onderzoek over de kwalificering van organische stof in grond en in venige produkten.

De landelijke aanpak van de voorziening van onze gronden met sporenelementen werd aan de orde gesteld toen HENKENS in 1953 in dienst trad. Vóór hem hadden MULDER en GERRETSEN reeds diepgaand onderzoek over enige problemen inzake sporenelementen verricht. Het was dringend nodig dat het onderzoek op het gebied van sporenelementen in Nederland werd geïntensiveerd. Op dit gebied was in de oorlogsjaren een achterstand ontstaan. HENKENS kreeg tot taak de adviesbasis voor bemesting met sporenelementen uit te breiden. Achtereenvolgens kwamen de elementen koper, mangaan, molybdeen, kobalt en borium aan de beurt en incidenteel ook zink.

DE GROOT begon van 1951 af met zijn bodemchemische studie over het voorkomen van mangaan in de grond en de betekenis daarvan voor de plantenvoeding. Hierop bouwde HENKENS voort met een onderzoek over de bestrijding van mangaangebrek door middel van voorraadbemesting (1959).

FERRARI bekroonde zijn in 1948 uitgevoerd onderzoek over de stroomruggronden van de Bommelerwaard met een dissertatie. Hier was aangetoond dat de vruchtbaarheidsanalyse van een regionaal gebied ter verklaring van verschillen in opbrengst op basis van vruchtbaarheidsfactoren kwantitatief mogelijk is. Een dergelijke analyse vormt een bodemkundig fundament voor de verbetering van een streek.

De belangrijke groeifactor stikstof onttrok zich nog aan de analyse. Men was genoodzaakt de invloed daarvan door een gift volgens het inzicht van de boer te elimineren of deze vast te leggen in een stikstof-opbrengstkromme. In deze jaren werd dit vraagstuk aangepakt. FERRARI beschreef de stikstofreactie van aardappelen met de parameters van de stikstof-opbrengstkromme. Hij slaagde er in de invloed van factoren als structuur en grondwaterstand op de grootte van de parameters vast te stellen. KUIPERS verrichtte een streekonderzoek met suikerbieten gericht op de factoren bodemstructuur en stikstofhuishouding (1955).

Na de komst van HARMSEN in 1951 werd een begin gemaakt met een studie over de beweeglijkheid van stikstof in de grond en haar betekenis voor de stikstofvoorziening van het gewas. GERRETSEN had toen reeds principieel onderzoek verricht over de omzetting van stikstofverbindingen in de grond (1949).

Thans stellen wij de vraag, hoe zich naast deze studie over enkelvoudige vruchtbaarheidsfactoren en hun mechanismen het algemene regionale bodemkundige onderzoek heeft ontwikkeld. MASCHHAUPT publiceerde in 1948 en 1956 de resultaten van zijn onderzoekingen in het Dollardgebied over de invloed van de ouderdom op de bodemkundige toestand van een kleigrond. Naast een studie over de veranderingen in het bodemprofiel vindt men hierin de laagsgewijze veranderingen in gehalte aan humus, kalk, magnesium, stikstof, zwavel, fosfaat, kali en natrium. Er treedt duidelijk aan de dag hoe zeer ook de diepere lagen van het profiel aan de voedselvoorziening van de gewassen bijdragen en welke grote betekenis aan de mineralogische nalevering van voedende bestanddelen moet worden toegekend. Dit komt ook duidelijk naar voren in het in 1941 verschenen tweede deel van zijn lysimeteronderzoekingen.

MASCHHAUPT die in 1943 werd gepensioneerd en zijn werk aan het instituut in 1947 neerlegde, beëindigde met deze werkstukken zijn wetenschappelijke loopbaan.

Het samengaan van het Landbouwproefstation en het Bodemkundig Instituut maakte het mogelijk streeksgewijze onderzoekingen met verschillende doelstelling te verrichten. Het Bedrijfslaboratorium nam aanvankelijk de uitvoering op zich van uitgebreide onderzoekingen betreffende bemestingstoestand en bodemgesteldheid, waarvoor KOORNNEEF werd aangesteld. Na de overgang naar de Landbouworganisatie TNO kon het Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut TNO opdrachten aanvaarden van veldbodemkundige en agrohydrologische aard. Dat had tot gevolg dat het streekonderzoek zich uitbreidde. Ook van de zijde van de praktijk was hiervoor veel belangstelling. Openbare lichamen, bedrijfsorganen en uitvoerende organen voor cultuurtechnische werken, waarbij de praktijk van de landbouw nauw was betrokken, verleenden opdrachten voor onderzoek. Onderzoekingen waarbij zowel op landbouwkundige aspecten als op die van bodemgesteldheid en bodemvruchtbaarheid werd gelet kwamen tot stand (DE VRIES, KOORNNEEF en DECHERING 1944). KOORNNEEF geeft in zijn rapport over "De bodemgesteldheid van Niervaart, Zwaluwen en omstreken" een beschouwing over de richtingen in het regionale bodemonderzoek. Dit onderzoek zelf is beperkt tot een kenschetsing van de bemestingstoestand van het gebied en een beschrijving van de bodemgesteldheid, waarbij verschillende "profieltypen" worden onderscheiden (1946).

Evenmin als bij het onderzoek van MASCHHAUPT betreffende de Dollardpolders werd bij dat van KOORNNEEF een kwantitatieve landbouwkundige interpretatie van de bodemgesteldheid gegeven. MASCHHAUPT heeft het gemis van dergelijk onderzoek steeds betreurd. De stroomgronden van de Bommelerwaard werden voor de kwantitatieve bodemvruchtbaarheidsanalyse van FERRARI gekozen, aangezien de Stichting voor Bodemkartering dit gebied had gekarteerd en het op prijs werd gesteld beide richtingen van onderzoek met elkaar in verband te brengen. Een begin met het leggen van een schakel werd gemaakt door de aanleg van de reeds genoemde stikstofhoeveelhedenproefvelden met aardappelen.

Ook op agrohydrologisch gebied grepen streekonderzoekingen plaats, waarin voor de bepaling van de detailontwatering de beschrijving van de bodemgesteldheid een belangrijk onderdeel vormde. Onderzoekingen in verschillende waterschappen van rivier- en beekgebieden in verband met de hinder van droogte werden verricht. Een karakteristiek en belangrijk onderzoek van HOOGHOUDT betrof de ontwatering van de Veenkoloniën.

De ontwikkeling van deze "agropedologische" richting van onderzoek te Groningen werd gestoord door de totstandkoming van de Stichting voor Bodemkartering onder leiding van EDELMAN, waar onder geheel andere omstandigheden een bodemkundig onderzoek tot ontwikkeling kwam. VISSER gaf een visie op de verschuiving van accent bij de verschillende scholen van onderzoek bij de aanpak van vraagstukken van bodem en bodemvruchtbaarheid (VISSER 1949).

Het agrohydrologische onderzoek van HOOGHOUDT en zijn medewerkers vormt een hoofdstuk op zichzelf. Wij verwijzen daarvoor naar het overzicht van BRUIN en VISSER over "Het werk van dr. S. B. HOOGHOUDT in dienst van het landbouwkundig onderzoek" (1953) met een bibliografie van VAN DER LOEFF (1954).

HOOGHOUDT werd in latere jaren bij zijn theoretische studies gesteund door VAN DEEMTER en ERNST. Zijn praktische adviezen hadden betrekking op streeksgewijze ontwateringen en watervoorzieningen, op de aanleg van vliegvelden en sportvelden. Zijn "Onderzoek naar de agrohydrologische profielen van Nederland" werd begonnen samen met WICHERTS en na zijn dood voortgezet door DE RIDDER (1957). Tenslotte leidde hij de onderzoekingen van zijn medewerkers ten dienste van de "Commissie voor Waterbeheersing en Verzilting Zeeland", voor de "Commissie Agrarische Belangen Limburg" en voor het agrohydrologische onderzoek in de komgronden, terwijl hij een actief aandeel had in het werk van de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland (COLN).

Met het vertrek van VAN DER SPEK in 1953 werd aan ons instituut een richting van chemisch en fysisch-chemisch onderzoek ter beschrijving van bodemkundige processen beëindigd die de school van VAN BEMMELEN kan worden genoemd. De typering van grondsoorten en het vervolgen van veranderingen in de bodem werden nagestreefd door in verband met de resultaten van het granulometrische onderzoek vooral te letten op de gehalten aan bestanddelen, zoals Fe_2O_3, Al_2O_3 en SiO_2 in goed gestandaardiseerde zure extracten van opklimmende sterkte.

HETTERSCHIJ die in 1952 de dienst verliet, was een representant van het chemische bodemvruchtbaarheidsonderzoek. Zijn constructieve aanleg is van grote waarde geweest voor de mechanisatie en rationalisatie van methoden, een schakel tussen het instituut en het Bedrijfslaboratorium.

De ontwikkeling van het biologische onderzoek, in het bijzonder dat van GERRETSEN en van GOEDEWAAGEN wordt in de bijdrage van VAN DER PAAUW behandeld. Met hun vertrek verloor ons instituut twee steunpilaren van fundamenteel onderzoek.

Het onderzoek van de wetenschappelijke onderzoekers wordt belangrijk gesteund door collega's aan wie de wetenschappelijke documentatie en de kritische literatuurstudie kan worden toevertrouwd, waarbij wij de namen noemen van VAN DER LOEFF en VAN ALPHEN.

Verspreiding van resultaten

De aard van het onderzoek aan de Groningse instellingen is steeds zo geweest dat in de proefopzet reeds een element van toepasbaarheid aanwezig was. Er werden immers vele proefvelden midden in de praktijk aangelegd en het nauwe samengaan tussen veld- en laboratoriumonderzoek zorgde ervoor, dat de gegevens der objecten onderling konden worden verbonden en een overdraagbaarheid van het resultaat werd verkregen. Hierbij komt nog dat de specialistische onderzoekers het materiaal voor hun laboratoriumonderzoek vaak ontleenden aan die plaatsen te velde die door een specifieke behandeling als standaardplekken waren te beschouwen.

De onderzoekers waren echter in de verschillende perioden van de geschiedenis van het instituut niet even sterk bij de directe toepassing van hun resultaten in de praktijk betrokken. Bij deze terugblik valt het op dat elke reorganisatie weliswaar een vermeerdering van mogelijkheden van gespecialiseerd onderzoek te zien gaf, die zonder scheiding van taken waarschijnlijk niet zou zijn verkregen, maar tevens, althans voor ons instituut, een vermindering van een direct contact met de praktijk bij de verspreiding der resultaten tot gevolg had. Dit was reeds het geval bij het verlies van het controleonderzoek in 1916. De totstandkoming van het Bedrijfslaboratorium in 1927 bracht mee dat de streeksgewijze onder-

zoekingen van vruchtbaarheidsfactoren apart of in combinatie (pH, fosfaat, kali) door dit laboratorium zouden worden georganiseerd, waarop vaak een bespreking der resultaten volgde. De reorganisatie in 1939 verplaatste het onderzoek van de teelt der gewassen naar het Centraal Instituut voor Landbouwkundig Onderzoek, waar het contact met de praktijk bij de gewassenassociaties werd gelegd; het daarbij ondergebrachte laboratorium voor gewasonderzoek zou pas in 1950/51 in het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek een plaats vinden. Wij merkten hierboven reeds op dat de oprichting van de Stichting voor Bodemkartering de ontwikkeling van het agropedologische onderzoek aan ons instituut remde. Tenslotte ging het agrohydrologische onderzoek aan ons instituut dat sterke contacten met de praktijk legde, in 1957 over naar het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.

De verstrekking van bemestingsadviezen op basis van chemisch grondonderzoek ging in 1947 over van het Bedrijfslaboratorium naar de voorlichtingsdienst. Nieuwe door het instituut gefundeerde adviezen worden uitvoerig besproken in de commissies "Bemesting van bouwlandgewassen", "bemesting van grasland", "bemesting in de tuinbouw" en "bemesting van tuinbouwgewassen op landbouwbedrijven", die zijn samengesteld uit deskundigen van instituten en voorlichtingsdienst. De discussies zijn zeer nuttig, maar een direct contact met de praktijk grijpt daarbij niet plaats. Wel komen er opnieuw besprekingen met de assistent-specialisten van de voorlichtingsdienst, wanneer zich moeilijkheden bij de toepassing in de praktijk voordoen. De stationeringen in de tuinbouwcultures na de reorganisatie in 1957 brengen de onderzoekers wel in direct contact met de praktijk. Dit was ook het geval met de detacheringen vóór 1957 met agrohydrologische doelstelling. Een nadeel is dat gestationeerde onderzoekers nogal eens voor een dubbele taak komen te staan, nl. de ontwikkeling van onderzoek en de begeleiding der resultaten op hun weg naar de praktijk. In de laatste jaren neemt overigens de vraag naar voordrachten en artikelen ook van niet gestationeerde onderzoekers toe. Het voordeel van dit directe contact met de praktijk moet terdege worden afgewogen tegen het nadeel dat de verwijdering van het moederinstituut en de veelvuldige onderbreking van het onderzoek ongetwijfeld hebben.

De geleidelijke ontwikkeling van het bodemvruchtbaarheidsonderzoek op basis van vruchtbaarheidsfactoren is er mede oorzaak van geweest dat de directe contacten met de praktijk nogal incidenteel van aard waren. Bij het optreden van verschijnselen van gebrek of overmaat bij plant en dier is dit contact spoedig aanwezig, maar de belangstelling van de praktijk vermindert zodra de depressies niet meer spectaculair zijn. Toch moet het onderzoek voortgaan problemen op te lossen, ook wanneer de praktijk ze niet meer als urgent onderkent, als zij

naar het inzicht van onderzoekers en voorlichtingsdienst nog wel van belang zijn. KOK wees hierop reeds en schrijft: "Later, toen de geheimen der bemesting nader werden uitgeplozen, toen het resultaat van verschillende bemestingen niet meer van het uiterlijk der gewassen kon worden afgeleid, maar vooral met maat en weegschaal of in het laboratorium moest worden vastgesteld, toen ging voor velen het interessante van de proefneming verloren". Op een andere plaats voegt hij hieraan toe: "Laat de wetenschap voortgaan met de weg te effenen die naar rationele bemesting leidt" (KOK 1948). Het is verheugend dat wij dit doel van een rationele bemesting steeds meer naderen, terwijl tevens vorderingen worden gemaakt met het onderzoek naar een optimale bodembehandeling met betrekking tot structuur, vochthuishouding en voorziening van de grond met organische stof. Wij zijn thans min of meer in staat een kwantitatieve beschrijving te geven van de toestand van een gebied ten aanzien van bemesting en bodembehandeling. Dit meer afgeronde geheel van onderzoek zal meer belangstelling trekken van de praktijk dan de meestal (niet spectaculaire) invloed van de vruchtbaarheidsfactoren afzonderlijk, hetgeen onwillekeurig het directe contact van onderzoek en praktijk bevordert. De erkenning van de betekenis van het instituut neemt hierdoor toe, wat de onderzoekers animeert. De verschijning van de rapporten van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en de Stichting voor Bodemkartering over een analyse van de opbrengstverschillen tussen de noordoostelijke en zuidwestelijke kleigebieden heeft dan ook getoond dat daarvoor belangstelling bij de praktijk bestaat (IB–Stiboka, 1964). Op analoge wijze ontwaakt er onder invloed van de tijdsomstandigheden belangstelling voor schema's van bemesting en bodembehandeling. Wij zien het als een onderdeel van onze taak de vele gegevens, die in de loop der jaren zijn verkregen, om een gewas of een gebied te groeperen.

De samenwerking tussen ons instituut en de Stichting voor Bodemkartering komt in het bovenstaande naar voren. Wij zien hierin een teken, dat de verstoring van de ontwikkeling aan de Groningse instellingen in de richting van agropedologie en agrohydrologie als gevolg van de reorganisaties zal kunnen worden opgeheven door een doelbewuste ordening der resultaten van onderzoek van ons instituut, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en Stichting voor Bodemkartering in onderlinge samenwerking. De voorlichtingsdienst zal bij het contact met de praktijk vanzelfsprekend een werkzaam aandeel moeten behouden.

Het contact van het instituut met de praktijk geschiedt grotendeels door bemiddeling van de voorlichtingsdienst, maar ook het onderwijs vervult daarbij een rol van betekenis. De bespreking van verkregen resultaten te midden van onderwijs, voorlichting en praktijk geeft richting aan het onderzoek (BRUIN 1960).

De inleidingen die door de onderzoekers voor cursussen van allerlei aard, op

bijeenkomsten van verenigingen en voor het werk in commissies worden verzorgd, zijn talrijk.

De vereniging voor Hoger Landbouwonderwijs te Groningen heeft met betrekking tot de didactische taak van de onderzoekers reeds van 1906 af een aparte plaats ingenomen (ADDENS 1960). Vrijwel jaarlijks werd van de zijde van het instituut actief deelgenomen aan de cursorische voordrachten die in het winterhalfjaar ter ontwikkeling van de praktijk werden gehouden. De behandelde onderwerpen werden meermalen verwerkt tot een apart boekje, dat ook als leerstof kon worden gebruikt. (FRANKENA 1936, VAN ITALLIE 1938, GERRETSEN 1939, GOEDEWAAGEN, 1942, MASCHHAUPT, 1943, VAN DER PAAUW, 1946).

Ook een verband met het hogere onderwijs is waardevol; GERRETSEN, HOOGHOUDT en VAN DER PAAUW legden een dergelijk contact met de universiteit te Groningen.

De verspreiding van de verkregen kennis in woord en geschrift is een vraagstuk op zichzelf. De samenwerking tussen onderzoek en onderwijs kan nuttige vruchten afwerpen. Het blijkt dat samenvattingen van resultaten die op de voorlichting zijn gericht, in een behoefte voorzien (HENKENS, 1960).

De meststoffenindustrie is eveneens een belangrijk gebied van toepassing van de resultaten van onderzoek. Het betreft de waardering van meststoffen voor de verschillende grondsoorten en gewassen en het geven van richtlijnen voor de fabricage. Het meststoffenbesluit dat in 1942 tot stand kwam, had tot doel alleen die meststoffen tot de markt toe te laten waaraan waarde voor land- en tuinbouw kan worden toegekend. Bij ministerieel besluit werd een commissie samengesteld die de minister hieromtrent van advies moet dienen. Hieruit is een nauwe samenwerking tussen het Rijkslandbouwproefstation te Maastricht en ons instituut gegroeid. ROWAAN werd in 1943 aangesteld voor alle aangelegenheden betreffende de herkomst, bereiding en samenstelling der in Nederland gebruikte meststoffen in het kader van het meststoffenbesluit. Vele contacten met de industrie waren hiervoor nodig. Vooral in en kort na de oorlog greep veelvuldig onderzoek plaats over de waarde en toelaatbaarheid van meststoffen. Wij denken aan het omvangrijke onderzoek over de betekenis van bacteriepreparaten voor land- en tuinbouw (GERRETSEN, FERWERDA en ROWAAN 1946). Ook die van sporenelementen in meststoffen maakte een punt van studie uit. Het is verheugend dat in samenwerking met de industrie een beleid voor het gebruik van sporenelementen kon worden vastgesteld (HENKENS 1962). Verder leidde veel overleg tot de opstelling van de eisen voor kalkmeststoffen (gehalte en fijnheid) en voor de samenstelling van mengmeststoffen.

De samenwerking tussen instituut en meststoffenindustrie heeft vooral hierin bestaan dat door ter beschikking gestelde middelen en in onderling overleg

naar een waardering van meststoffen werd gestreefd, zodat de voorlichtingsdienst in dit opzicht van advies kon worden gediend. Reeds lang voordat het meststoffenbesluit tot stand kwam, bestonden contacten met de industrie. Deze betreffen zowel de industrieën van stikstof-, fosfaat-, kali- en kalkmeststoffen als de instellingen die zich bezig houden met de verwerking van stedelijke en andere afvalstoffen tot voor de landbouw nuttige produkten.

De samenwerking tussen onderzoekers en landbouwkundigen van de industrie heeft ook wel geleid tot gemeenschappelijke publikaties (TEMME en VAN DER MAREL 1952, SLUIJSMANS en STRUIJS 1962, LEHR en HENKENS 1963).

Meer indirect was het contact met de industrie in de commissies van bijstand voor stikstof- en voor kalionderzoek, waarbij het vooral ging om dieper gaand onderzoek aan ons en andere instituten over de invloed van resp. stikstof en kali op grond en gewas.

De intensieve samenwerking aanvankelijk met de directie van de Staatsmijnen, later voortgezet met het Landbouwkundig Bureau van de Nederlandse Stikstofmeststoffenindustrie heeft steeds een aparte plaats ingenomen. Reeds omstreeks 1930 bevorderde de heer C. BOUDEWIJN, directeur van het Landbouwkundig Bureau van de Staatsmijnen een samenwerking tussen de Staatsmijnen en de Rijkslandbouwconsulenten na overleg met het toenmalige Departement van Binnenlandse Zaken en Landbouw. Ook ons instituut had hierbij een werkzaam aandeel. De resultaten van de zgn. "Staatsmijnproefvelden" werden te Groningen centraal bewerkt (O. DE VRIES 1938). Het doel van deze proeven was richtlijnen te krijgen voor de keuze der te fabriceren stikstofmeststoffen.

Het is ook het initiatief van de heer BOUDEWIJN geweest, dat MULDER in 1939 aan het instituut werd gedetacheerd om onderzoek te verrichten over de stikstofvoorziening van de gewassen in verband met de vruchtbaarheid van de grond.

De opdracht van MULDER werd ruim gesteld. Hij behoefde zich niet te beperken tot vraagstukken betreffende stikstof. Zijn onderzoekingen tot aan zijn vertrek als hoogleraar naar Wageningen zijn veelzijdig geweest (BRUIN 1956). Hij werd in 1957 opgevolgd door VAN BURG, terwijl in 1964 ook DILZ te Groningen werd gedetacheerd.

Het geregelde contact dat de laatste jaren met de landbouwkundige vertegenwoordigers van de meststoffenindustrie tot stand is gekomen door jaarlijkse samenkomsten met hun kring LOBB (landbouwkundig onderzoek bemestingsbeleid) is belangrijk. Naarmate meer bekend wordt over de wisselwerking van alle vruchtbaarheidsfactoren, krijgt het des te meer zin in onderlinge samenwerking de actuele vraagstukken van het behoud en de verbetering van de vruchtbaarheid van de grond te behandelen.

Consolidatie en perspectief van 1957 af

De laatste reorganisatie greep plaats in 1957, waarbij de Stichting Instituut voor Bodemvruchtbaarheid tot stand kwam. De medewerkers op agrohydrologisch gebied gingen over naar de nieuwe Stichting Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding en het fysisch-chemische onderzoek over bodemgenese naar de Stichting voor Bodemkartering. Het bemestingsonderzoek in de tuinbouw werd toevertrouwd aan ons instituut. Wat de wetenschappelijke structuur betreft, werd onderscheid gemaakt tussen afdelingen voor gericht fundamenteel en voor toegepast onderzoek.

Het lijkt gerechtvaardigd te spreken van een consolidatie van het onderzoek in deze periode, omdat dit zover is gevorderd dat het gehele gebied van bemesting en bodemvruchtbaarheid, in onderdelen beoordeeld, min of meer volledig wordt bestreken. Wij beschikken thans over een stramien van kennis en van methoden van onderzoek, waarop kan worden voortgeborduurd en waarvan bij de bestudering van afzonderlijke projecten kan worden gebruik gemaakt.

FERRARI laat in zijn bijdrage duidelijk zien hoever wij met de vruchtbaarheidsanalyse met behulp van factoren zijn gekomen. De oorzaken van de verschillen in de vruchtbaarheid van de grond kunnen per gebied kwantitatief worden vastgesteld. Er kan in samenwerking met andere instituten een beschrijving worden gegeven van bodem en bodemvruchtbaarheid. Verder kunnen met de ter beschikking staande, moderne hulpmiddelen ingewikkelde multifactoriële vraagstukken worden aangepakt. Hierbij wordt gedacht aan relaties tussen bodem, plant en dier en aan die op het gebied van organische stof, stikstofhuishouding en bodemstructuur. Het spreekt vanzelf dat telkens verbeterde of nieuwe factoren kunnen worden ingevoerd en getoetst. Belangrijk is, dat thans ook de invloed van weersomstandigheden op grond en gewas binnen het bereik van het factoriële onderzoek ligt.

Er zijn goede vorderingen gemaakt bij het bemestingsonderzoek van grasland. Wij hebben ons bij de keuze der onderwerpen in sterke mate laten leiden door hetgeen van de zijde van veevoedingsdeskundigen urgent werd geacht. De laatste jaren stonden daarom de vraagstukken met betrekking tot kali en magnesium, sporenelementen en natrium (HENKENS en VAN LUIT 1963) in het middelpunt der belangstelling (BRUIN 1963). Het onderzoek betreffende de stikstofvoorziening van grasland is een hoofdstuk op zichzelf. De invloed van de stikstofvoorziening en de groeiduur op de opbrengst en de kwaliteit van het gras kon van één gezichtspunt uit, nl. het nitraatgehalte van het gras worden samengevat (VAN BURG 1962). Toch moet nog veel onderzoek worden verricht om de stikstofhuishouding van de grond en de relaties tussen de grond en de kwali-

teit van het gras te leren kennen.

Op het gebied van het bemestingsonderzoek op bouwland kan steeds meer van een totaal bemestingsbeleid worden gesproken, waarbij de vruchtopvolging in beschouwing wordt genomen. De afzonderlijke gewassen worden naar hun behoefte aan voedingsstoffen onderling vergeleken (SLUIJSMANS, PRUMMEL 1956, 1958, 1964), waarbij ook gebruik wordt gemaakt van reeds beschikbare gegevens. Hiermede wordt de basis gelegd voor vergelijkend ecologisch onderzoek en ander specialistisch onderzoek op het gebied van de plantenvoeding.

Zoals reeds eerder werd opgemerkt, streeft men naar schema's van bemesting (ADVIESBASIS 1962) en naar stelsels van relaties tussen bodemfactoren, waarop adviezen voor bodembehandeling kunnen worden gegeven (BOEKEL 1963). Bij het onderzoek betreffende grondbewerking wordt gebruik gemaakt van resultaten van het structuuronderzoek en worden voor dit doel karakteristieke methoden uitgewerkt. Er wordt daarbij ook getracht op basis van de samenhang tussen de eigenschappen die voor de grondbewerking van belang zijn, en andere bodemfactoren, tot een schema te komen, waarvan voor bijzondere gevallen een nuttig gebruik kan worden gemaakt. Bij de ontwikkeling van dit onderzoek bestaat veel contact in de werkgroep grondbewerking.

Over het algemeen is het zo, dat de vermeerdering van het inzicht in de mogelijkheden van toepassing van de resultaten van onderzoek voor een geheel gebied of voor samenhangende bepaalde teeltmaatregelen een extra stimulans voor de opvolging der adviezen inhoudt naast de advisering van boer en tuinder individueel.

Betreffende de organisatie van het tuinbouwkundige onderzoek als nieuwe loot van het instituut kan het volgende worden opgemerkt. De directeur van de tuinbouw gaf bij de overdracht van het bemestingsonderzoek voor de tuinbouw aan het instituut te kennen, dat landbouwkundig en tuinbouwkundig bemestings- en vruchtbaarheidsonderzoek de gezichtseinders van beide cultuurgebieden zouden kunnen verruimen. Dit is juist gezien. Men denke bijv. aan de bemesting en aan de voorziening van de grond met organische stof die in de tuinbouw over het algemeen veel rijker zijn dan in de landbouw. Men krijgt voor verschillende onderzoekingen, zoals die over het verband tussen organische stof en bodemstructuur, de beschikking over een groot traject van in de praktijk voorkomende toestanden. Wat de bemesting betreft, geeft vooral de tuinbouw inzicht in de betekenis van de concentratie aan in water oplosbare voedingsstoffen voor de plantengroei, terwijl de ervaring bij het landbouwkundige onderzoek vooral die van de rijkdom van de grond naar voren brengt. Hierbij moet worden bedacht, dat naarmate de meststofgiften groter zijn, de bodemvoorraad relatief minder naar voren komt.

Het tuinbouwkundige onderzoek is zo georganiseerd, dat de in de teeltcentra gestationeerde onderzoekers door specialistische onderzoekingen die aan het instituut te Groningen worden uitgevoerd, worden gesteund. Wij wijzen in dit verband op de bewerking van resultaten, op het bewortelingsonderzoek, de fysisch-chemische kwalificering van veenaarden, het bodemchemische en biochemische onderzoek van chelaten, de bepaling van de structuur van de grond en de betekenis van fysiologisch en microbiologisch onderzoek. In de teeltcentra zelf wordt direct op de praktijk gericht diepgaand onderzoek ter hand genomen. Zo wordt de stikstofvoorziening in de fruitteelt zowel bodemchemisch als uit een oogpunt van plantenvoeding bestudeerd. In de bloemisterij gaat het voornamelijk om de optimale bemesting bij verschillend samengestelde substraten. De onderzoeker in het centrum van kassenteelt houdt zich bezig met de meststoffenbehoefte van sla, tomaten en komkommer, terwijl voor de groenteteelt in de volle grond vooral de bodembehandeling op het werkprogramma is geplaatst. Het is ook een belangrijke taak van de gestationeerde onderzoekers de bemestingsgewoonten in de verschillende tuinbouwcentra onderling te vergelijken om daaruit lering te trekken.

De wederzijdse beïnvloeding van multifactorieel toegepast onderzoek (relatieonderzoek) en specialistisch onderzoek van de mechanismen der processen die zich in de vorige periode reeds aftekende, treedt nu duidelijker aan de dag. Zo blijkt de ontwikkeling van het onderzoek over fosfaat als vruchtbaarheidsfactor (in water oplosbaar fosfaat) een stimulans te zijn voor een fundamentele studie over de binding van fosfaat in de grond bij de verschillende bodemtypen.

Het onderzoek over sporenelementen heeft reeds van het begin af deze wisselwerking getoond, hoewel de factorenstudie aanvankelijk zwaarder is geaccentueerd. Volgens laatstgenoemde richting is thans een eerste landbouwkundige afronding bereikt, hoewel op dit gebied telkens afwijkingen bij de gewassen van land-, tuin- en bosbouw optreden die de aandacht vragen. Kennis van de ziekteverschijnselen is daarbij van groot belang; deze zijn in de vorm van aquarellen vastgelegd. De vraagstukken op het gebied van sporenelementen worden nu meer specialistisch aangepakt, zowel uit een oogpunt van plantenvoeding (HENKENS 1965) als langs bodemchemische (DE GROOT 1963) en biochemische weg (VAN DRIEL 1964).

Het onderzoek naar de optimale voorziening van de grond met organische stof is veelzijdig. Er is een eerste samenvatting over verschenen (BRUIN 1965a). De verschillende richtingen van onderzoek op dit gebied komen tot ontplooiing, zowel relatieonderzoek als dat van de verklaring der mechanismen.

De samenhang tussen de gemiddeld jaarlijks toegediende hoeveelheid orga-

nische stof en het bereikte humusgehalte van de grond werd vastgesteld (KORTLEVEN 1963). Er worden steeds meer gegevens over de samenhang tussen het humusgehalte en de structuur van de grond verkregen. De betekenis van verse organische bemesting voor grond en gewas wordt, tevens in verband met de stikstofhuishouding van de grond, te velde en op het laboratorium bestudeerd. Er wordt inzicht verkregen in de kwaliteit van de organische stof (VAN DIJK 1959). Ook staat het proces der veraarding van organische stof op het programma. De studie van deze onderdelen van het organische-stofvraagstuk is nodig om tot algemene richtlijnen voor het te voeren beleid te komen, zowel wat de behandeling van de grond betreft als met betrekking tot het vraagstuk van de verwijdering van stedelijke afvalstoffen. Wat de bodembehandeling aangaat, worden belangrijke resultaten ontleend aan de organische-stofbedrijven in de Noordoostpolder, waar onder sterk gemechaniseerde omstandigheden verschillende intensiteiten van organische bemesting in bedrijfsverband worden onderzocht.

Een mooi voorbeeld van wisselwerking tussen relatie- en specialistisch onderzoek is de studie van de betekenis van calcium voor de kwaliteit van vruchten en gewassen met reserveorganen. Een systematisch onderzoek te velde toonde de genezende invloed van calcium op het stip in de appel Cox's Orange Pippin aan; thans geschiedt hierover fysiologisch onderzoek van fundamentele aard.

Bij het vraagstuk van de stikstofhuishouding van de grond worden zowel de relaties van de enkelvoudige factor stikstof in grond en gewas met de kwantiteit en de kwaliteit van de gewassen bepaald als ook studies verricht over mineralisatie, binding en verliezen van stikstof in de grond en over het metabolisme van stikstofverbindingen in de gewassen. De beweeglijkheid van stikstof maakt dat deze groeifactor moeilijk te vangen is.

De vraag komt op, of de factor stikstof niet beter te hanteren is door middel van chemisch gewas- dan door grondonderzoek. Wij wezen in dit verband reeds op de betekenis van de nitraatbepaling in gras. Ook bij aardappelen en granen wordt op deze wijze geëxperimenteerd.

De algemene vraag, in hoeverre chemisch gewasonderzoek niet alleen diagnostische betekenis heeft of een hulpmiddel is bij de toetsing van grondonderzoek, maar ook op fysiologische en biochemische basis van ruimere betekenis voor het vruchtbaarheidsonderzoek kan worden, zal pas na meer onderzoek kunnen worden beantwoord (BROESHART en VAN SCHOUWENBURG 1961).

Het ecologische wortelonderzoek is uiteraard een beschrijving van relaties. De verfijnde wijze waarop het aan ons instituut is ontwikkeld, maakt het tot een waardevol hulpmiddel bij de verklaring van verschijnselen (SCHUURMAN en GOEDEWAAGEN 1965).

Het is uit de voorgaande hoofdstukken duidelijk gebleken dat voor een effici-

ente toepassing der verkregen resultaten een samenwerking tussen het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, de Stichting voor Bodemkartering en het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding noodzakelijk is. Het kan ook als een belangrijk perspectief worden gezien dat zich steeds meer specialistisch onderzoek op de grensgebieden tussen instituten ontwikkelt. Dit tekent zich vooral af bij het bodemvruchtbaarheidsonderzoek en het planteziektenkundig onderzoek. Zo werd in onderlinge samenwerking het vraagstuk der bestrijding van aardappelschurft opnieuw ter hand genomen, terwijl reeds geruime tijd een intensief contact tussen beide gebieden van onderzoek bestaat bij het onderzoek naar de T-ziekte. Een breed perspectief kan worden gezien in het onderzoek betreffende de bestrijding van bodempathogenen. Het is niet steeds zo, dat bij het betreden van een dergelijk omvangrijk gebied van onderzoek van het begin af doelbewust wordt gewerkt. Er worden vaak projecten gekozen, waarvan men vermoedt dat ze bij de ontplooiing een belangrijke bijdrage voor het uiteindelijke doel kunnen leveren. Zo wordt thans aan ons instituut specialistisch onderzoek gericht op de processen in de onmiddellijke omgeving van de wortel, de zgn. rizosfeer (HARMSEN en JAGER 1962). Het ligt in de bedoeling dit onderzoek niet alleen microbiologisch, maar ook bodemchemisch en biochemisch te benaderen. Naar onze mening wordt de richting van een dergelijke aanpak in belangrijke mate bepaald door het "werkklimaat" van het instituut, zodat er van doublures nauwelijks sprake kan zijn. Het is daarbij wel van betekenis de toepasbaarheid van de resultaten in onderling overleg tijdig onder de loep te nemen.

Ook op het grensgebied tussen het bodemvruchtbaarheidsonderzoek en het biologische en scheikundige onderzoek van gewassen grijpen belangrijke ontwikkelingen plaats. Dit betreft zowel factorenstudies als mechanismenonderzoek.

Het behoeft geen betoog dat niet alle onderzoek kan worden ondergebracht in het schema van relaties en mechanismen. Bovendien moet men bedenken dat geanalyseerde relaties ook een verklaring inhouden, terwijl bij de bestudering van mechanismen vaak relaties worden gebruikt.

Toch onderscheidt het aan ons instituut ontwikkelde stelsel van bodemvruchtbaarheidsonderzoek zich zozeer van wat men elders aantreft, dat het ook belangstelling trekt in het buitenland. Het is verheugend dat over de methodiek van dit onderzoek uitvoerig van gedachten wordt gewisseld. Een wisselwerking van inzichten grijpt in het bijzonder plaats op de samenkomsten van de internationale werkgroep op het gebied van bodemvruchtbaarheid. Gemeenschappelijk opgezette veldproeven met daaraan verbonden specialistisch onderzoek over de stikstofhuishouding van de grond in verband met andere vruchtbaarheidsfactoren liggen in 17 centra in 8 landen (BRUIN 1965b). De verschillende richtingen van onderzoek komen tot een vruchtbare uitwisseling van inzichten op basis

van gemeenschappelijk verzamelde gegevens. Ook hierbij blijkt dat de opzet van het onderzoek te Groningen een karakteristieke plaats inneemt.

Wij menen te mogen vaststellen dat het landbouwkundige onderzoek aan de Groningse instellingen zich van 1890 tot 1965 heeft ontwikkeld tot een aparte loot van de landbouwecologie.

LITERATUUR

ADDENS, N. G. De Vereeniging voor Hooger Landbouwonderwijs te Groningen; historisch overzicht naar aanleiding van haar vijftigjarig bestaan. Groningen (1960) 324 blz.

ADVIESBASIS voor de bemesting van landbouwgronden aan de hand van resultaten van grondonderzoek. (Samengesteld door het Rijkslandbouwconsulentschap Bodem en Bemesting i.o.m. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek). 's-Gravenhage (1962) 76 blz.

BEMMELEN, J. M. VAN. Bouwstoffen tot de kennis van de kleigronden der provincie Groningen. Scheikundige verhandelingen en onderzoekingen (G. J. Mulder), deel 3 (1863).

BOEKEL, P. The effect of organic matter on the structure of clay soils. Neth. J. Agric. Sci. **11** (1963) 250–263.

BROESHART, H. en SCHOUWENBURG, J. CH. VAN. Early diagnosis of mineral deficiencies by means of analysis. Neth. J. Agric. Sci. **9** (1961) 108–117.

BRUIN, P. Samenvatting van eenige resultaten van kalkproefvelden op bouwland. Versl. Landbk. Onderz. **42** (1936) 773–891.

BRUIN, P. Eenig materiaal over de variabiliteit van analysecijfers bij chemisch onderzoek. Versl. Landbk. Onderz. **44** (1938) 623–691.

BRUIN, P. Ir. J. G. Maschhaupt 1 October 1902–1 October 1907–1 October 1947. Landbk. Tijdschrift **60** (1948) 70–75.

BRUIN, P. De betekenis van het Bedrijfslaboratorium voor Grond- en Gewasonderzoek voor landbouw en landbouwkundig onderzoek. TNO-Nieuws **8** (1953) 124–130.

BRUIN, P. Een terugblik bij het vertrek van dr. ir. E. G. Mulder uit Groningen i.v.m. zijn benoeming tot hoogleraar in de microbiologie aan de landbouwhogeschool te Wageningen. Stikstof **1** (1954/1956) 376–387.

BRUIN, P. Perspectieven van het grondonderzoek. Het chemisch bodemvruchtbaarheidsonderzoek. 's-Gravenhage (1956) 182–192.

BRUIN, P. Ontwikkeling van het bodemvruchtbaarheidsonderzoek in Nederland. Landbk. Tijdschrift **69** (1957) 365–376.

BRUIN, P. De samenwerking tussen instituten van onderzoek en de leraren der middelbare scholen. Maandbl. Land- en Tuinbouwonderwijs **3** (1960) 27–29.

BRUIN, P. Actuele bemestingsproblemen op de graslandbedrijven. Landbouwvoorl. **19** (1963) 517–528.

BRUIN, P. Influence of organic matter on soil fertility and productivity. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Rapport 3, (1965a) 14 blz.

BRUIN, P. Report of the Working Committee of the IVth Commission (International Coöp. in field trials on soil fertility). Bull. int. Soc. Soil Sci., No. 26 (1965b).

BRUIN, P., CASTENMILLER, G. M., MULDER, E. G., PAAUW, F. VAN DER en 't HART, M. L. Possibilities of improving the fertility of the soil in the Netherlands by more rational application of lime, inorganic and organic manures and by improvement of its texture. United Nations, Econ.

and Social Council (1949) 12 blz. Amer. Fert. **3**, No. 4 (1949) 7–8, 24, 26, 28.

BRUIN, P. en VISSER, W. C. Het werk van Dr. S. B. Hooghoudt in dienst van het landbouwkundig onderzoek. Landbk. Tijdschrift **65** (1953) 650–657.

BURG, P. F. J. VAN. Interne stikstofbalans, produktie van droge stof en veroudering bij gras. Proefschrift Wageningen (1962) 131 blz. Versl. Landbk. Onderz. **68.** 12 (1962).

CASTENMILLER, G. M. De betekenis van de kalktoestand van het Nederlandse bouwland voor de toekomstige productiemogelijkheden van de akkerbouw. Landbk. Tijdschrift **60** (1948) 92–106.

CASTENMILLER, G. M. Wat is er met het magnesium aan de hand? Landbouwvoorl. **8** (1951) 148–162.

DRIEL, W. VAN. The effect of iron ethylenediaminetetraacetic acid on the growth and metabolism of tomato plants in water culture. Plant and Soil **20** (1964) 85–104.

FRANKENA, H. J. Voordrachten over moderne weidebouw. 's-Gravenhage (1936) 110 blz.

GEDENKBOEK uitgegeven bij gelegenheid van het vijftigjarig bestaan der Rijkslandbouwproefstations 1927. 's-Gravenhage (1927) 136 blz.

GERRETSEN, F. C. Bodem-bacteriologie in dienst van land- en tuinbouw. 's-Gravenhage (1939) 219 blz.

GERRETSEN, F. C. De stikstofbalans en de pH-veranderingen in enkele gronden onder invloed van bacteriënleven en plantengroei. Versl. Landbk. Onderz. **54.** 16 (1949) 68 blz.

GERRETSEN, F. C., FERWERDA, J. D. en ROWAAN, P. A. Het gebruik van bacteriepreparaten voor land- en tuinbouw. Landbouwvoorl. **3** (1946) 335–340.

GOEDEWAAGEN, M. A. J. Het wortelstelsel der landbouwgewassen. 's-Gravenhage (1942) 173 blz.

GROOT, A. J. DE. Mangaantoestand van Nederlandse en Duitse holocene sedimenten in verband met slibtransport en bodemgenese. Proefschrift Utrecht 1962, 205 blz. Versl. Landbk. Onderz. **69.** 7 (1963) 164 blz.

GROOTENHUIS, J. A. Onderzoek op de drie organische-stofbedrijven bij Nagele in de Noordoostpolder. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen. Rapport 3, (1962) 8 blz.

HARMSEN, G. W. en JAGER, G. Determination of the quantity of carbon and nitrogen in the rhizosphere of young plants. Nature **195** (1962) 1119–1120.

HENKENS, CH. H. Bestrijding van mangaangebrek. Landbk. Tijdschrift **71** (1959) 17–21.

HENKENS, CH. H. Gebreksziekten en haar bestrijding. Loonbedrijf in Land- en Tuinb. **13** (1960) 639–643.

HENKENS, CH. H. Bemestingsbeleid ten aanzien van sporenelementen. Landbk. Tijdschrift **74** (1962) 691–707.

HENKENS, CH. H. en JONGMAN, E. Verplaatsing van mangaan in de plant en de consequenties hiervan in de praktijk. Neth. J. Agric. Sci. **13** (1965) (in druk).

HENKENS, CH. H. en LUIT, B. VAN. Bepaling van de natriumtoestand van grasland met behulp van grondonderzoek. Versl. Landbk. Onderz. **69.**13 (1963) 52 blz.

HISSINK, D. J. Twintig jaar bodemkundig onderzoek (1916–1936); tien jaar Bodemkundig Instituut (1926–1936). Groningen (1936) 108.

HOOGHOUDT, S. B. Rapport over het onderzoek van ingezonden monsters voor de karakterisering van molm, molmig goed en bagger. Landb.proefst. en Bodemk. Inst. TNO, Groningen (1952) div. blz.

HOOGHOUDT, S. B., WOERDT, D. VAN DER, BENNEMA, J. en DIJK, H. VAN. Verdrogende veengronden in West-Nederland. Versl. Landbk. Onderz. **66.**23 (1960) 308 blz.

INSTITUUT voor Bodemvruchtbaarheid. Invloed van de bodemvruchtbaarheid op de opbrengstverschillen tussen noordelijke en zuidelijke zeekleigebieden. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen. Rapport 16 (1964) div. blz. (zie ook Stiboka).

ITALLIE, TH. B. VAN. De chemische samenstelling van gewassen in verband met landbouwkundige

vraagstukken. 's-Gravenhage (1938) 85 blz.
KOK, J. Grepen uit het verleden van de landbouw in de Groninger veenkoloniën. Wageningen (1948) 153 blz.
KOORNNEEF, H. De bodemgesteldheid van Niervaart, Zwaluwen en omstreken. Versl. Landbk. Onderz. **51** (1946) 235–487.
KORTLEVEN, J. Kwantitatieve aspecten van humusopbouw en humusafbraak. Proefschrift Wageningen 1963, 109 blz. Versl. Landbk. Onderz. **69.1** (1963) 109 blz.
KUIPERS, H. Een streekonderzoek gericht op de factoren bodemstructuur en stikstofbemesting. Versl. Landbk. Onderz. **61.9** (1955) 79 blz.
LOEFF, J. A. VAN DER. Publicaties en rapporten van Dr. S. B. Hooghoudt†. Pudoc Wageningen, Lit. lijst no. 12 (1954), 23 blz.
MASCHHAUPT, J. G. Verslag van een onderzoek naar de gesteldheid van den bodem in den Dollard met het oog op inpoldering. Bijdragen tot de kennis in de provincie Groningen en omgelegen streken, vanwege het Natuurk. Genootschap te Groningen uitgeg. door het Centr. Bur. v. d. kennis v. d. prov. Groningen en omgelegen streken. Nieuwe reeks, 2de stuk, Groningen/ Den Haag (1923), 76 blz.
MASCHHAUPT, J. G. De cultuurgronden op IJsselmonde. Versl. Landbk. Onderz. **39** (1933) 475–521.
MASCHHAUPT, J. G. Het zavelproefveld van het Rijkslandbouwproefstation te Groningen in de jaren 1911–1934. Versl. Landbk. Onderz. **42** (1936) 543–647.
MASCHHAUPT, J. G. Resultaten verkregen bij het onderzoek der Groninger klei- en zavelgronden. 's-Gravenhage (1943) 88 blz.
MEIJER, C. Proeven en waarnemingen over aardappelschurft. 's-Gravenhage (1939) 80 blz.
MEIJERS, P. G. Lucernebouw. 's-Gravenhage (1936a) 95 blz.
MEIJERS, P. G. Vruchtopvolging. 's-Gravenhage (1936b) 72 blz.
MEIJERS, P. G. Een onderzoek naar factoren die van invloed zijn bij het optreden van de oogvlekkenziekte van de tarwe (1935). Versl. Landbk. Onderz. **43** (1937) 271–311.
MEIJERS, P. G., ITALLIE, TH. B. VAN en MANSCHOT, J. J. De productiegang van mais. Versl. Landbk. Onderz. **45** (1939) 71–117.
MULDER, E. G. Over de beteekenis van koper voor de groei van planten en micro-organismen, in het bijzonder een onderzoek naar de oorzaak der ontginningsziekte. Proefschrift Wageningen (1938) 133 blz.
PAAUW, F. VAN DER. Over den samenhang tusschen groeifactoren en opbrengst, en de principes, die dit verband bepalen. Landbk. Tijdschrift. **50** (1938) 795–830.
PAAUW, F. VAN DER. Fosfaatbemesting in de landbouw. Min. v. Landb. (1946).
PAAUW, F. VAN DER, en LANDE CREMER, L. CH. N. DE LA. J. Toetsing van grondonderzoek naar fosfaattoestand op Nederlands grasland. Versl. Landbk. Onderz. **57.15** (1951) 67 blz.
PRUMMEL, J. Bemesting van erwten in verband met opbrengst en kwaliteit. Jubileumuitgave Peulvr. Studie Combinatie (1964) 60–68.
RAMEAU, J. TH. L. B. Sporenelementen en hun bepaling (1, 2). Analyst **13** (1958) 154–156, 181–184.
RIDDER, N. A. DE, VOORTHUIJZEN, J. H. VAN, BELTMAN, J. H. en LEVEN, J. A. VAN 't. Agrohydrologische profielen van Zeeland. 's-Gravenhage (1957), 124 blz. + bijl.
ROGGEN, J. C. Onderzoek naar vorming en karakter van de humus bij kunstweiden op zandgronden. Landbouwproefstation en Bodemkundig Instituut TNO, Groningen (1949) 5 blz., getypt verslag.
ROWAAN, P. A. De inundaties gedurende 1944–1945 en hun gevolgen voor de landbouw. Deel III. Overzicht van inundatie-onderzoek in Nederland tot 1944. Versl. Landbk. Onderz. **57.3** (1951) 33 blz.
SCHUURMAN, J. J. en GOEDEWAAGEN, M. A. J. Methods for the examination of root systems and roots.

Pudoc Wageningen (1965) 86 blz.
SLUIJSMANS, C. M. J. De reactie van de aardappel op de kalk-kali-verhoudingen in de grond. Versl. Landbk. Onderz. **62**.13 (1956) 82 blz.
SLUIJSMANS, C. M. J. De reactie van de biet op de kalk-kali-verhoudingen in de grond. Versl. Landbk. Onderz. **64**.7 (1958) 34 blz.
SLUIJSMANS, C. M. J. en STRUIJS, L. C. Over de bekalking van aardappelen. Landbouwvoorlichting **19** (1962) 48–52.
STICHTING voor Bodemkartering. Een vergelijking tussen het noordelijke en het zuidwestelijke zeekleigebied. StiBoKa, Wageningen, no. 3420 (1964) 13 blz. + 3 bijl. (zie ook IB).
STUDIECOMMISSIE inzake Steunverleening voor Fabrieksaardappelen. Samenvattend verslag der werkzaamheden over het tijdvak 14 September 1936–31 Juli 1940. Versl. Landbk. Onderz. **47** (1941) 631–668.
TECHNISCHE Tarwe Commissie (TTC). Verslagen no. 1–17. Groningen 1934–1941.
TEMME, J. en MAREL, H. W. VAN DER. Kaliumfixatie en verstoorde kaliumhuishouding. Versl. Landbk. Onderz. **58**.6 (1952) 53 blz.
VISSER, W. C. Kalktoestand en oogstopbrengst. Versl. Landbk. Onderz. **44** (1938) 313–359.
VISSER, W. C. Een onderzoek naar de kali- en fosforzuurhuishouding van de Groninger klei- en zavelgronden. Versl. Landbk. Onderz. **48** (1942) 87–345.
VISSER, W. C. De nauwkeurigheid van verschillende methoden van grondonderzoek ter beoordeling van den kali- en fosforzuur-rijkdom. Versl. Landbk. Onderz. **49** (1943a) 165–220.
VISSER, W. C. Onderzoekingen betreffende eenige kalktoestandskarakteristieken. Versl. Landbk. Onderz. **49** (1943b) 65–124.
VISSER, W. C. Over de methodiek van het schatten van de waarde van de grond. Landbk. Tijdschrift **61** (1949) 381–399.
VRIES, O. DE. Samenvattend verslag over de Staatsmijnproefvelden 1931–1935 en over een twintigtal stikstofsoorten-proefvelden in het Duurswold en Noord-Drente 1935. Versl. Landbk. Onderz. **44** (1938) 857–1045.
VRIES, O. DE, HETTERSCHIJ, C. W. G. en PAAUW, F. VAN DER. Een en ander over de fosfaathuishouding in enkele Nederlandsche grondsoorten. Landbk. Tijdschrift **49** (1937) 768–807.
VRIES, O. DE, KOORNNEEF, H. en DECHERING, F. J. A. Een onderzoek naar de bodemgesteldheid in den Huizenbeemd nabij Oss (NBr.). Tijdschrift Ned. Aardrijksk. Gen. **51** (1944) 221–262.
WERKGROEP Omzettingen Organische Stof TNO. Organische stof in de grond. Overdrukken uit Landbouwvoorlichting (1950) en Landbk. Tijdschrift (1950), 's-Gravenhage, (z.j.) 173 blz.
WESTERHOF, J. J., BEEKOM, C. W. C. VAN, PRUMMEL, J. en PAAUW, F. VAN DER. De inundaties gedurende 1944–1945 en hun gevolgen voor de landbouw. Deel XIII. De bemesting van geinundeerde gronden. Versl. Landbk. Onderz. **57**.19 (1951) 62 blz.

Wetenschappelijke onderzoekers 1890-1965

A. F. Holleman	1890–1893
H. J. F. de Vries	1890–1914
A. van Bijlert	1894–1895
B. Sjollema	1895–1907
mej. F. Slingenberg	1898–1900
mej. A. Huizinga	1900–1924
J. E. Tulleken	1901–1903
J. ten Have	1902–1958
M. J. van 't Kruijs	1902–1922
J. C. de Ruyter de Wildt	1904–1907
J. Hudig	1905–1929
J. G. Maschhaupt	1907–1947
C. Meyer	1908–1943
D. J. Hissink	1916–1939
W. Sturm	1916–1919
N. L. Söhngen	1917–1919
K. Zijlstra	1917–1939
Jac. van der Spek	1918–1953
C. W. G. Hetterschij	1919–1952
H. L. van der Sande Bakhuyzen	1919–1920
F. C. Gerretsen	1919–1954
J. A. van der Loeff	1920–1925
	en 1945–1960
M. A. J. Goedewaagen	1921–1957
J. Sack	1922–1937
H. J. Frankena	1927–1939
A. J. Zuur	1927–1936
F. J. A. Dechering	1927–1951
C. Spithost	1929–1932
S. B. Hooghoudt	1929–1953†
D. M. de Vries	1929–1939
P. Bruin	1929–heden
C. Kalisvaart	1930–1932
O. de Vries	1930–1945
Th. B. van Itallie	1931–1939
R. H. Visser	1931–1934
P. G. Meyers	1932–1939
W. C. Visser	1933–1942
S. J. Snieder	1933–1934
F. van der Paauw	1934–heden
S. K. Rispens	1934–1935
J. J. Manschot	1935–1937
J. F. van Riemsdijk	1935–1938
W. Feekes	1936–1938
P. B. Buurman	1937–1938
W. T. Rinsema	1938–1938
W. R. Becker	1938–1939
J. Doeksen	1938–1939
E. G. Mulder	1939–1956
J. Verkoren	1939–1942
M. P. Both	1939–1939
A. H. A. de Willigen	1939–1940
W. H. van Dobben	1940–1942
J. D. Ferwerda	1941–1948
mej. J. C. Schreuder	1942–1952
H. Koornneef	1942–1947
J. Th. L. B. Rameau	1943–1951
P. A. Rowaan	1943–heden
R. de Wit	1943–1946
P. K. Peerlkamp	1943–heden
G. M. Castenmiller	1943–1951†
J. D. de Jong	1944–1947
J. Prummel	1945–heden
J. J. van Deemter	1946–1947
P. Boekel	1946–heden
A. J. Wiggers	1947–1951
J. J. Schuurman	1947–heden
H. W. van der Marel	1947–1958
J. C. Roggen	1947–1949
L. C. N. de la Lande Cremer	1947–heden
Th. J. Ferrari	1947–heden
Jac. Kortleven	1947–heden
J. A. Grootenhuis	1948–heden
L. F. Ernst	1948–1956
J. Smit	1948–1952
G. Jongh	1948–1950
J. T. N. Venekamp	1949–heden
G. J. Kolenbrander	1949–heden
C. van den Berg	1950–1956
J. J. Westerhof	1950–1956

J. A. VAN 't LEVEN	1950–1956	J. P. N. L. ROORDA VAN EYSINGA	1957–heden
E. WICHERTS	1951–1954	P. F. J. VAN BURG	1957–heden
J. W. VAN HOORN	1951–1956	IJ. BAKKER	1957–heden
D. C. VAN DIJK	1951–1952	J. VAN DER BOON	1958–heden
TH. G. VAN ALPHEN	1951–1957	P. DELVER	1958–heden
S. SAMSON	1951–1956	W. VAN DRIEL	1958–heden
H. N. HASSELO	1951–1953	A. E. R. MES	1958–heden
A. J. DE GROOT	1951–heden	J. Ch. VAN SCHOUWENBURG	1958–heden
A. J. HELLINGS	1951–1956	R. ARNOLD BIK	1958–heden
H. KUIPERS	1951–1959	G. JAGER	1958–heden
G. W. HARMSEN	1952–heden	K. S. SIPMA	1958–heden
C. M. J. SLUIJSMANS	1952–heden	C. VAN OUWERKERK	1959–heden
G. J. WISSELINK	1953–1960	R. REUDERINK	1959–heden
CH. H. HENKENS	1953–1963	K. TER HORST	1961–heden
H. VAN DIJK	1954–heden	H. A. SISSINGH	1962–heden
A. D. OOSTRA	1954–1956	S. DE HAAN	1962–heden
N. A. DE RIDDER	1954–1956	K. W. SMILDE	1963–heden
L. K.WIERSUM	1955–heden	K. DILZ	1964–heden
J. H. PIETERS	1956–heden	B. J. VAN GOOR	1964–heden

Organisatie 1965

drs. P. Bruin, directeur
ir. R. Reuderink, adjunct-directeur
dr. P. A. Rowaan
ir. K. S. Sipma, bibliothecaris
J. J. Eekhof, hoofd financiële en materiële zaken
K. Mulder, hoofd personele zaken
J. Nijhof, hoofd technische dienst

A. Afdelingen voor toegepast onderzoek

dr. ir. Th. J. Ferrari, adviseur voor de afdelingen sub A

1. *Afdeling bemesting in de landbouw*

ir. C. M. J. Sluijsmans, hoofd
ir. J. A. Grootenhuis (gestationeerd in de NOP)
ir. S. de Haan
ir. K. ter Horst (gestationeerd te Wageningen)
dr. ir. Jac. Kortleven
ir. L. C. N. de la Lande Cremer
ir. A. E. R. Mes
ir. J. Prummel
dr. ir. P. F. J. van Burg (gedetacheerd door het CSV)
dr. ir. K. Dilz (gedetacheerd door het CSV)
ir. IJ. Bakker (gedetacheerd door het rijkslandbouwconsulantenschap voor bodem en bemesting)

2. *Afdeling bemesting in de tuinbouw*

ir. J. van der Boon, hoofd
ir. R. Arnold Bik (gestationeerd te Aalsmeer)
ir. P. Delver (gestationeerd te Wilhelminadorp)
ir. J. H. Pieters (gestationeerd te Alkmaar)
ir. J. P. N. L. van Roorda Eysinga (gestationeerd te Naaldwijk)
ir. P. Knoppien (gastmedewerker te Alkmaar)
ir. L. S. Spithost (gastmedewerker te Naaldwijk)

3. *Afdeling grondbewerking*

dr. P. K. Peerlkamp, wnd. hoofd
ir. C. van Ouwerkerk

4. *Afdeling regionaal- en bedrijfsonderzoek*

dr. ir. Th. J. Ferrari, hoofd
ir. J. T. N. Venekamp

B. Afdelingen voor gericht fundamenteel onderzoek

dr. F. van der Paauw, adviseur voor de afdelingen sub B

5. *Afdeling natuurkunde van de grond*

dr. P. K. Peerlkamp, hoofd
ir. P. Boekel

6. *Afdeling scheikunde van de grond*

dr. A. J. de Groot, hoofd
dr. W. van Driel
ir. J. Ch. van Schouwenburg (gestationeerd te Wageningen)
dr. ir. H. A. Sissingh

7. *Afdeling plantevoeding*

dr. F. van der Paauw, hoofd
dr. B. J. van Goor
dr. J. J. Schuurman
dr. ir. K. W. Smilde
dr. L. K. Wiersum

8. *Afdeling biologie van de grond*

dr. ir. G. W. Harmsen, hoofd
dr. H. van Dijk
drs. G. Jager
ir. G. J. Kolenbrander

Inhoud

H. J. MATHOT, Voorwoord 1

TH. J. FERRARI, Naar een bodemvruchtbaarheid in dimensies 3

A. J. DE GROOT, Ontwikkeling van het scheikundige onderzoek . . . 30

P. K. PEERLKAMP, Onderzoek van de natuurkundige bodemvruchtbaarheid 52

F. VAN DER PAAUW, De taak van de biologen. 70

C. M. J. SLUIJSMANS, Bemestingsonderzoek in de landbouw 93

J. VAN DER BOON, Bodemvruchtbaarheidsonderzoek in de tuinbouw. . 122

P. BRUIN, Ontwikkeling van het landbouwkundige onderzoek aan de Groningse instellingen. 135

Wetenschappelijke onderzoekers 1890–1965 167

Organisatie 1965 169

Inhoud 171

Boekverzorging en druk:
N.V. Dijkstra's Drukkerij v/h Boekdrukkerij Gebrs. Hoitsema
Ontwerp omslag: J. V. Ferrari