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).

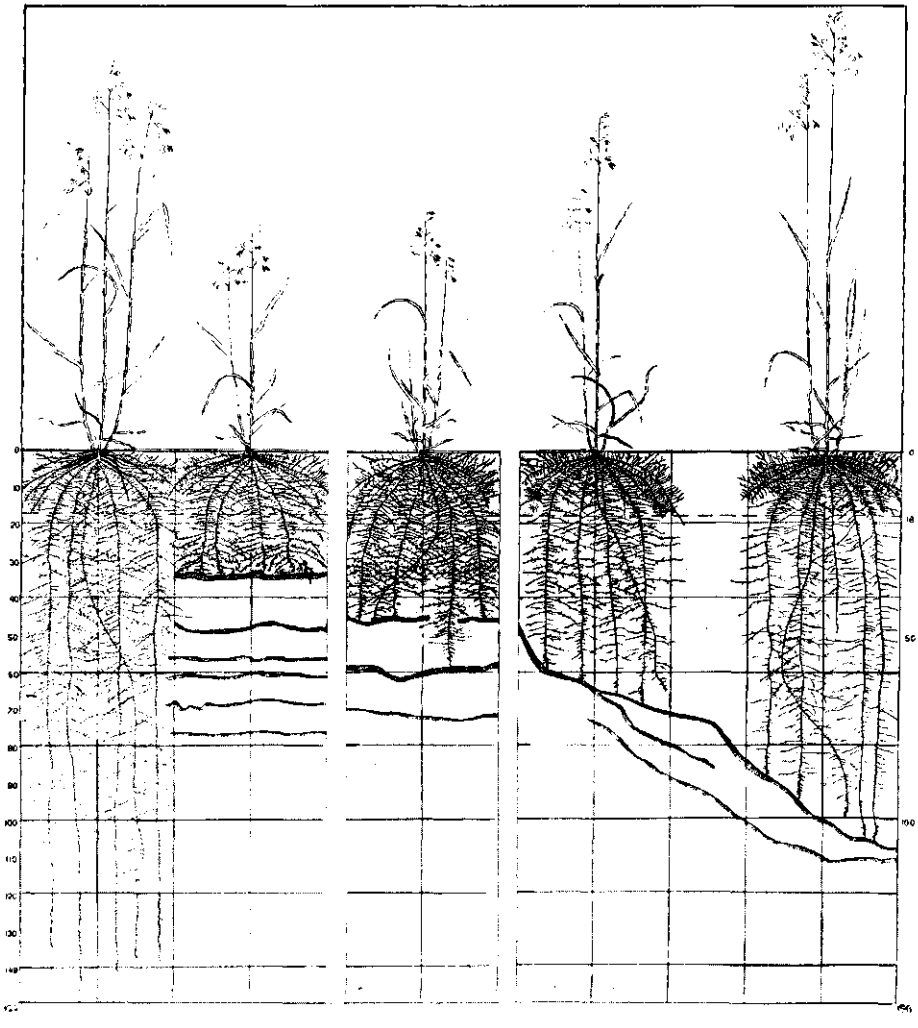
Afwijkingen in de wortelontwikkeling kunnen omgekeerd storingen in de opbouw van het bodemprofiel aan het licht brengen. De vraag komt dan op, waarom de laag ondoordringbaar was of welke omstandigheden in het milieu een in andere gevallen misschien wel doorwortelbare laag tijdelijk voor wortelgroei ongeschikt 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

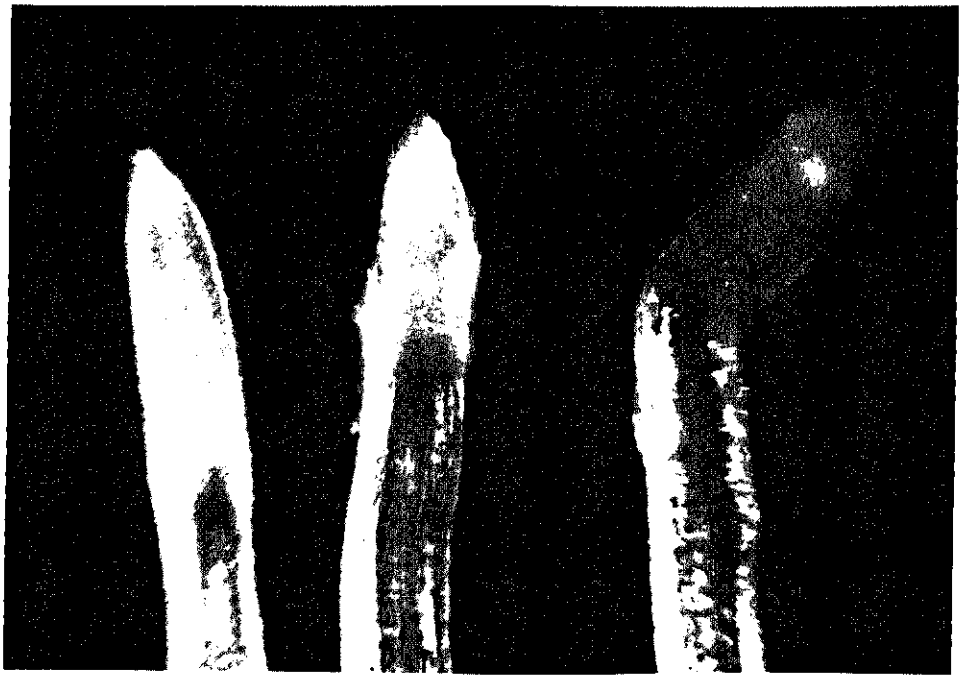
voeding met stikstof aan de dag. GOEDEWAAGEN toonde in proeven in cilinders aan dat sterkere voeding met stikstof maar ook met fosfaat de nadelen van een hoge waterstand voor een groot deel compenseert.

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).

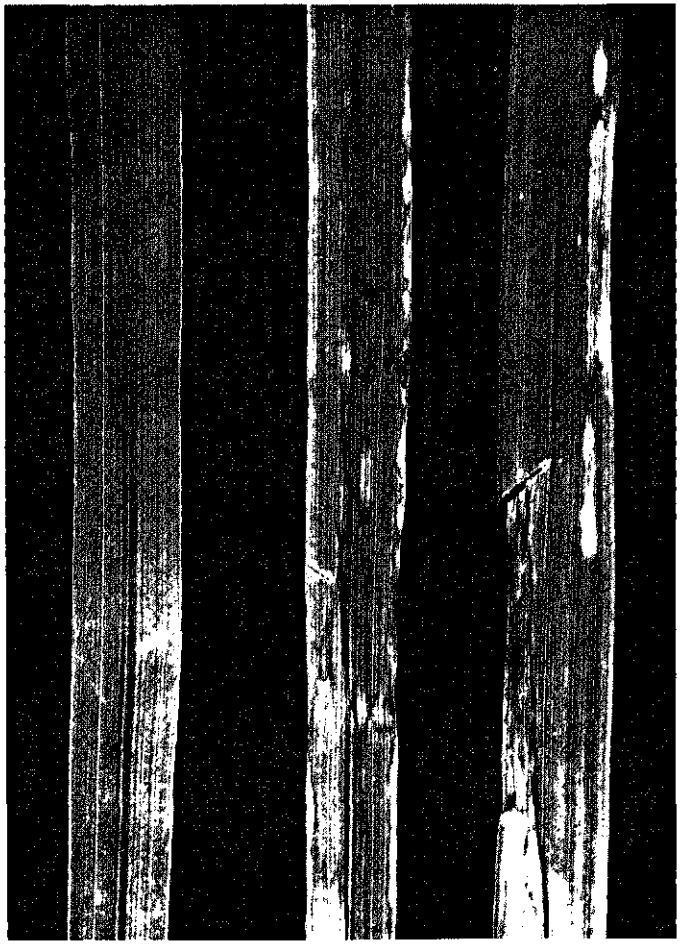
Omtrent het wezen en de oorzaken van de "veenkoloniale haverziekte" bestond in het begin van de jaren dertig nog grote onzekerheid; nog in 1934 heeft een artikel van MASCHHAUPT onder de titel: "Das Rätsel der Dörrfleckenkrankheit" (d.i. veenkoloniale haverziekte) het licht gezien. De ziekte kwam voor 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 ammonium- en 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 microorganismen 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. **38A** (1932) 179–199

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