

Jaarverslag 1989 1990

VERWIJDERD UIT DE COLLECTIE

Bibliotheek Cabo-dlo
Bornssteeg 65
Postbus 14
6700 AA Wageningen



cabo-dlo

ib-dlo



VERWIJDERD UIT DE COLLECTIE

DLO-INSTITUUT VOOR BODEMVRUCHTBAARHEID

Oosterweg 92
Postbus 30003
9750 RA HAREN
Telefoon: 050-337777
Telex: 53990 IBHRN NL
Telefax: 050-337291
E-mail: IN% "name@IB.AGRO.NL"

Vestiging Wageningen:

Keijenbergseweg 6
Postbus 48
6700 AA WAGENINGEN
Telefoon: 08370-91911
Telefax: 08370-14435
E-mail: IN% "name@ITAL.AGRO.NL"

Proefboerderij Marknesse:

Dr. H.J. Lovinkhoeve
Vollenhoverweg 12
8316 PX MARKNESSE
Telefoon: 05273-1369

Inhoud

1.	Ten geleide	5
2.	Inleiding op de onderzoekthema's	7
3.	Nutriëntendynamiek en bemesting	9
4.	Substraatteelt en fertigatie	17
5.	Zure depositie	25
6.	Ontwikkelingssamenwerking	29
7.	Chemodynamica en bodemverontreiniging	33
8.	Transportprocessen in de bewortelbare zone en bodemstructuurvorming	39
9.	Trofische interacties in de bodem	51
10.	Organische-stofdynamiek	59
11.	Rhizosfeerprocessen	63
12.	Bodembiotecnologie	71
13.	Publikaties	79
14.	Personeelsbezetting	97
15.	Bestuur	101
	Gebruikte afkortingen	103

1. Ten geleide

Op 2 januari 1990 bestond het DLO-Instituut voor Bodemvruchtbaarheid (IB-DLO) 100 jaar. Dit eeuwfeest is gevierd met een verscheidenheid aan activiteiten, waaronder een sportdag en een feestavond voor het personeel, en open dagen voor gezinsleden van het personeel en andere belangstellenden. De officiële viering van het eeuwfeest vond plaats op 20 juni 1990 in aanwezigheid van zijn excellencie ir. G.J.M. Braks, de toenmalige minister van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Ter gelegenheid van het 100-jarig bestaan van het IB-DLO werd een jubileumboek samengesteld, dat de geschiedenis van het instituut beschrijft¹. De meer anekdotische aspecten van de geschiedenis van het IB-DLO zijn te vinden in een speciale uitgave van het personeelsblad, het IB-bulletin². Verder werd een tweetal brochures (in het Nederlands en in het Engels) samengesteld, waarin een beeld wordt gegeven van het huidige IB-DLO^{3,4}.

Ook op het wetenschappelijke vlak vond een aantal activiteiten plaats. Er werd een poster-tentoonstelling ingericht, waarin een overzicht werd gegeven van het gehele onderzoeksterrein van het IB-DLO. Daarnaast werd een speciaal nummer van het *Netherlands Journal of Agricultural Science*⁵, geredigeerd door dr.ir. J.J. Neeteson, gewijd aan het onderzoek van het IB-DLO. Verder werd een aantal wetenschappelijke activiteiten ondersteund, zoals een internationale workshop over het gebruik van simulatiemodellen bij het stikstofonderzoek, georganiseerd door medewerkers van het IB-DLO⁶, en een symposium over dierlijke mest, georganiseerd door de Sectie Milieuchemie van de Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging⁷.

Op 13 maart 1990 overleed ir. C.M.J. Sluijsmans, oud-medewerker en oud-directeur (1967-1985) van het IB-DLO. De overweldigende belangstelling van medewerkers, oud-medewerkers en oud-collega's tijdens de begrafenisplechtigheid toonde aan hoe geliefd en gerespecteerd 'Sjef' Sluijsmans tijdens zijn leven was geweest. Op 21 juni 1990 overleed dr.ir. P.F.J. van Burg, oud-directeur van het Nederlands Meststoffen Instituut en tot zijn overlijden lid van het Bestuur van het IB-DLO (sedert 1980). Helaas had ook een aantal andere medewerkers en oud-medewerkers van het instituut het verlies van een dierbare te betreuren. Deze gebeurtenissen wierpen een schaduw over de feestelijkheden rond het 100-jarig bestaan. De medewerkers van het IB-DLO gedenken hen in dankbaarheid en hun gevoelens van medeleven gaan uit naar de nabestaanden.

Op 18 december 1990 trad ir. J. Prins, President-Directeur van CEBECO-Handelsraad, terug als voorzitter van het Bestuur van het IB-DLO (1973-1990); hij werd opgevolgd door ir. J.L. Ebbens, beleidsmedewerker en plaatsvervangend secretaris van het Landbouwschap te 's-Gravenhage, lid van het Bestuur sedert 1982.

In de periode 1989-1990 werd met veel inzet gewerkt aan het realiseren van de taakstellingen, neergelegd in het 'Ontwikkelingsplan voor de Instituten en Proefstations van het Ministerie van Landbouw en Visserij, 1987-1990'. Het 'traditionele' bemestingsonderzoek werd vrijwel geheel beëindigd, het bodembologisch onderzoek werd aanzienlijk versterkt en het gebruik van systeemanalytische methoden bij het onderzoek werd verder doorgevoerd. De afslankingstaakstelling (38 formatieplaatsen) werd vrijwel geheel gerealiseerd en er werd een begin gemaakt met het realiseren van de 'taakstelling netto externe meer-inkomsten' (1 miljoen gulden op jaarbasis). Alhoewel de medewerkers zich ook hier volledig voor hebben ingezet, bleek het niet eenvoudig om meer netto inkomsten te verwerven met minder medewerkers en meer strategisch-gericht onderzoek.

Tot slot stonden de ontwikkelingen bij het IB-DLO in de periode 1989-1990 ook in het teken van een mogelijke verhuizing van het instituut van Haren naar Wageningen. In het kader van de uitvoering van het 'Ontwikkelingsplan' was overeengekomen dat de medewerkers van de Bodembio-logiegroep van het voormalige ITAL te

Wageningen naar het IB-DLO te Haren zouden verhuizen. Begin 1989 waren de plannen hiervoor in een vergevorderd stadium. Een heroverweging van deze plannen leidde echter tot de conclusie dat het op onderzoek-inhoudelijke gronden wenselijk zou zijn dat het IB-DLO op termijn naar Wageningen zou verhuizen. Dit voorstel ontmoette weerstand onder de medewerkers van het instituut en tijdens de verslagperiode werd geen beslissing genomen met betrekking tot een mogelijke verhuizing naar Wageningen. De hieruit voortkomende onzekerheid leidde tot grote spanningen onder de medewerkers van het IB-DLO. Het feit dat het onderzoek hier tot nog toe slechts in betrekkelijk geringe mate onder heeft geleden, is een bewijs van de constructieve instelling van de medewerkers van het IB-DLO en hun sterke verbondenheid met het instituut.

dr.ir. K. Harmsen

Voetnoten

1. Harmsen, K., 1990. IB 100 jaar. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid 1890-1990. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr.), 108 pp.
2. Bos, V.E., E. Ebels, E. Jongman, H.P. de Roos en J. Zwiers (redactie), 1990. Jubileum-bulletin: 100 jaar IB. IB Bulletin, jaargang 2, nr. 5. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr.), 50 pp.
3. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr.), 16 pp.
4. Institute for Soil Fertility Research, Haren (Gr.), 16 pp.
5. Netherlands Journal of Agricultural Science, 1990. 100th anniversary of IB 1990: Papers on current research. Neth. J. Agric. Sci. 38, 3A: 205-397.
6. Groot, J.J.R., P. de Willigen and E.L.J. Verberne (eds.), 1991. Nitrogen turnover in the soil-crop system. Developments in Plant and Soil Science, Volume 44, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 246 pp. Also published as: Fert. Res. 27 (2-3): 141-386.
7. Castilho, P. del, W.H. Rulkens en W. Salomons (redactie), 1990. Dierlijke mest: Problemen en oplossingen. Proc. Symposium Utrecht 13-14 juni 1990. KNCV Symposia-reeks nr. 1. KNCV, Den Haag, 477 pp.

2. Inleiding op de onderzoekthema's

Het wetenschappelijk onderzoek op het IB-DLO is ondergebracht in een tiental onderzoekthema's. De thema's sluiten aan op toepassings- of probleemgebieden die voor de taakstelling van het instituut van belang zijn. De taakstelling van het IB-DLO is 'het verrichten van onderzoek ten behoeve van een doelmatig, duurzaam en maatschappelijk verantwoord bodemgebruik' (Ontwikkelingsplan, 1987). De onderzoekthema's waaraan in de verslagperiode gewerkt is, zijn:

- Nutriëntendynamiek en bemesting
- Substraatteelt en fertigatie
- Zure depositie
- Ontwikkelingssamenwerking
- Chemodynamica en bodemverontreiniging
- Transportprocessen in de bewortelbare zone en bodemstructuurvorming
- Trofische interacties in de bodem
- Organische-stofdynamiek
- Rhizosfeerprocessen
- Bodembiotechnologie

De thema's komen in grote lijnen overeen met de thema's die gedurende de vorige verslagperiode (Jaarverslag 1986-1988, 1989) geformuleerd zijn.

De thema's zijn zowel toepassingsgericht als strategisch van aard. Onder toepassingsgericht onderzoek wordt verstaan het gebruiken van bestaande kennis om te kunnen bijdragen aan het oplossen van zich nu voordoende problemen. Onder strategisch onderzoek wordt verstaan het verzamelen en uitdiepen van kennis die nodig is om te kunnen bijdragen tot het oplossen van zich in de toekomst voordoende problemen op het gebied van de taakstelling van het instituut. Het strategisch onderzoek is vooral gericht op het beter begrijpen van de processen die zich in de bodem afspelen. De thema's Nutriëntendynamiek en bemesting, Substraatteelt en fertigatie, Zure depositie en Ontwikkelingssamenwerking zijn grotendeels toepassingsgericht, terwijl de thema's Transportprocessen in de bewortelbare zone en bodemstructuurvorming, Trofische interacties in de bodem, Organische-stofdynamiek, Rhizosfeerprocessen en Bodembiotechnologie meer strategisch van aard zijn. Het onderzoek dat in het kader van het thema Chemodynamica en bodemverontreiniging wordt verricht bestaat uit een meer strategisch (chemodynamica), zowel als een meer toepassingsgericht gedeelte (bodemverontreiniging). In het algemeen kan gezegd worden dat het strategisch onderzoek onderbouwend is voor het toepassingsgericht onderzoek.

Hoewel er duidelijke parallellen zijn tussen de verdeling van het onderzoek over de thema's en de verdeling van de wetenschappelijke staf over de vier onderzoeksafdelingen Bodemchemie, Bodemfysica, Bodembiologie, en Bemesting en Plantevoeding, wordt er door meerdere afdelingen bijgedragen aan de afzonderlijke thema's. Ieder thema bevat een aantal met elkaar samenhangende onderzoeksprojecten die geleid worden door onderzoekers. In de projecten wordt veelal samengewerkt door meerdere onderzoekers uit verschillende vakgebieden en/of wetenschappelijke afdelingen.

In de volgende hoofdstukken zal per onderzoekthema verslag worden gedaan van het onderzoek dat in de periode 1989-1990 uitgevoerd is. Elk verslag wordt voorafgegaan door een korte beschrijving van het desbetreffende thema.

dr.ir. J.J. Neeteson

Literatuur

Jaarverslag 1986-1988, 1989. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, 147 pp.

Ontwikkelingsplan voor de Instituten en Proefstations van het Ministerie van Landbouw en Visserij, 1987-1990, 1987. Landbouwkundig onderzoek in perspectief. Ministerie van Landbouw en Visserij, 's-Gravenhage, 111 pp.

3. Nutriëntendynamiek en bemesting

In de landbouw worden nutriënten aan de bodem toegevoerd in de vorm van kunstmest, dierlijke mest, gewasresiduen en andere organische materialen, en met de atmosferische depositie. Doel van de bemesting van landbouwgewassen is het aanbod van nutriënten in ruimte (plaats in het profiel) en tijd zoveel mogelijk af te stemmen op de gewasbehoefte. Bij het aanbod van nutriënten dient zowel rekening te worden gehouden met de nutriënten uit de kunstmest als met de nutriënten die vrijkomen door omzetting (mineralisatie) van organische materialen en het oplossen van mineralen in de bodem.

Wanneer het aanbod aan nutriënten, in de tijd of met de diepte in het profiel, niet aansluit op de behoefte van het gewas, kan de gewasontwikkeling worden belemmerd (tekort) of kunnen verliezen van nutriënten naar de omgeving plaatsvinden (overschot).

In het geval van stikstof kan een deel van de niet-opgenomen hoeveelheid worden vastgelegd in organische vorm, maar veel stikstof gaat waarschijnlijk verloren naar de omgeving, als gevolg van de vervluchtiging van ammoniak of andere gasvormige producten, en de uit- of afspoeling van nitraat.

Voor de wetenschappelijke onderbouwing van een milieu- en teeltkundig verantwoorde adviesbasis voor de bemesting van vollegrondsteelten is kennis nodig omtrent het gedrag van stoffen in de bodem, de verdeling en het functioneren van wortelstelsels en bodemorganismen, en de nutriëntenbehoeften van gewassen. Daarbij dient onder meer aandacht te worden besteed aan de invloed van de wijze en het tijdstip van toedienen van kunstmest en organische materialen op het gedrag van stoffen in de bodem, en aan de invloed van bodemeigenschappen en omgevingsfactoren op de genoemde processen. Deze kennis moet worden geïntegreerd in simulatiemodellen voor de beschrijving van bodem/gewas-ecosystemen. De modellen kunnen worden gebruikt voor het ontwikkelen en wetenschappelijk onderbouwen van milieu- en teeltkundig verantwoorde bemestingsadviezen en het kwantificeren van de milieu-effecten van verschillende bemestingsstrategieën.

Stikstofbemestingsadviezen

In verband met het risico van het optreden van nitraatuitspoeling in de winter is via literatuuronderzoek en bewerking van bestaande proefgegevens nagegaan bij welke teelten ophoping van minerale stikstof plaatsvindt in de bodem aan het eind van het groeiseizoen (Groot et al., 1989; Neeteson, 1990a,b). Hierbij is ervan uitgegaan dat de huidige stikstofbemestingsadviezen worden opgevolgd. Bij granen, suikerbieten en gemaaid grasland vindt geen, maar bij aardappelen, een aantal vollegrondsgroenten, snijmaïs en beweid grasland vindt wel ophoping van minerale stikstof plaats. Deze ophoping kan het gevolg zijn van een slecht ontwikkeld wortelstelsel van de gewassen, waardoor stikstof weinig efficiënt kan worden opgenomen, of van een te hoog stikstofaanbod. De ophoping zou beperkt kunnen worden door de efficiëntie van de stikstofopname te verhogen, bijvoorbeeld door rijenbemesting en/of beregning bij aardappelen en vollegrondsgroenten, of door de hoeveelheid toe te dienen stikstof te verlagen bij bijvoorbeeld snijmaïs en beweid grasland.

De huidige stikstofbemestingsadviezen voor akkerbouwgewassen en veel vollegrondsgroenten zijn gebaseerd op meting van de hoeveelheid minerale stikstof die aan het begin van het groeiseizoen reeds in de bodem aanwezig is.

De adviezen zijn afgeleid van het (negatieve) rechtlijnige verband tussen de hoeveelheid minerale stikstof in de bodem en de economisch optimale stikstofgift, zoals dat bepaald is op basis van een groot aantal proefvelden. Zo is het huidige advies voor suikerbieten in kg N per ha: $220 - 1.7 N_{\min}$, waarbij $N_{\min}$ de hoeveelheid minerale stikstof (in kg N per ha) in de bodemlaag 0-60 cm is. In dit advies wordt geen rekening gehouden met de grondsoort of met het stikstofleverend vermogen van de grond. De huidige adviezen voor suikerbieten en consumptie-aardappelen zijn gebaseerd op resultaten die verkregen zijn op 150 suikerbietenproefvelden (aangelegd door het IRS) en 98 aardappelproefvelden (aangelegd in samenwerking

met het PAGV). Deze resultaten zijn aan een nadere statistische analyse onderworpen om na te gaan in hoeverre de optimale stikstofgift ook door andere factoren dan de hoeveelheid reeds in de bodem aanwezige minerale stikstof beïnvloed wordt (Neeteson en Zwetsloot, 1989). Uit de analyse bleek dat ook de grondsoort en recent toegediende organische bemesting de economisch optimale stikstofgift beïnvloeden. Op zandgronden was er meer stikstof nodig en na recent toegediende bemesting minder. Bemestingsadviezen die ook rekening houden met de grondsoort en recent toegediende organische bemesting bleken echter qua doeltreffendheid niet of nauwelijks te verschillen van de huidige bemestingsadviezen (Neeteson, 1989).

Het is te verwachten dat adviezen die per perceel rekening houden met de stikstofhuishouding van de grond uiteindelijk wel zullen leiden tot een betere afstemming van de behoefte van gewassen aan stikstof en de hoeveelheid in de bodem aanwezige minerale stikstof gedurende het groeiseizoen. Hiertoe is met name behoefte aan perceelsgewijze voorspelling van de stikstofmineralisatie en aan het in hun onderlinge samenhang beschrijven van de verschillende processen in de stikstofhuishouding in bodem en gewas met behulp van simulatiemodellen.

Stikstofmineralisatie

Stikstof kan via mineralisatie vrijkomen uit reeds in de bodem aanwezige (oude) organische stof, uit recent in de bodem terechtgekomen plantedelen (gewasresten, afgestorven wortels) en uit recent toegediende dierlijke mest. Hoeveel stikstof er aldus vrijkomt in de bodem is nog onvoldoende nauwkeurig te voorspellen. Deze hoeveelheid kan 50, maar ook 400 kg N per ha per jaar bedragen. Er wordt onderzoek gedaan om te komen tot een betrouwbare voorspelling van de hoeveelheid stikstof die er gedurende het groeiseizoen gemineraliseerd wordt. Als dit mogelijk is kunnen er bemestingsadviezen worden opgesteld waarmee expliciet rekening gehouden wordt met mineralisatie. Rekening houdend met de stikstofbehoefte van gewassen kan dan de stikstofbemesting beter afgestemd worden op de minerale stikstof die gedurende het groeiseizoen reeds in de bodem aanwezig is. Hierdoor is het mogelijk een overmaat aan stikstof en hieruit voortvloeiende stikstofverliezen naar het milieu te beperken.

Factoren die de hoogte van de mineralisatie bepalen zijn de bodemtemperatuur en de vochttoestand van de bodem, het landbouwkundig gebruik van de grond in het verleden (al dan niet frequent gebruik van dierlijke mest op bouwland; gemaaid of intensief beweide grasland) en de grondsoort. Uit incubatieproeven is gebleken dat er meer stikstof gemineraliseerd wordt in de grond van beweidde dan van gemaaide graslandpercelen. Ook werd veelvuldig gevonden dat er in zandgronden meer stikstof gemineraliseerd wordt dan in gronden met een zwaardere textuur. Een voorbeeld van deze waarnemingen is gegeven in tabel 1.

De hogere mineralisatie op beweide grasland kan worden toegeschreven aan een grotere aanvoer van organische stikstof via de mest en urine van het weidende vee en een grotere aanvoer van gewasresten ten gevolge van vertrapping (beweidingsverliezen). De lagere mineralisatie op zwaardere gronden kan waarschijnlijk toegeschreven worden aan een grotere fysische bescherming van de organische stof doordat een gedeelte van de organische stof zich in de kleine poriën bevindt.

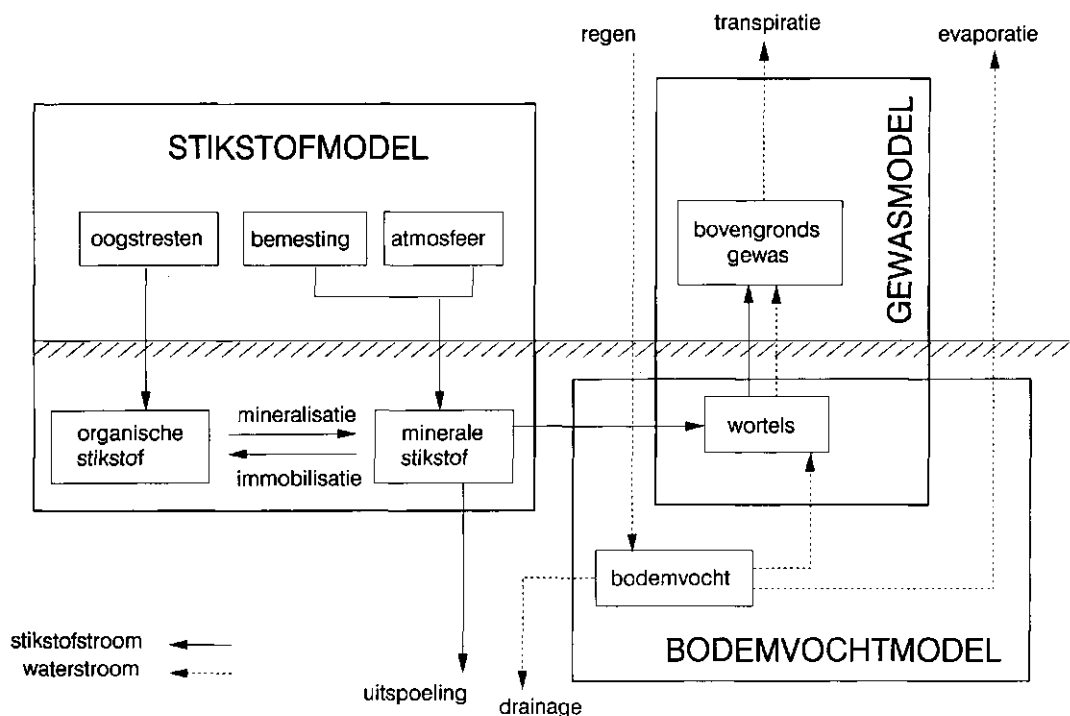
Stikstofmodellen

De verschillende processen van de stikstofhuishouding in bodem en gewas kunnen in hun onderlinge samenhang beschreven worden met simulatiemodellen. Er is een model voor wintertarwe ontwikkeld op basis van bestaande theorieën en reeds door het IB-DLO en het CABO-DLO ontwikkelde submodellen voor watertransport in de bodem, de stikstofhuishouding in de bodem en gewasgroei (Groot en De Willigen, 1991). Een schema van het model is weergegeven in figuur 1. Het model is gevalideerd met gegevens van proefvelden van het CABO-DLO en PAGV met wintertarwe. Hierbij bleek dat het verloop van de drogestofproductie en de stikstofopname door het gewas in het algemeen goed werd gesimuleerd. Dit gold ook voor de totale hoeveelheid minerale stikstof in de bodem en de verdeling ervan

Tabel 1. Potentiële stikstofmineralisatie op gemaaide en beweide graslandpercelen (Hassink et al., 1990). Mineralisatie is bepaald door op de Minderhoudhoeve (zavel) en de Meenthoeve (zand) genomen grondmonsters gedurende 13 weken te incuberen bij 20 °C en 80% RV.

Grondsoort	Mineralisatie (mg N per kg grond)	
	gemaaid	beweid
Zavel	44	54
Zand	68	105

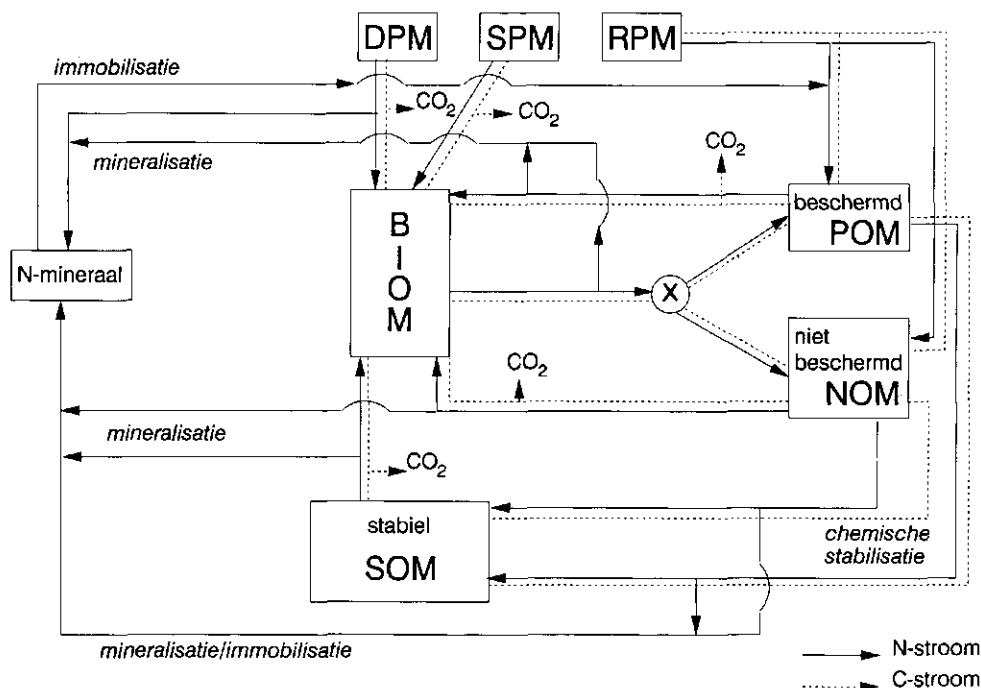
over de verschillende bodemlagen, behalve bij proeven waar aan het eind van het voorjaar kunstmeststikstof werd gegeven. In het model werd er dan vanuit gegaan dat deze stikstof in de bovenste lagen van de bodem aanwezig was, terwijl uit de experimenten bleek dat deze tijdelijk verdwenen was.



Figuur 1. Schema van de structuur van het simulatiemodel voor wintertarwe (Groot en De Willigen, 1991).

Resultaten van de mineralisatie-experimenten (zie boven) werden gebruikt bij het schatten van de waarden van parameters in een model waarmee de organische-stofhuishouding van de grond beschreven wordt (Verberne et al., 1990). In het model wordt aangenomen dat de organische stof in de bodem bestaat uit vier fracties: microbiële biomassa (BIOM), niet-beschermde organische stof (NOM), beschermde organische stof (POM) en stabiele organische stof (SOM). Er wordt tevens aangenomen dat gewasresten uit drie fracties bestaan: gemakkelijk afbreekbaar materiaal (DPM; suikers en eiwitten), structureel materiaal (SPM; cellulose en hemicellulose) en resistent materiaal (RPM; lignine). Het stroomschema van het model staat in figuur 2.

Hoewel de stikstof in de niet-beschermde organische stof slechts een klein gedeelte van de totale hoeveelheid organische stikstof uitmaakt, bleek uit modelberekeningen dat deze stikstof een belangrijke bijdrage aan de stikstofmineralisatie levert (tabel 2).



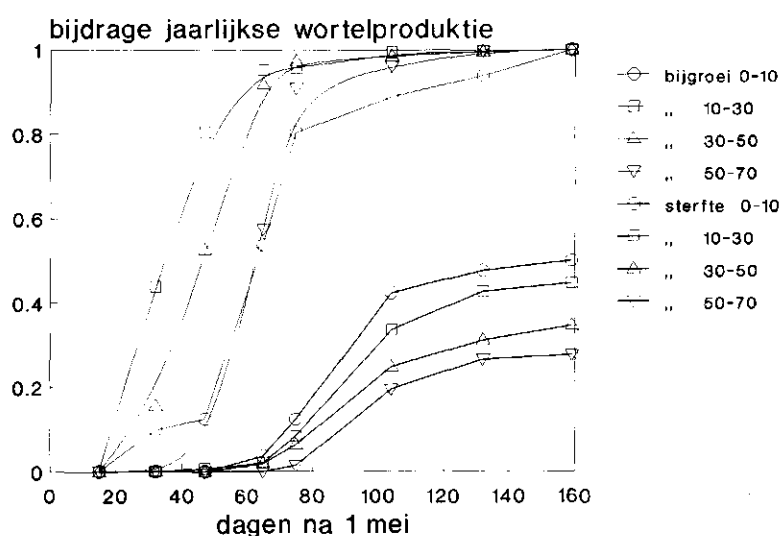
Figuur 2. Schema van de structuur van het organische-stof-model (Verberne et al., 1990).

Tabel 2. De relatieve bijdrage van de verschillende organische-stoffracties aan de stikstof-mineralisatie. Modelberekeningen voor een periode van 300 dagen zonder additionele toevoer van organische stof (Verberne et al., 1990). BIOM = microbiële biomassa; NOM = niet-beschermd organische stof; POM = beschermd organische stof en SOM = stabiele organische stof.

Grondsoort	Organische-stof fractie	Gedeelte van totale hoeveelheid organische bodem-N (%)	Relatieve bijdrage aan N-mineralisatie (%)
Klei	BIOM	2.2	18.9
	NOM	0.5	12.1
	POM	42.7	68.8
	SOM	54.6	0.2
Zand	BIOM	2.8	20.5
	NOM	2.1	28.7
	POM	56.9	50.6
	SOM	38.2	0.2

De opname van nutriënten door wortels hangt af van de gewasbehoefte en het op de juiste plaats en tijd aanwezig zijn van de nutriënten in de bodem. Het ruimtelijk patroon van beworteling is te beschrijven via zogenaamde stippenkaarten. Het is nu ook mogelijk om met beeldverwerkingsapparatuur de ruimtelijke correlatie van wortels met scheuren in de grond (van belang voor de aëratie) en met ondergewerkte oogstresten te onderzoeken. De door het IB-DLO aangeschafte Quantimet 570 zal mede voor dit doel gebruikt worden. Een complicerende factor in de geometrie van het grond/wortel-systeem is de zone waar wortels direct contact hebben met de grond. De mate waarin wortels direct contact hebben met de grond is een belangrijke parameter in modellen voor de opname van zuurstof, water en nutriënten. Hoe minder contact er met de grond is, des te lager is de vereiste zuurstofconcentratie in de bodem, maar des te slechter kunnen nutriënten opgenomen worden. In samenwerking met SC-DLO, CABO-DLO en de LUW-vakgroep Grondbewerking is gevonden dat de mate van wortel/grond-contact betrouwbaar te meten is met beeldverwerkingsapparatuur nadat zeer dunne horizontale of verticale plakjes uit de bodem zijn gesneden volgens de zogenaamde slijpplatentechniek (Van Noordwijk et al., 1991). Vergrotingen van foto's

van dergelijke plakjes kunnen met de Quantimet 970 worden geanalyseerd op het aantal wortels, de mate van het wortel/grond-contact en de porositeit van de bodem. Uit een potproef met maïs die bij lage stikstofvoorziening geteeld werd op relatief losse en op meer verdichte grond, bleek dat het gewas iets slechter groeide op de losse grond. Met behulp van meting van de mate van het wortel/grond-contact en modelberekeningen kon aannemelijk worden gemaakt dat dit het gevolg was van minder wortel/grond-contact op de losse grond en hierdoor een lagere opname van water en nitraat per eenheid wortellengte (Veen et al., 1991). De ontwikkeling van wortelstelsels onder veldomstandigheden wordt bestudeerd met 'mini-rhizotrons' (Gijsman et al., 1991). Door middel van mini-rhizotron-waarnemingen op de IB-DLO proefboerderij de dr. H.J. Lovinkhoeve is een goed beeld ontstaan van het verloop van de groei en sterfte van wortels van suikerbieten en wintertarwe per bodemlaag (figuur 3). Voor modellering van de opname van nutriënten kan soms volstaan worden met 'modellen zonder wortels' (Van Noordwijk en Van der Geijn, 1991). Voor de vereiste fijne afstemming tussen aanbod van nutriënten en gewasbehoefte is wortelkennis echter essentieel. Dit geldt ook voor het begrijpen van de gewasreactie onder omstandigheden van (tijdelijke) nutriëntentekorten in de bodem.



Figuur 3. Bijgroei en sterfte van
fijne wortellengte van suiker-
bieten voor vier diepte-zones
(seizoen 1989, Lovinkhoeve).

Ter gelegenheid van het 100-jarig bestaan van het IB-DLO is op 5 en 6 juni 1990 een internationale workshop georganiseerd over stikstofmodellen: 'Nitrogen turnover in the soil-crop system. Modelling of biological transformations, transport of nitrogen and nitrogen use efficiency'. Aan deze workshop werd deelgenomen door vertegenwoordigers van in totaal 14 onderzoeksgroepen in Europa en Canada. Voorafgaande aan de workshop zijn aan de deelnemers gegevens van Nederlandse veldproeven met wintertarwe toegestuurd. Tijdens de workshop zijn de processen die in de verschillende modellen opgenomen zijn (zie bijvoorbeeld tabel 3), de beschrijving van deze processen en de uitkomsten van simulaties met de toegestuurde gegevens besproken. Geconcludeerd werd dat er weinig problemen waren om de gewasgroei goed te beschrijven. De stikstofhuishouding van de grond bleek meer problemen op te leveren, met name mineralisatie/immobilisatie en denitrificatie (De Willigen, 1991). De resultaten van de workshop zijn beschreven in een speciaal nummer van Fertilizer Research (27, 2-3) en in een boek uit de serie Developments in Plant and Soil Sciences (Groot et al., 1991).

Fosfaatmodel

De fosfaatbestedingsadviezen voor akkerbouwgewassen zijn gebaseerd op de fosfaattoestand van de bodem die aangegeven wordt met het Pw-getal. Dit getal wordt verkregen door de grond met water te extraheren. Er is een mechanistisch simulatiemodel ontwikkeld voor het P-transport in de bodem, waarmee de Pw-waarde kan worden berekend die nodig is voor optimale P-opname door het gewas (Van Noordwijk et al., 1990). De gewasparameters die het model als invoer nodig heeft zijn de dagelijkse en de totale P-behoefte van het gewas en het totaal

Tabel 3. Bodembioologische processen opgenomen in de op de workshop gepresenteerde simulatiemodellen (De Willigen, 1991).

Model (naam eerste auteur + land)	Mineralisatie/immobilisatie		Nitri- ficatie	Denitri- ficatie
	aantal fracties organische stof	microbiële biomassa		
Cabon (F)	1	-	+	-
Ramos (E)	1	-	+	+
Bergström (S)	2	-	+	+
Rijtema (NL)	4	+	+	+
Grant (CAN)	6	+	+	+
Lafolie (F)	1	-	+	-
Vereecken (B)	2	-	+	+
Hansen (DK)	7	+	+	+
Groot (NL)	2	+	-	-
Kersebaum (D)	2	-	-	-
Whitmore (GB)	4	+	-	-
Mirschell (D)	1	-	-	-
Addiscott (GB)	1	-	-	-
Eckersten (S)	2	-	+	+

worteloppervlak in de bouwvoor. De benodigde bodemgegevens bestaan uit P-adsorptie-isothermen en het watergehalte van de grond. De met het model berekende gewenste Pw-waarden voor verschillende gewassen en grondsoorten bleken van dezelfde orde van grootte te zijn als de op experimentele gegevens gebaseerde waarden in de huidige bemestingsadviezen. Het model kan gebruikt worden om de huidige adviezen te verfijnen door rekening te houden met verschillen in wortelontwikkeling, waterhuishouding van de grond of produktieniveau. Wanneer P-bemestingsadviezen voor nieuwe gewassen dienen te worden opgesteld, is dit mogelijk door het model in combinatie met een gering aantal proefvelden (waarop dan wel intensief dient te worden gemeten) te gebruiken.

Pierre-Sluijsmans vergelijking

Het verzurend effect van meststoffen op de bodem wordt geschat met een empirisch bepaalde ionenbalans-vergelijking, die naar de opstellers ervan de Pierre-Sluijsmans vergelijking genoemd wordt. Met behulp van deze vergelijking kan de hoeveelheid kalk worden berekend die moet worden toegediend om het verzurend effect te neutraliseren. Het is nu ook gelukt om de vergelijking op basis van chemische theorieën af te leiden (Harmsen et al., 1990). Omdat hierbij speciale aandacht is besteed aan het verzurend effect van de stikstofcomponent van meststoffen, is het mogelijk de vergelijking eveneens te gebruiken voor het schatten van de verzurende werking van atmosferische depositie.

Hergebruik van afvalstoffen

In opdracht van de VAM is in 1990 onderzoek gestart naar mogelijkheden tot het gebruik van GFT-compost (= compost gemaakt van gescheiden ingezameld groente-, fruit- en tuinafval) als nutriëntenbron in de land- en tuinbouw. Het onderzoek vindt plaats door middel van vakkenproeven waarin op verschillende grondsoorten de N- en P-werking van de compost en het eventueel vrijkomen van zware metalen en de opname ervan door gewassen wordt nagegaan. Aanvullend onderzoek over de afbraak van de compost vindt plaats onder geconditioneerde omstandigheden door middel van incubatieproeven.

Bemestingsbeleid

Eind 1989 is door de interdepartementale (LNV en VROM) Stuurgroep Mestproblematiek een Commissie van Deskundigen ingesteld met als opdracht het uitbrengen van een advies over de vast te stellen uitrijregels voor dierlijke mest voor de tweede fase van de Mestregelgeving. Het secretariaat van de commissie is door het IB-DLO gevoerd (ir. W.P. Wadman). Voor wat betreft het uitrijden van

dierlijke mest op grasland concludeert de commissie het volgende (Wadman en Steenvoorden, 1990):

- een uitrijverbod van 1 september tot 1 maart levert een belangrijke bijdrage aan vermindering van de uit- en afspoeling van stikstof;
- het toedienen van dierlijke mest van 1 maart tot 15 april draagt bij aan het efficiënt benutten van nutriënten uit dierlijke mest;
- een uitrijverbod van 15 maart tot 1 mei voorkomt dat het uitrijden van dierlijke mest tot ernstige schade aan de weidevogelstand leidt;
- dierlijke mest dient verplicht emissie-arm te worden toegediend.

De door de commissie voorgestelde uitrijregels voor dierlijke mest op bouwland staan in tabel 4.

Tabel 4. Voorstel uitrijregels voor dierlijke mest op bouwland (inclusief snijmaïs) (Wadman en Steenvoorden, 1990). De onderwerkverplichting houdt in dat de mest direct of in twee direct op elkaar volgende werkgangen dient te worden ondergewerkt.

Periode	Grondsoort	
	zand, löss, dalgrond	klei, veengrond
1 juli - 1 okt.	uitrijverbod	uitrijverbod
1 okt. - 1 mrt.	uitrijverbod	onderwerkverplichting
1 mrt. - 1 juli	onderwerkverplichting	onderwerkverplichting

In april 1990 is door de ministers van LNV, VROM en V&W een Commissie van Deskundigen ingesteld om advies uit te brengen over de noodzakelijke maatregelen om de stikstofbelasting van grond- en oppervlaktewater terug te dringen.

Voorzitter van de commissie was dr.ir. J.H.J. Spiertz (CABO-DLO); namens het IB-DLO maakten dr.ir. J.J. Neeteson (plaatsvervangend voorzitter) en ir. W.P. Wadman (lid) deel uit van de commissie. In het advies van de commissie, dat reeds in december 1990 werd uitgebracht (Goossensen en Meeuwissen, 1990), speelt de hoeveelheid minerale stikstof die in het najaar in de bodem achterblijft een belangrijke rol. Voorgesteld wordt om vanaf 1995 een grenswaarde van 70 kg N per ha in de laag 0-100 cm aan te houden. Verwacht wordt dat hiermee in de zandgebieden de nitraatconcentratie in het grondwater gemiddeld ongeveer 50 mg per l zal zijn. Teneinde de grenswaarde niet te overschrijden wordt onder andere voorgesteld de eindnorm voor de maximale hoeveelheid toe te dienen dierlijke mest op maïsland (= 75 kg P_2O_5 per ha) versneld in te voeren.

In het kader van het Meststoffenbesluit 1977 zijn vele adviezen uitgebracht aan de Commissie van Deskundigen inzake het Meststoffenbesluit, het RIKILT-DLO en het bedrijfsleven over produkten die als meststof ter ontheffing werden aangeboden of die daarvoor geschikt geacht werden. De Lijst van Meststoffen uit 1977 is herzien door een werkgroep waarin naast het IB-DLO, het IKC-AT-MKT, IKC-V-RSP, de directie AT en RIKILT-DLO zitting hadden. Het secretariaat van de werkgroep was in handen van het IB-DLO (ir. P.A.I. Ehlert). De herziene lijst is weergegeven in een vertrouwelijke nota (Ehlert, 1990).

Literatuur

Ehlert, P.A.I. (red.), 1990. Herziening van de Lijst van Meststoffen van het Meststoffenbesluit 1977. Vertrouwelijke Nota. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren, 62 pp.

Goossensen, F.R. en P.C. Meeuwissen (red.), 1990. Advies van de Commissie Stikstof. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 9. DLO, Wageningen, 93 pp. + bijlagen.

Groot, J.J.R. and P. de Willigen, 1991. Simulation of the nitrogen balance in the soil and a winter wheat crop. Fert. Res. 27: 261-271.

Groot, J.J.R., P. de Willigen en W.P. Wadman, 1989. Nitraatophoping in de bodem en nitraatuitspoeling ten gevolge van stikstofbemesting in de landbouw. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Nota 216, 24 pp.

- Groot, J.J.R., P. de Willigen and E.L.J. Verberne (eds.), 1991. Nitrogen turnover in the soil-crop system. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 246 pp.
- Gijsman, A.J., J. Floris and M. van Noordwijk, 1991. An inflatable minirhizotron system for observations with improved soil/tube contact. *Plant Soil* 134: 261-269.
- Harmsen, K., H. Loman and J.J. Neeteson, 1990. A derivation of the Pierre-Sluijsmans equation used in the Netherlands to estimate the acidifying effect of fertilizers applied to agricultural soils. *Fert. Res.* 26: 319-325.
- Hassink, J., D. Scholefield and P. Blartern, 1990. Nitrogen mineralisation in grassland soils. In: N. Gaborcik, V. Krajcovic and M. Zimkova (eds.), *Soil-Grassland-Animal Relationships. Volume II. Proc. 13th Gen. Meet. Eur. Grassl. Fed., Banska Bystrica*, pp. 25-32.
- Neeteson, J.J., 1989. Evaluation of the performance of three advisory methods for nitrogen fertilization of sugar beet and potatoes. *Neth. J. Agric. Sci.* 37: 143-155.
- Neeteson, J.J., 1990a. Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. *Fert. Res.* 26: 291-298.
- Neeteson, J.J., 1990b. Waarom bij het ene gewas wel en bij het andere geen risico van nitraatuitspoeling bij stikstofbemesting volgens het huidige advies? *Meststoffen* 1/2: 8-13.
- Neeteson, J.J. and H.J.C. Zwetsloot, 1989. An analysis of the response of sugar beet and potatoes to fertilizer nitrogen and soil mineral nitrogen. *Neth. J. Agric. Sci.* 37: 129-141.
- Noordwijk, M. van and S.C. van der Geijn, 1991. Root, shoot and soil parameters required for process-oriented models of crop growth limited by water or nutrients. In: A. Smucker (ed.), *New methods of root research. ASA Special Publication* (in press).
- Noordwijk, M. van, P. de Willigen, P.A.I. Ehlert and W.J. Chardon, 1990. A simple model of P uptake by crops as a possible basis for P fertilizer recommendations. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 317-322.
- Noordwijk, M. van, M.J. Kooistra, F.R. Boone, B.W. Veen and D. Schoonderbeek, 1991. Root-soil contact of maize, as measured by a thin-section technique. I. Validity of the method. *Plant Soil* 138 (in press).
- Veen, B.W., M. van Noordwijk, P. de Willigen, F.R. Boone and M.J. Kooistra, 1991. Root-soil contact of maize, as measured by a thin-section technique. III. effects on shoot growth, nitrate and water uptake efficiency. *Plant Soil* 138 (in press).
- Verberne, E.L.J., J. Hassink, P. de Willigen, J.J.R. Groot and J.A. van Veen, 1990. Modelling organic matter dynamics in different soils. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 221-238.
- Wadman, W.P. en J.H.A.M. Steenvoorden (red.), 1990. Advies beperking uitrijperiode van dierlijke meststoffen voor de tweede fase van de mestregelgeving. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 6. DLO, Wageningen, 98 pp.
- Willigen, P. de, 1991. Nitrogen turnover in the soil-crop system; comparison of fourteen simulation models. *Fert. Res.* 27: 141-149.

4. SUBSTRAATTEELT EN FERTIGATIE

In de Nederlandse tuinbouw wordt veel geïnvesteerd in faciliteiten en technieken die het mogelijk maken de teeltomstandigheden te beheersen en te optimaliseren. Deze ontwikkelingen hebben enerzijds te maken met het streven naar opbrengstverhoging en kwaliteitsverbetering, en anderzijds met de wet- en regelgeving op het gebied van het milieu. De beheersing van de teeltomstandigheden in gesloten systemen (kasteelten), maakt het in principe mogelijk om zowel de opbrengst en kwaliteit van de tuinbouwgewassen te verhogen, alsook de verliezen van nutriënten en bestrijdingsmiddelen naar het milieu te verminderen.

De Nederlandse tuinbouw wordt onder meer gekenmerkt door het veelvuldig voorkomen van nauwe rotaties van zowel kortdurende als meerjarige teelten. De bodemziekten die hiermee samenhangen worden bestreden door: 1) ontsmetting van gronden met biociden en, 2) het 'stomen' van gronden, of 3) algehele of gedeeltelijke vervanging van gronden als groeimedium door andere, natuurlijke of kunstmatige substraten. Aangezien het gebruik van biociden in de toekomst waarschijnlijk zal moeten worden beperkt en het stomen ongewenste effecten kan hebben op het verloop van de bodembioologische en bodemchemische processen in deze gronden, is vooral de derde optie hier van belang. Het areaal glasteelten bedroeg in 1990 ca. 10000 ha (4500 ha groenten, 4500 ha bloemen en 1000 ha potplanten). Het areaal substraatteelt bedroeg ca. 3500 ha (voornamelijk groente-teelt op steenwol). Ongeveer 90% van de tomaten, komkommers en paprika wordt op kunstmatige substraten geteeld; van de aubergines bijna 100%. In het jaar 2000 moeten alle tuinders overgestapt zijn op gesloten teeltsystemen, zodat dan sprake zal zijn van 100% substraatteelt (teelt los van de ondergrond). Een soortgelijke ontwikkeling doet zich voor in de fruitteelt, waar in toenemende mate potgrond (of vergelijkbare materialen) wordt gebruikt voor de vulling van plantgaten voor fruitbomen.

Naast de vervanging van grond door andere substraten doet zich ook een ontwikkeling voor in de tuinbouw in de richting van een verdergaande beheersing en sturing van het aanbod van nutriënten en water. Voorbeelden hiervan zijn fertigatiesystemen voor teelten op kunstmatige substraten, voor potplanten en voor fruitbomen. Deze ontwikkeling biedt perspectieven voor een betere afstemming van het aanbod van water en nutriënten op de behoefte van gewassen. Daarmee zou een optimale gewasontwikkeling kunnen worden bereikt bij een verminderde uitspoeling van nutriënten en bestrijdingsmiddelen naar het milieu. Sommige teeltsystemen bieden zelfs perspectieven voor volledige recirculatie van voedingsoplossingen, waarbij verliezen naar het milieu vrijwel geheel zouden kunnen worden vermeden.

Voor de ontwikkeling en wetenschappelijke onderbouwing van fertigatiesystemen in de tuinbouw is kennis nodig omtrent het transport van water en nutriënten in natuurlijke en kunstmatige substraten. Verder is kennis nodig over de ontwikkeling en het functioneren van wortelstelsels in dergelijke substraten, en de water- en nutriëntenbehoefte van verschillende gewassen, afhankelijk van de groeipatronen en de ontwikkelingsstadia van deze gewassen en de klimatologische omstandigheden.

De kennis die wordt gegenereerd binnen dit thema kan bijdragen aan de ontwikkeling van teeltsystemen waarbij een optimale opbrengst en gewaskwaliteit wordt bereikt bij een minimale beïnvloeding van het milieu.

Fertigatie in de fruitteelt

In de fruitteelt is de bemesting in de loop der jaren drastisch verminderd. Evenals voorheen wordt de bemesting vrijwel uitsluitend breedwerpig toegediend. Het gewas is voor water en voor de beschikbaarheid van de op deze wijze toegediende voedingsstoffen grotendeels afhankelijk van de natuurlijke regenval. In de fruitteelt wordt getracht deze afhankelijkheid te doorbreken. Dit komt tot uiting in de sterke opkomst van druppelbevloeiing. Indien druppelbevloeiing wordt gecombineerd met breedwerpig bemesten blijft het effect van de mestgift afhankelijk van de neerslag, dus niet beïnvloedbaar. Dit kan worden voorkomen door voedings-

stoffen aan het druppelwater toe te voegen (fertigatie). Water en voedingsstoffen kunnen op deze wijze op elk tijdstip en in elke gewenste combinatie worden toegediend en gericht op de ontwikkeling van het gewas (scheutgroei, bloei, zetting, rui, vruchtgroei en -kwaliteit, het laatste zowel wat betreft uiterlijk als houdbaarheid). De reactie van het gewas op deze nieuwe vorm van bemesten is echter nog grotendeels onbekend. Tot nu toe is onvoldoende gekwantificeerd hoe de water- en voedingsstoffengift gerelateerd moet worden aan factoren zoals de bodemfysische en -chemische eigenschappen, het beplantingstype, de leeftijd van de beplanting, de periodiciteit van de scheutgroei, en de verdamping.

Bij het streven naar grotere plantdichtheid vormt onderlinge concurrentie tussen de bomen een mogelijke rem op de verdere ontwikkeling. Dit betreft niet alleen bovengrondse concurrentie om licht, maar vooral ondergrondse concurrentie om water en voedingsstoffen. Fertigatie kan een belangrijke stimulans betekenen voor de verdere uitbouw van intensieve plantsystemen. Het onderzoek dient in de eerste plaats gericht te worden op het verkrijgen van meer detailkennis over de effecten van fertigatie op enkele grondsoorten. In een later stadium kan deze kennis worden geïntegreerd in de ontwikkeling van intensieve plantsystemen. Druppelbevloeiing met alleen water bevordert, vooral bij herinplant, de aanslag en de begingroei en -productie. Gebleken is dat de hoge investeringskosten snel zijn terug te verdienen. Met fertigatie kan de groei nog verder worden bevorderd. Ook is er perspectief met fertigatie de minerale samenstelling van de vrucht te beïnvloeden en daarmee de smaak en de houdbaarheid.

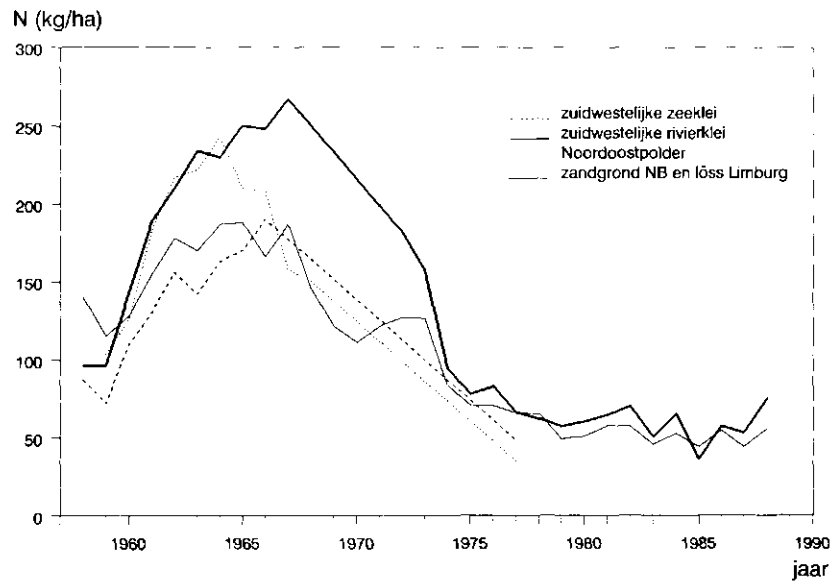
Gezien de gunstige resultaten, ontmoet fertigatie in de praktijk veel belangstelling. Dit is vooral het geval op gronden waar de intensivering van de beplanting wordt beperkt door een onvoldoende water- en voedingsstoffenvoorziening. De resultaten van het onderzoek bieden mede een basis bij het opstellen van algemene richtlijnen over de te volgen werkwijze bij fertigatie (Kodde en Kipp, 1990a,b) en later wellicht ook bij het formuleren van een teeltbegeleidingssysteem. De fundamentele aanpak zal toepassing van de resultaten bij uiteenlopende bodemtypen, ontwateringstoestanden, rassen en teeltsystemen bevorderen. Bij fruitbomen, een meerjarig gewas, zal in 3-5 jaar een redelijk inzicht kunnen worden opgebouwd in de effecten van fertigatie op de ontwikkeling van het gewas en de efficiëntie van de toediening van water en nutriënten. Te verwachten is dat niet meer dan een aanzet gegeven kan worden tot het ontwikkelen van een systeem om door fertigatie de ontwikkeling van het gewas in vergaande mate te beheersen.

De volgende aspecten van fertigatie in de fruitteelt werden in de verslagperiode bestudeerd door ir. J. Kipp, in samenwerking met het Proefstation voor de Fruitteelt te Wilhelminadorp (PFW):

- de historische ontwikkeling van bemesting en irrigatie in de fruitteelt in de laatste dertig jaar,
- dynamiek van water in de grond in de buurt van puntbronnen,
- transport van nutriënten in de bodem vanuit puntbronnen,
- invloed van fertigatie op de ontwikkeling van jonge appelbomen,
- praktijkadvies van fertigatie van appelbomen van verschillende leeftijd onder verschillende bodem- en weersomstandigheden.

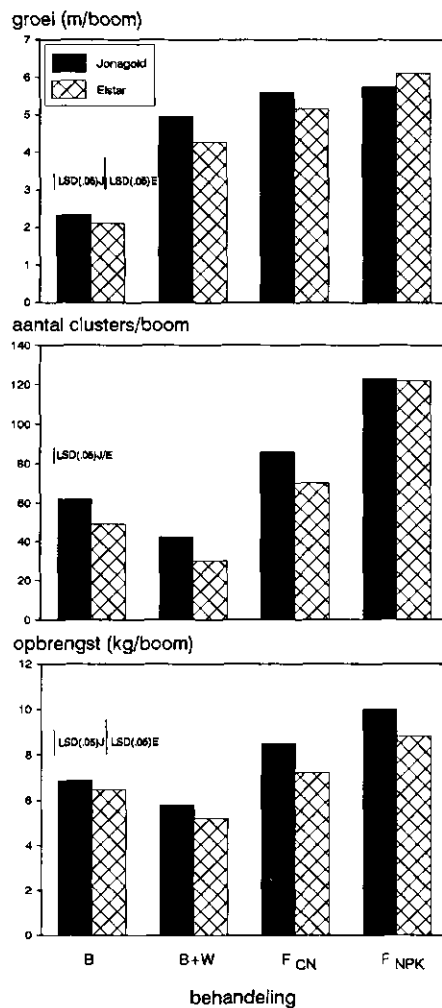
Ontwikkelingen van de bemesting en irrigatie in de Nederlandse fruitteelt in de laatste dertig jaar

Na een aanvankelijke stijging van de bemesting eind vijftiger en begin zestiger jaren, vond vanaf 1968 een afname plaats (figuur 4). Oorzaken waren veranderde teeltomstandigheden en bodembehandeling, en nieuwe inzichten in relaties tussen vruchtkleur, vruchtschilverruwing, bewaarbaarheid en fysiogene afwijkingen enerzijds en hoge N- en K-gehalten anderzijds. Dit alles resulteerde in een verfijning van het bemestingsadvies, waardoor de kwaliteit een stuk verbeterde. Aan het eind van de zeventiger jaren bleek dat druppelirrigatie de scheutgroei enorm versterkte. Daarmee nam ook de produktie toe, echter het stikstofgehalte van het blad kwam beneden het streefgetal te liggen. Met fertigatie bleef ook het stikstofgehalte van de boom op peil.



Figuur 4. Gemiddelde toediening van kunstmeststikstof voor appels in verschillende regio's (Kipp, 1991).

Figuur 4 toont gemiddelde resultaten van vier locaties, waarbij de trends in die vier boomgaarden niet verschilden.



Figuur 5. Effecten van fertigatie. Boven: groei bij verschillende behandelingen van twee appelcultivars in het eerste jaar, midden: aantal bloemclusters in het tweede jaar, onder: productie in het tweede jaar. Behandelingen: B = breedwerpige bemesting, B + W = breedwerpige bemesting en druppelirrigatie, F_{CN} = fertigatie met calciumnitraat, F_{NPK} = fertigatie met N-P-K (19-6-6).

Bevordering van groei van appelbomen met fertigatie

Toediening van water gaf een significante toename van de scheutgroei (Kipp, 1991). Met fertigatie was de toename nog groter, hoewel niet significant voor Elstar bij gebruik van calciumnitraat (Figuur 5, boven). Het aantal bloemclusters in het tweede jaar nam af bij toediening van alleen water, maar nam toe bij fertigatie, vooral bij fertigatie met N-P-K (19-6-6) (Figuur 5, midden). De toename van de scheutgroei en van de bloei leidde tot toename van de opbrengst in het tweede jaar tengevolge van fertigatie. In de daarop volgende jaren neemt de invloed van fertigatie af en is nauwelijks nog merkbaar bij volwassen bomen.

Gesloten teeltsystemen in de glastuinbouw

Naast de vervanging van grond door andere substraten, doet zich in de glastuinbouw een ontwikkeling voor in de richting van een verdergaande beheersing en sturing van het aanbod van nutriënten en water. Deze ontwikkeling biedt perspectieven voor een betere afstemming van het aanbod van water en nutriënten op de behoefte van gewassen. Daarmee zou een optimale gewasontwikkeling kunnen worden bereikt bij een verminderde uitspoeling van nutriënten naar het milieu. Sommige teeltsystemen bieden zelfs perspectieven voor volledige recirculatie van voedingsoplossingen, waarbij verliezen naar het milieu vrijwel geheel zouden kunnen worden vermeden.

Voor de ontwikkeling en wetenschappelijke onderbouwing van fertigatiesystemen in de glastuinbouw is kennis nodig omtrent het transport van water en nutriënten in natuurlijke en kunstmatige substraten. Verder is kennis nodig over de ontwikkeling en het functioneren van wortelstelsels in dergelijke substraten, en de water- en nutriëntenbehoefte van verschillende gewassen, afhankelijk van de groeipatronen en de ontwikkelingsstadia van deze gewassen en het kasklimaat. De kennis die wordt gegenereerd binnen dit programma kan bijdragen aan de ontwikkeling van teeltsystemen waarbij een optimale opbrengst en gewaskwaliteit wordt bereikt bij een minimale beïnvloeding van het milieu.

Bij dit onderzoek wordt samengewerkt met:

- Proefstation voor Tuinbouw onder Glas (PTG, Naaldwijk)
- Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland (PBN, Aalsmeer)
- Vakgroep Tuinbouwplantenteelt Landbouwuniversiteit (Wageningen)
- DLO-Staring Centrum (SC-DLO, Wageningen)

Teelt van sla op voedingsfilm (NFT)

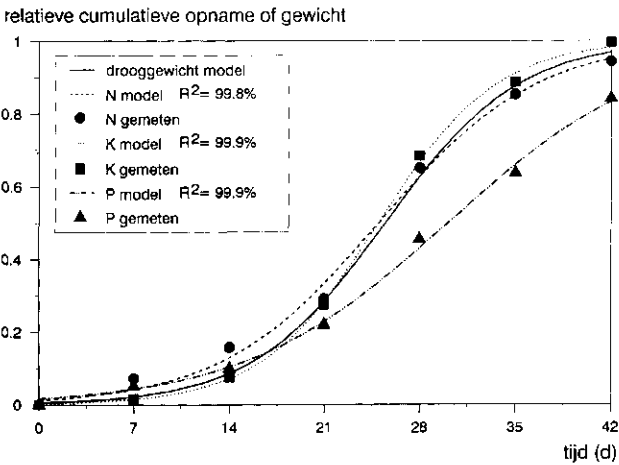
Het voedingsfilm-teeltsysteem wordt gekenmerkt door een circulerende voedingsoplossing welke als dunne film door goten stroomt. Plantewortels hangen vrij in deze film en kunnen hieruit voedingsstoffen opnemen. Door de concentratie van de voedingsoplossing on-line te registreren is de opname direct waarneembaar en kan de samenstelling van de oplossing aan de behoefte van het gewas aangepast worden (Heinen, 1990b). Op deze manier kan naar een besturingsmodel toegewerkt worden.

In 1987 is door dr.ir. A. de Jager een dergelijk systeem op het IB-DLO geïntroduceerd. In 1988 is een oriënterend experiment met sla uitgevoerd (Heinen et al., 1990, 1991). Hieruit is ondermeer gebleken dat de groeisnelheid van een slakrop, en de relatieve opname van stikstof, kalium en fosfaat goed door een logistisch groei/opname-model (Heinen, 1990a) beschreven kunnen worden (figuur 6). De totale opnames, zoals deze enerzijds zijn bepaald uit gewasanalyse en anderzijds uit het verlies uit de voedingsoplossing, blijken niet overeen te stemmen (figuur 7).

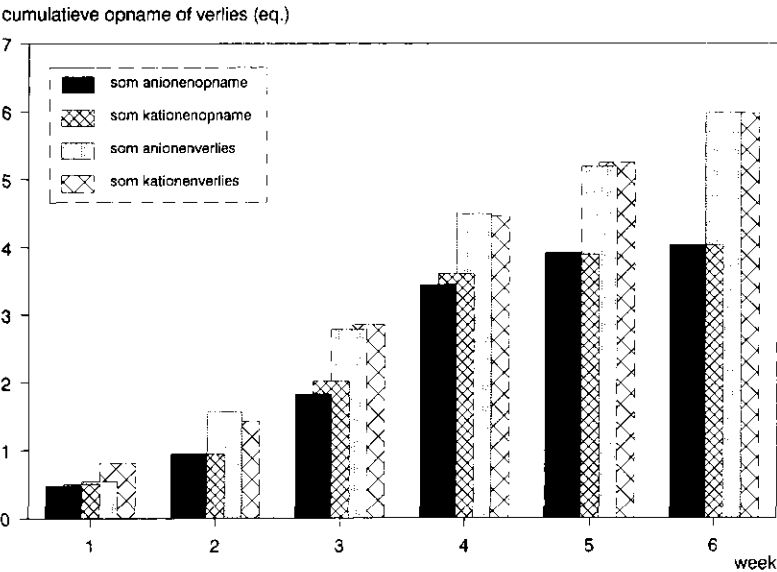
Dynamiek van water en nutriënten in potplantenteelt met een eb/vloed fertigatiesysteem

Eb/vloed fertigatiesystemen zijn geautomatiseerde systemen waarmee voedingsoplossing van onderaf aan de potgrond wordt toegediend. Sedert 1985 verrichten het IB-DLO, het SC-DLO (voorheen ICW), en het PBN gezamenlijk onderzoek naar de water- en nutriëntenhuishouding in de potplantenteelt met een eb/vloed fertigatiesysteem. In drie proeven met Croton en één met Begonia werd veel ervaring

Figuur 6. Relatieve opname van stikstof (N), kalium (K) en fosfaat (P) door sla als functie van de tijd, en de relatieve toename van het drooggewicht (Heinen et al., 1990, 1991).



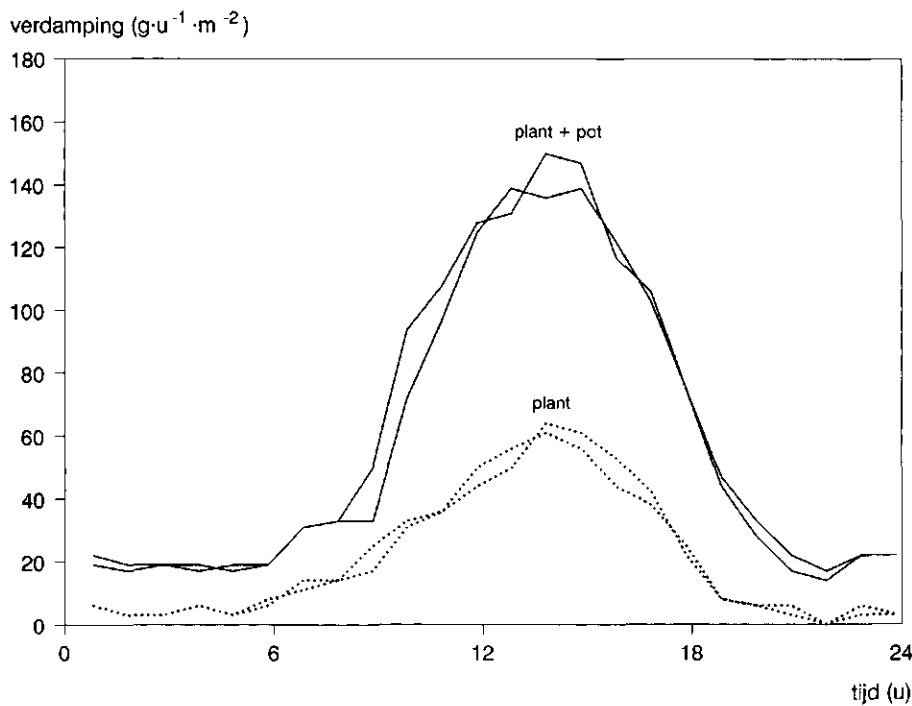
Figuur 7. Cumulatieve opname door het gewas en cumulatief verlies uit voedingsoplossing van alle voedingsstoffen als functie van de tijd (Heinen et al., 1990, 1991).



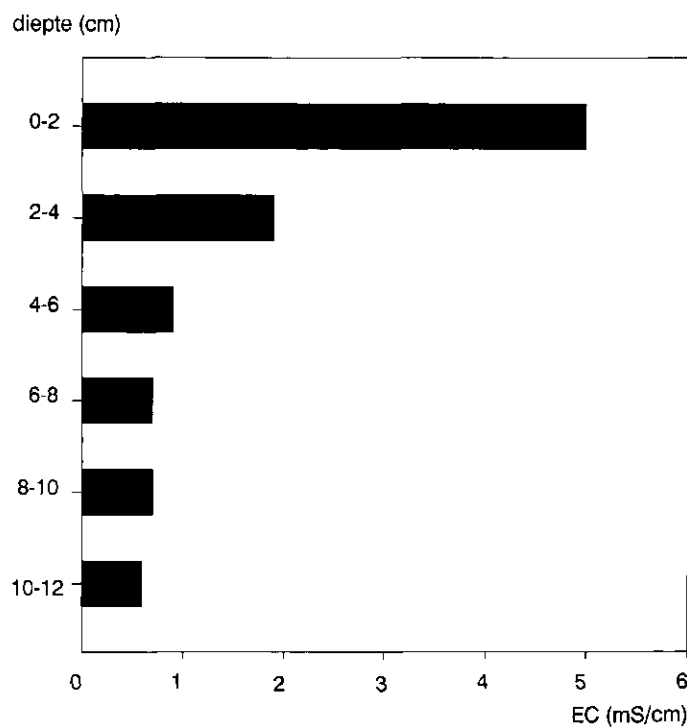
opgedaan m.b.t. de invloed van de samenstelling van de voedingsoplossing en de frequentie van watergeven op de volumefracties van de vaste, vloeibare, en gasvormige fasen in de potgrond, op de verdeling van de nutriënten in de potgrond, en op de groei en chemische samenstelling van de planten. Het bleek dat de planten sneller groeiden naarmate de frequentie van watergeven groter was, ondanks de gebrekkige aëratie onderin de potten. In veel gevallen was er een sterke ophoping van zouten in de potgrond, vooral bovenin en meer naarmate de EC van de voedingsoplossing hoger was. De fysische eigenschappen van de potgronden bleken gedurende de teelt te verslechteren, meer naarmate de potgrond natter was. Uit de beschikbare waarnemingen kunnen totaalbalansen van water en nutriënten worden opgesteld.

Na het vertrek van ir. C. de Kreij in 1988 werd het project omgezet in een DLO/AIO-project dat nu wordt uitgevoerd door ir. W. Otten, en waarbij ook de LUW Vakgroep Tuinbouwplantenteelt is betrokken. Het project is gericht op het formuleren en valideren van een simulatiemodel voor de water- en nutriëntenhuishouding in teelten gebaseerd op het eb/vloed fertigatiesysteem.

Figuur 8 toont het verloop van de verdamping van *Ficus benjamina* over een etmaal met en zonder afdekking van de potgrond. Hieruit blijkt dat meer dan de helft van het water verdampt vanaf de oppervlakte van de potgrond. Figuur 9 toont de elektrische geleidbaarheid in een 1:1.5 extract als functie van de diepte in



Figuur 8. Verdamping van *Ficus benjamina* over een etmaal met en zonder afdekking van de potgrond.



Figuur 9. Elektrische geleidbaarheid in een 1 : 1.5 extract als functie van de diepte in de pot na 13 dagen.

de pot na 13 dagen. Nabij de oppervlakte van de potgrond blijkt er een aanzienlijke ophoping van zouten te zijn ontstaan.

Dynamiek van water en nutriënten in gesloten, recirculerende teeltsystemen voor groenten, met name teeltsystemen gebaseerd op zandbedden

In het kader van het Onderzoekprogramma Gesloten Bedrijfssystemen Glastuinbouw (NRLO-rapport 90/11) werd een nieuw project geformuleerd in samenwerking met het Proefstation voor Tuinbouw onder Glas (PTG). Er zal een algemeen model worden geformuleerd waarmee, uitgaande van de behoefte van het gewas en een minimale overlast voor het milieu, de inrichting en de werkwijze met gesloten, recirculerende teeltsystemen kan worden geoptimaliseerd. Het

algemene model zal worden gebruikt als basis voor modellen van teeltsystemen gebaseerd op zandbedden, voedingsfilm, en wortelstelselbevochtiging. In samenwerking met het PTG zullen experimenten worden uitgevoerd, met als hoofddoel modelcalibratie en -verificatie. De experimenten betreffen in eerste instantie teeltsystemen gebaseerd op zandbedden.

Literatuur

Heinen, M., 1990a. Analytical growth equations and their Genstat 5 equivalents. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 223, 48 pp.

Heinen, M. 1990b. The use of ion-selective electrodes in NFT systems. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 222, 29 pp.

Heinen, M., A. de Jager en H. Niers, 1990. Regeling van het nutriëntenaanbod aan planten in kunstmatige substraten. 1. Systeembeschrijving en oriënterend experiment met sla (with an English summary: Control of nutrient supply to plants on artificial substrates. 1. System description and preliminary experiment with lettuce). Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 221, 78 pp.

Heinen, M., A. de Jager en H. Niers, 1991. Uptake of nutrients by lettuce on NFT with controlled composition of the nutrient solution. Accepted for publication in Neth. J. Agric. Sci.

Kipp, J.A., 1991. Thirty years fertilization and irrigation in Dutch apple orchards: a review. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 245, 19 pp.

Kodde, J. en J.A. Kipp, 1990a. Meer zicht op waterverbruik appelbomen. De Fruitteelt 80 (26): 13-14.

Kodde, J. en J.A. Kipp, 1990b. Watergift beter afstemmen op behoefte. De Fruitteelt 80 (28): 11-13.

Onderzoekprogramma Gesloten Bedrijfssystemen Glastuinbouw. NRLO, Rapport nr. 90/11.

5. Zure depositie

Zure depositie, of het totaal aan luchtverontreinigende stoffen, heeft zowel een direct als een indirect effect op planten. Het directe effect wordt uitgeoefend op bovengrondse plantedelen en de componenten in de atmosfeer die de ernstigste directe schade aan planten veroorzaken zijn O_3 en SO_2 . Van even groot of groter belang zijn indirecte effecten, die voornamelijk het gevolg zijn van bodem-chemische veranderingen, waardoor het functioneren van het wortelstelsel en van processen in de rhizosfeer wordt beïnvloed. In Nederland heeft vooral de zeer grote depositie van N-verbindingen, met name NH_3 , een sterk negatief, indirect effect op de natuurlijke vegetatie. In het kader van het Additioneel Programma Verzuringsonderzoek is in de afgelopen vijf jaar op het IB-DLO (en het voormalige Itl) uitgebreid onderzoek gedaan naar de directe en indirecte effecten van luchtverontreiniging op het functioneren van Douglas-sparren en met name op biologische en chemische processen in de rhizosfeer. Twee van de projecten zijn in 1990 afgerond en hebben geleid tot proefschriften. In 1990 promoveerde A.J. Gijsman aan de RU Groningen op het proefschrift met de titel 'Nitrogen nutrition and rhizosphere pH of Douglas fir' en in 1991 is A.J. Gorissen gepromoveerd aan de Vrije Universiteit in Amsterdam op een proefschrift met de titel: 'Effects of air pollutants on the microflora in the rhizosphere of Douglas fir'. Van beide proefschriften is hieronder een verkorte samenvatting weergegeven.

Hiermee is de bijdrage van het IB-DLO aan het onderzoek naar 'zure depositie' in het kader van het Additionele Programma Verzuring beëindigd. Het onderwerp luchtverontreiniging en effecten daarvan op bodemprocessen blijft echter onderdeel van het totale onderzoeksprogramma van het IB-DLO, zij het ingepast in diverse andere onderzoeksthema's.

Het onderzoek van Gijsman had betrekking op de invloed van de vorm van het N-aanbod, d.w.z. NH_4^+ of NO_3^- , op het functioneren van Douglas. Het bleek dat, indien zowel ammonium als nitraat aanwezig waren in de bodemoplossing, Douglas bij voorkeur stikstof opneemt in ammoniumvorm. Toch werd in relatief droge bodems hoofdzakelijk nitraat opgenomen. Dit kan worden verklaard uit het feit dat ammonium, in tegenstelling tot nitraat, door de bodem wordt vastgelegd aan het kationenadsorptiecomplex, waardoor maar een fractie van de totaal in de bodem aanwezige hoeveelheid ammonium zich in de bodem-oplossing bevindt. Doordat de iontransportsnelheid in de bodem sterk afneemt met afnemend bodemvochtgehalte, kan het ammoniumaanbod aan de wortels dan zo laag worden dat de plant zijn N-behoefte niet meer kan opvullen met ammonium. Nitraat, dat niet wordt geadsorbeerd aan de bodem, kan de wortels wel bereiken en vervolgens worden opgenomen.

Het feit dat ammonium preferent wordt opgenomen, betekent niet dat Douglas ook het beste groeit als stikstof hoofdzakelijk als ammonium wordt opgenomen. In potproeven bleek dat de drogestofproduktie sterk afnam bij toenemende ammonium/nitraat aanbodverhouding. Bovendien daalde de netto carboxylatenproduktie in de plant indien meer dan circa 80% van de opgenomen N uit ammonium bestond. Aangezien carboxylaten nodig zijn voor de regulatie van de interne pH van de plant, kan een sterke daling in de produktie ervan ertoe leiden dat de plant niet meer in staat is z'n cytoplasmatische pH te regelen. Juist met ammoniumvoeding onder sterk zure bodemomstandigheden heeft de plant een grote behoefte aan carboxylaten, voor het wegvangen van protonen die zijn vrijgekomen bij de ammoniumassimilatie of die afkomstig zijn van passieve protoninflux vanuit de bodemoplossing. De geringe netto produktie van carboxylaten kan dan leiden tot interne verzuring van de plant en mogelijk eveneens tot hoge concentraties vrije NH_4^+ -ionen in de plant.

De vorm waarin de stikstof wordt opgenomen is grotendeels bepalend voor de vraag of de wortels H^+ - of OH^- -ionen uitscheiden, en dus of de rhizosfeer wordt verzuurd dan wel gealkaliseerd. Als stikstof hoofdzakelijk als nitraat wordt opgenomen, dan wordt de rhizosfeer rondom de uiterste 20 à 25 mm van de wortel gealkaliseerd, terwijl de rhizosfeer rondom de oudere wortelzones iets

verzuurd wordt. Met toenemende ammoniumbijdrage aan de N-opname wordt de alkalisering rondom de worteltop zwakker, de lengte van de gealkaliseerde zone kleiner en de verzuring rondom de oudere wortelzones sterker. In sterk zure bodems kan dit verschil belangrijk zijn, omdat de plant in geval van overheersende nitraatvoeding in staat is de groeizone van de wortels te beschermen door de rhizosfeer-pH te verhogen; met ammoniumvoeding heeft de plant dit vermogen niet.

Drie situaties kunnen worden onderscheiden ten aanzien van het effect van de opgenomen N-vorm op de concentratie carboxylaten in de plant en op de rhizosfeer-pH. Als meer dan circa 65% van de opgenomen stikstof uit nitraat bestaat, dan worden voldoende carboxylaten aangemaakt om de carboxylaatconcentratie in de plant op een niveau te houden waarbij geen problemen ontstaan met de interne pH-regulatie. De wortels scheiden OH^- -ionen uit, zodat de rhizosfeer gealkaliseerd wordt. Als nitraat tussen de 20 en 65% bijdraagt aan de N-opname, dan blijft de carboxylaatconcentratie op een voldoende hoog niveau voor interne pH-regulatie, maar met afnemende nitraatbijdrage scheiden de wortels in toenemende mate protonen uit, zodat de rhizosfeer wordt verzuurd. Als minder dan 20% van de stikstof als nitraat wordt opgenomen, dan daalt de carboxylaat-concentratie in de plant, wat kan leiden tot cytoplasmatische verzuring en verstoring van fysiologische processen; bovendien wordt ook de rhizosfeer verzuurd. Deze laatste situatie leidt tot zeer slechte groei en hoge mortaliteit.

Voor de onderzoekslocatie Kootwijk van het Additioneel Programma Verzuringsonderzoek werden modelberekeningen verricht over de N-opname door Douglas. Deze berekeningen lieten zien dat in de huidige situatie tenminste circa 25% en ten hoogste circa 50% van de stikstof als ammonium wordt opgenomen. Binnen afzonderlijke bodemlagen kan echter een heel ander beeld bestaan: wortels in de toplaag nemen vooral ammonium op, terwijl wortels in diepere bodemlagen hoofdzakelijk nitraat opnemen. Op het niveau van de totale boom zijn derhalve geen fysiologische verstoringen te verwachten, maar deze kunnen wel optreden in wortels uit de toplaag. Ook zal de rhizosfeer in de toplaag verzuren tengevolge van de overheersende ammoniumopname, wat kan leiden tot verminderde wortelgroei en een slecht functioneren van de wortels.

Het aanbod van ammonium en nitraat aan de wortels ten opzichte van de N-behoefte van de plant is een cruciale factor voor groei en functioneren van de wortels. Op dit moment wordt op de locatie Kootwijk nog een groot deel van de stikstof door de bodem als nitraat opgenomen. Toenemende bodemverzuring, leidend tot een trager verlopende nitrificatie en dus een hogere ammonium/nitraat aanbodsverhouding, in combinatie met een vermindering van de N-behoefte van de bodem tengevolge van afnemende groei, kan er echter toe leiden dat de ammoniumopname sterk gaat overheersen over de nitraatopname.

Het onderzoek van Gorissen betrof het effect van depositie van ozon en ammonium op microbiële rhizosfeerprocessen.

Begassing met ozon van jonge en volwassen Douglas-bomen resulteerde in een verminderd transport van koolstofverbindingen uit de naalden. Dit ging ten koste van andere delen van de bomen, omdat de totale netto-opname van CO_2 niet vergroot werd. Integendeel, in de experimenten met volwassen bomen verminderde de totale netto CO_2 -opname.

Een verminderd transport van koolstofverbindingen uit de naalden werd alleen waargenomen onmiddellijk na begassing met ozon. Uit het vrijkomen van $^{14}\text{CO}_2$ in het wortel/bodemcompartiment kon worden afgeleid dat herstel van de bomen plaatsvond zodra de begassing met ozon was beëindigd.

Tijdens gelijktijdige begassing van jonge Douglas-bomen in de zomer met ozon en $^{14}\text{CO}_2$ gedurende 9 dagen, werd adaptatie waargenomen bij de behandelingen met 106 en 202 μg ozon per m^3 . Bij hogere behandelingen met ozon vond geen adaptatie plaats en hoopten koolstofverbindingen zich op in de jongste naalden. Een langdurige begassing (28 dagen) van jonge Douglas-bomen met 200 μg ozon per m^3 in de herfst had echter ook ophoping van koolstofverbindingen in de jongste naalden en een verminderde respiratie van $^{14}\text{CO}_2$ in het wortel/ bodemcompartiment tot gevolg. Blijkbaar is het effect van ozon op de koolstofhuishouding seizoensafhankelijk. In de zomer waren hogere ozonniveaus nodig om vergelijkbare resultaten te behalen als in het voorjaar en in de herfst.

Andere stress-factoren kunnen het effect van ozon verergeren. Droogte resulteerde in dezelfde, maar meer uitgesproken effecten m.b.t. ophoping van ^{14}C in de jongste naalden en $^{14}\text{CO}_2$ -respiratie in het wortel/bodemcompartiment. Een combinatie van een droge periode en een hoge ozonconcentratie lijkt daarom de schadelijkste conditie met betrekking tot de koolstofvoorziening van de wortels. Ophoping van zetmeel als gevolg van ozonbegassing, zoals in de literatuur gemeld, werd niet waargenomen. De achtergebleven ^{14}C in de jongste naalden kon niet worden verklaard uit ophoping in de zetmeelfractie van de naalden.

Het belang van een (tijdelijke) verstoring van de koolstofverdeling in het plant-/bodemsysteem voor micro-organismen in de wortelomgeving is onduidelijk. Totale bacterie-aantallen op de wortels werden niet beïnvloed door ozon, terwijl een langdurige ozonbegassing de mycorrhiza-frequentie leek te stimuleren. Ozon kan de produktie of het transport van verbindingen met een verschillende aard en functie beïnvloeden zoals abscisinezuur, enzymen en fenolische verbindingen. Deze veranderingen kunnen mogelijk mycorrhiza-infecties beïnvloeden.

Langdurige depositie van ammoniumsulfaat (5, 50 en 200 kg N per ha per jaar; 2 jaar) veranderde de wortelmorfologie van jonge Douglas-bomen. Deze veranderingen kunnen resulteren uit een primair effect van ammonium; ze kunnen ook veroorzaakt worden door secundaire effecten, zoals veranderingen in pH en aluminiumconcentraties in de bodem. Ook de microflora in de directe wortelomgeving werd beïnvloed. Vooral de mycorrhiza-frequentie en de bacteriepopulatie op het worteloppervlak werden sterk gereduceerd. De saprofytische en parasitische schimmelflora op het worteloppervlak werd minder beïnvloed. De wisselwerking tussen veranderingen in de wortelmorfologie, de bacteriepopulatie, de mycorrhiza-frequentie en het bodemvocht vonden hun weerslag in de opname van verschillende elementen. Vooral de opname van fosfor en het transport naar de naalden waren sterk gereduceerd. De invloed van ammoniumdepositie op de microbiële populatie leek duidelijker dan de bovengrondse invloed van ozon op de mycorrhiza-frequentie, via een effect op de koolstofvoorziening van de wortels en de wortelomgeving. Voor een deel kan dit te wijten zijn aan de langdurige depositie van ammonium vergeleken met de korte-termijnbegassing met ozon. Het kan niet uitgesloten worden dat begassing met hoge ozonconcentraties gedurende lange perioden, of herhaalde blootstellingen, uiteindelijk ook een schadelijk effect hebben op de microflora in de directe wortelomgeving. Ophoping van ammonium daarentegen vindt continu plaats gedurende vele jaren en het is redelijk te veronderstellen dat de invloed van ammonium op de microbiële populatie in de directe wortelomgeving daardoor steeds groter wordt.

Literatuur

Gijsman, A.J., 1990. Nitrogen nutrition and rhizosphere pH of Douglas fir. Rijksuniversiteit, Groningen, Dissertatie, 132 pp.

Gorissen, A.J., 1991. Effects of air pollutants on the microflora in the rhizosphere of Douglas fir. Vrije Universiteit, Amsterdam, Dissertatie, 114 pp.

6. Ontwikkelingssamenwerking

In de semi-aride tropen staan de landbouwgronden onder zware druk van de groeiende bevolking en de toenemende voedselbehoefte. Dit leidt onder meer tot overbegrazing van de traditionele weidegronden, waardoor de natuurlijke vegetatie achteruitgaat of zelfs grotendeels verdwijnt. Als gevolg van een toenemende druk op de beschikbaarheid van cultuurgronden schrijdt de erosie van de bodem voort en neemt de fysische en chemische bodemvruchtbaarheid af.

Ook in de (sub-)humide tropen staan de traditionele, regenafhankelijke landbouwsystemen onder grote druk. Zo worden in de humide tropen de braakperioden in het systeem van de zwerflandbouw ('shifting cultivation') steeds korter, of zelfs geheel afgeschaft. Dit leidt ertoe dat de bodemvruchtbaarheid zich niet kan herstellen en de produktiviteit van de landbouwgronden afneemt. De verminderde toevoer van organisch materiaal naar de bodem en de versnelde afbraak van in de bodem aanwezige organische stof leiden tot een degradatie van de bodemstructuur, een verminderd vermogen om nutriënten en water vast te leggen, en een verminderde biologische activiteit van de bodem. De gevolgen zijn een afnemende produktiviteit en een toenemende bodemerosie.

Om deze negatieve ontwikkelingen een halt toe te roepen, dienen landbouwsystemen te worden ontwikkeld waarbij een duurzame agrarische produktie wordt gecombineerd met het op peil houden van de fysische, chemische en biologische bodemvruchtbaarheid, het minimaliseren van bodemerosie (water, wind), en - waar mogelijk - het herbenutten van uitgespoelde nutriënten door diep-wortelende gewassen. Deze duurzame produktiesystemen dienen aangepast te zijn aan de lokale omstandigheden en moeten optimaal gebruik maken van ter plaatse aanwezige hulpbronnen.

Het onderzoek van het IB-DLO richt zich op nutriëntenbalansen van representatieve teelt- en bedrijfssystemen in ontwikkelingslanden, en op het verloop van nutriëntenstromen in ruimte en tijd. Bijzondere aandacht wordt besteed aan het verhogen van het rendement van stikstofmeststoffen, de biologische stikstoffixatie door micro-organismen in symbiose met vlinderbloemigen, en aan de rol van organische stof in verschillende teelt- en bedrijfssystemen. Het doel van dit onderzoek is bij te dragen aan de ontwikkeling en wetenschappelijke onderbouwing van duurzame landbouwsystemen in de tropen.

Stikstofhuishouding vochtige tropen

In de regenafhankelijke landbouw in de vochtige tropen kunnen, als gevolg van een aanzienlijk overschot gedurende het grootste deel van het groeiseizoen, grote verliezen aan nutriënten optreden door af- en uitspoeling. In combinatie met de doorgaans zure ondergrond en de daarmee samenhangende ondiepe beworteling van landbouwgewassen leidt dit tot een snelle achteruitgang van de bodemvruchtbaarheid, tenzij passende, stabiliserende maatregelen worden genomen.

Met name is dit het geval bij het zeer dynamische element stikstof, zodat stikstofgebrek doorgaans een van de eerste kenmerken van bodemdegradatie bij aanhoudend landbouwkundig gebruik is, met name in de gevallen waar weinig externe produktiemiddelen zoals kunstmest kunnen worden toegediend. In deze gevallen is een hoge efficiëntie van stikstof door middel van een maximale herbenutting daarom een belangrijke voorwaarde voor een duurzame produktie. Enkele IB-DLO-onderzoekprojecten richten zich op de stikstofhuishouding van traditionele en verbeterde regenafhankelijke teeltsystemen in twee representatieve delen van de vochtige tropen: Nigeria en Indonesië.

In Nigeria leverde een vergelijking van de teeltsystemen met maïs (*Zea mays*) als hoofdgewas, zoals maïs/cassave (*Manihot esculenta*), maïs/cowpea (*Vigna unguiculata*), maïs/bodembedekker (*Mucuna utilis*) en maïs/cassave/pigeon pea (*Cajanus cajan*) bij bemestingsniveaus van 0 tot 180 kg N per ha belangrijke verschillen op tussen de hoeveelheid via gewasresten teruggevoerde stikstof en de hoeveelheid via de oogstprodukten afgevoerde stikstof (tabel 5).

Tabel 5. Verschil tussen afgevoerde en teruggevoerde hoeveelheden stikstof (kg N per ha) in vier teeltsystemen bij vijf stikstofniveaus gedurende vier jaren (gem. van 4 herhalingen).

Stikstofgift					
Jaar	0	45	90	135	180
1982	-34	-45	-65	-72	-45
1983	-20	-8	-13	-24	-26
1984	-15	5	-6	-13	-24
1985	59	70	66	64	66

Teeltsysteem				
Jaar	maïs/ cassave	maïs/ cowpea	maïs/ bodembed.	maïs/cassave/ pigeon pea
1982	-123	-47	117	-143
1983	-94	-20	141	-102
1984	-66	14	107	-100
1985	7	52	173	25

Tukey (0.05): stikstof 31 (0 vs. gift) en 36 (tussen giften), teeltsysteem 19, jaar 24.

Rekening houdend met stikstofverliezen door gewasopname, af- en uitspoeling en denitrificatie en met stikstofaanvoer via regenval, toegediende kunstmest, teruggevoerde gewasresten (tabel 5) en biologische stikstofbinding konden voor de bovengenoemde situaties globale stikstofbalansen worden opgesteld. Hieruit bleek dat in het teeltsysteem (jaarlijks) maïs/bodembedekker in vergelijking met de drie andere teeltsystemen de grootste stikstofefficiëntie optrad; in dit systeem wordt binnen de gewasrotatie tijd en ruimte gereserveerd voor de aanvulling tot ong. 60 kg N per ha in kunstmestequivalenten van de optredende stikstofverliezen, waardoor de duurzaamheid van de voedselproductie wordt bevorderd.

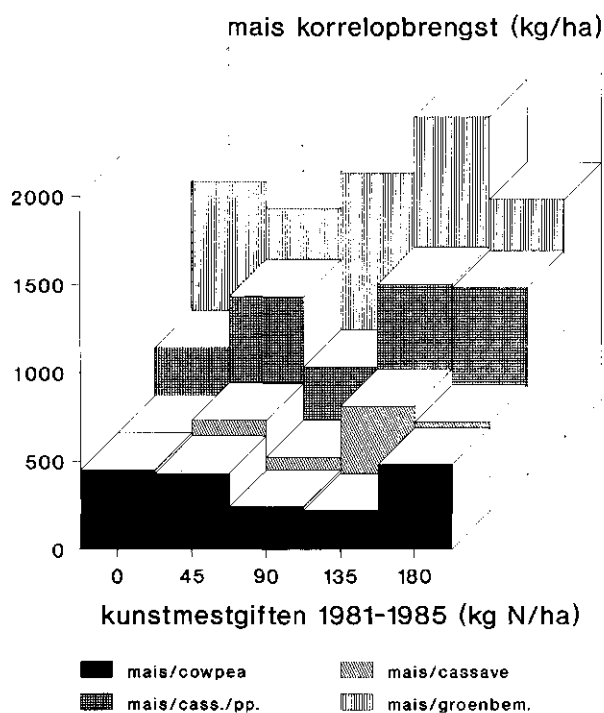
Weliswaar treedt in de andere teeltsystemen aanvankelijk een hogere opbrengst op in termen van eiwitproductie of handelswaarde, doch bij deze teeltsystemen is er sprake van een negatieve stikstofbalans, zelfs bij hogere kunstmestgiften, waardoor de stabiliteit van de produktie op lange termijn nadelig wordt beïnvloed. Het optreden van sterke resteffecten in de maïsproduktie na een voorafgaande rotatie van maïs/bodembedekker wijst eveneens in dezelfde richting (figuur 10). In een andere veeljarige veldproef werd een stabiele maïsproduktie zonder toediening van stikstofkunstmest bereikt in de 1-jarige gewasrotatie maïs/soja/bodembedekker.

Bij teeltsystemen gebaseerd op cassave bleek in Indonesië de produktie op langere termijn moeilijk te handhaven bij de verschillende teeltcombinaties cassave/maïs, cassave/ droge rijst en cassave/soja, al dan niet in combinatie met een bodembedekker. Wel bleek de opname-efficiëntie van kunstmeststikstof te kunnen worden verdubbeld door gewassen op ruggen te planten in plaats van op een vlak veld.

Veeljarige veldproeven met combinaties van maïs en rijen heesters of bomen, het z.g. 'alley-cropping'-systeem, wezen uit dat, voor de ecologische omstandigheden van Zuid-Sumatra (Indonesië), een stabiele maïsproduktie kon worden verkregen zonder toepassing van stikstofkunstmest in combinatie met *Peltophorum pterocarpa*, al dan niet in combinatie met *Gliricidia sepium*.

Bodem-gewasrelaties in de aride tropen

In samenwerking met het CABO-DLO en de vakgroep Natuurbeheer van de LUW werden voorbereidingen getroffen voor een veeljarig onderzoek naar het kwantitatief beschrijven van de nutriëntendynamiek in het systeem bodem/plant/dier bij



Figuur 10. Resteffecten in de maaisopbrengst van verschillende voorafgaande gewasrotaties.

suboptimale vochtvoorziening in de aride en semi-aride tropen van West-Afrika. Dit onderzoeksproject, dat in Mali zal worden uitgevoerd, zal zich met name richten op de veeteeltsector.

Eveneens in Mali werden in het kader van de samenwerking met het Laboratoire des Sols en het Koninklijk Instituut voor de Tropen, als voorbereiding van een interpretatie- en adviesbasis voor bodemgegevens veldproeven uitgevoerd, waarin voor de voornaamste voedselgewassen in drie agro-ecologische zones verschillende niveaus van N- en P-toediening werden beproefd. De resultaten van dit onderzoek zullen worden gekoppeld aan een bodemindeling naar vochthoudend vermogen, gekoppeld aan typische topequivalenties.

Een dergelijk onderzoek werd eveneens voorbereid met het Bureau National des Sols in Burkina Faso, door middel van een formuleringsmissie welke in opdracht van DGIS in februari 1989 werd uitgevoerd. Eveneens in Burkina Faso werd medegewerkt aan het ontwikkelen van een simulatiemodel, waarin de invloed van fluctuaties in de vocht- en stikstofvoorziening op de productie van sorghum en miliet worden beschreven.

Andere projecten

In september 1989 werd in opdracht van de FAO een onderzoek uitgevoerd naar mogelijke strategieën voor de ontwikkeling van regenafhankelijke voedsellandbouw in de Volksrepubliek Laos.

Eveneens in 1989 werd een studie uitgevoerd in Thailand naar de lange termijn-effecten van een tiental ontwikkelingsprojecten betreffende de regenafhankelijke voedsellandbouw.

In december 1989 werd in opdracht van de NUFFIC deelgenomen aan een evaluatie van enkele universitaire samenwerkingsprojecten in Vietnam.

In opdracht van de FAO werd in 1990 deelgenomen aan een evaluatiemissie betreffende het gebruik van kunstmest en organische mest in de voedsellandbouw in het bergland van Nepal.

In 1990 ging, met financiering van DGIS, een project van start in het kader waarvan een geannoteerde bibliografie zal worden opgesteld van Indonesische bodem-

kundige literatuur uit de periode voor de onafhankelijkheid. In 1990 verschenen hiervan twee concept-versies.

Onderzoek naar de aluminium-tolerantie van de bodembedekker *Mucuna* bracht een specifieke vermijding door *Mucuna*-wortels van aluminium-rijke grond aan het licht.

In 1989 en 1990 is onderzoek gedaan naar het gebruik van de zogenaamde ureum-injector voor het toedienen van ureum in de natte rijstbouw. Met de ureuminjector worden ureumkorrels op ca. 8 cm diepte in de grond geschoten. Dit wordt gedaan om ammoniakverliezen, die optreden bij de conventionele breedwerpige toediening van ureum, te beperken. Het onderzoek is gefinancierd door DGIS en werd uitgevoerd in samenwerking met het NMI, het LEI-DLO en de LUW. De ureum-injector werd getest in Togo, Ivoorkust, Indonesië, Bangladesh en de Filipijnen. Ten opzichte van breedwerpige toediening van ureum bleek ureuminjectie de gewasopbrengst en het rendement van de meststof te verhogen. Dit werd toegeschreven aan minder stikstofverliezen bij injectie door beperking van de ammoniakvervluchting.

In samenwerking met het ILRI, het SC-DLO, het RIN-DLO en met de Indonesische instituten, Center of Soil Research en Banjermasin Research Institute for Food Crops, is onderzoek verricht naar het verhogen van de landbouwproductie op de zogenaamde 'acid sulphate soils'. Gebleken is dat 'lowland' rijst positief reageerde op kleine kalkgiften (0.75 - 1 t CaO per ha) en kalium. 'Upland' gewassen zoals aardnoot, soja en maïs reageerden eveneens positief op kalkbemesting, maar niet op het toedienen van zink.

7. Chemodynamica en bodemverontreiniging

Het onderzoek binnen dit thema richt zich op het chemisch en fysisch-chemisch gedrag van stoffen in de bodem. Hierbij wordt aandacht besteed aan de samenstelling van de bodemoplossing en de interacties van opgeloste stoffen met de vaste fase van de bodem. De mobiliteit en de biologische beschikbaarheid van stoffen in de bodem worden onder meer bepaald door de mate waarin deze stoffen stabiele, oplosbare complexen vormen (speciatie) met in de bodem aanwezige organische verbindingen (liganden). Er wordt modelmatig en experimenteel onderzoek verricht naar de speciatie van nutriënten (N, P, K) en contaminanten (zware metalen, organische microverontreinigingen) in de bodem en de bodemoplossing, en de wijze waarop de betrokken processen worden beïnvloed door omgevingsfactoren en chemische parameters. Een belangrijk aandachtspunt is de snelheid waarmee chemische en fysisch-chemische processen in de bodem verlopen (kinetiek) en de invloed hiervan op de mobiliteit en de biologische beschikbaarheid van nutriënten en contaminanten.

Dynamiek van bestanddelen van dierlijke mest (laboratorium en veld)

Veel aandacht werd besteed aan de veranderingen die in de bodem optreden na het toedienen van dierlijke mest; deze veranderingen zijn een gevolg van het feit dat dierlijke mest een hoge concentratie aan opgeloste zouten bevat en veel gemakkelijk afbreekbare organische stof.

Dit onderwerp is om verschillende redenen van belang, te weten:

- de beschikbaarheid van nutriënten die via de mest worden toegediend,
- het vervluchtigen van ammoniak uit de mest, en
- de mogelijkheid dat zware metalen in de bodem meer mobiel worden na het toedienen van mest.

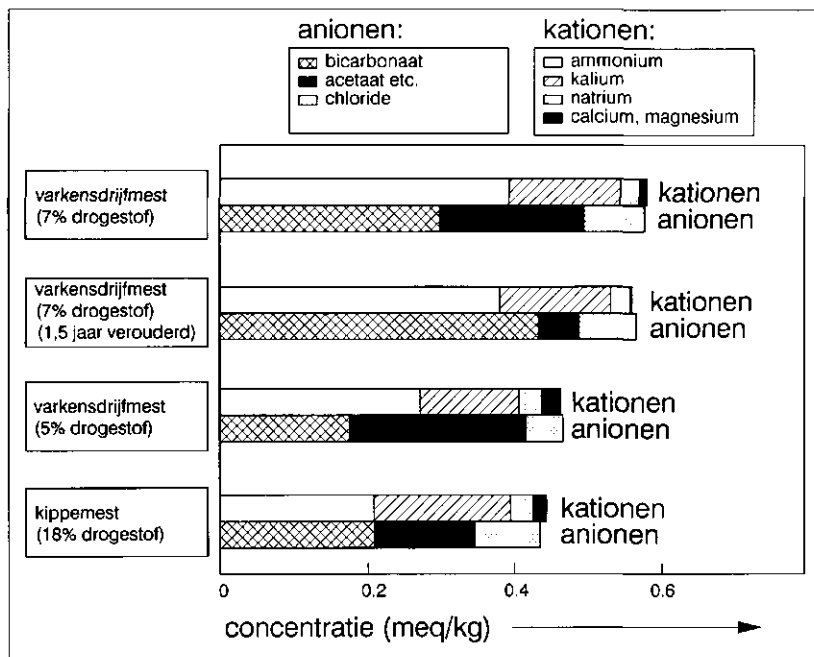
De complexiteit van het systeem grond/dierlijke mest vereist een integrale benadering, waarbij met vele factoren rekening wordt gehouden. Het gebruik van computermodellen is een middel om dit soort complexe systemen te bestuderen.

Essentieel voor de modelmatige benadering van dierlijke mest en van de interactie tussen dierlijke mest en grond is een zo exact mogelijke bepaling van de *samenstelling van dierlijke mest*. Het betreft hier enerzijds de totale samenstelling en massabalans van de dierlijke mest en anderzijds de ionenbalans van de vloeibare fractie van de mest. Om te komen tot een massabalans voor dierlijke mest is een aantal monsters geanalyseerd, waarbij een groot aantal kwantitatief van belang zijnde componenten is bepaald (figuur 11). De totale massa werd op grond van de elementaire samenstelling berekend en vergeleken met de experimenteel bepaalde massa. De op grond van analyses berekende massa correspondeerde met 85-95% van de totale massa.

De ionische samenstelling van de vloeibare fractie bleek adequaat te kunnen worden beschreven met een vijftal kationen (K, Na, NH_4 en enig Ca en Mg) en een drietal anionen ((bi)carbonaat, Cl en anionen afgeleid van zwakke organische zuren). De ionenbalans klopte voor 97-102%, wat wil zeggen dat de som van de gemeten gehalten aan kationen gelijk was aan de som van de gehalten aan anionen (beide uitgedrukt in equivalenten).

Uit de samenstelling van de totale dierlijke mest en die van de vloeistoffractie kon worden afgeleid dat bepaalde componenten zich voornamelijk ophouden in de waterfase (K, Na en Cl), in de vaste fase (Si, P, Ca, Mg, zware metalen), of zijn verdeeld over beide fasen (S, organische stof, (bi)carbonaat, NH_4) (Japenga en Harmsen, 1990).

Voor het bepalen van genoemde zuur/base-actieve bestanddelen in de vloeistoffractie van dierlijke mest (NH_4 , (bi)carbonaat en anionen afgeleid van zwakke organische zuren) werd een titratiemethode ontwikkeld, waarbij alle genoemde componenten in hetzelfde analysemonster kunnen worden bepaald.



Figuur 11. Ionenbalansen van een aantal monsters van dierlijke mest.

Met behulp van het programma CHARON werd een *chemisch-evenwichtsmodel* voor *dierlijke mest* ontwikkeld. Dit model heeft als invoergegevens nodig de samenstelling van de mest (zie pag. 33) en waarden van evenwichtsconstanten van verbindingen welke kunnen worden gevormd. Een groot deel van deze constanten is beschikbaar in de literatuur; een aantal constanten werd in het laboratorium bepaald. Berekeningen met het model wijzen uit dat het neerslaan van een aantal verbindingen te verwachten is vanuit de mest: calciumcarbonaat (vateriet), calciumfosfaat (monetiet en whitloket) en magnesiumammoniumfosfaat (struviet). Een monster varkensmest werd onderzocht met behulp van 'Scanning Electron Microscopy'. De resultaten geven aan dat struviet zeer waarschijnlijk aanwezig was; verder werden kristallen van calciumcarbonaat (mogelijk vateriet) aangetroffen (Bril en Salomons, 1990).

Met behulp van CHARON werd tevens een model ontwikkeld dat bedoeld is om een schatting te maken van het *gedrag van kalium, fosfaat en stikstof in de bodem*. Een belangrijk invoergegeven is het bemestingsregime dat wordt toegepast (tijdstip van toediening, soort en hoeveelheid meststof). De processen welke in het model zijn opgenomen zijn: adsorptie, ionenwisseling, waterbeweging en gewasopname; in de toekomst zal het aantal processen waarmee rekening wordt gehouden worden uitgebreid met o.a. (de)nitrificatie en fixatie. Het model is bedoeld om op beleidsniveau een indruk te krijgen van de invloed van bijvoorbeeld het bemestingsregime op de uitspoeling van nutriënten.

Een neveneffect van het gebruik van dierlijke mest kan zijn het *mobiliseren van zware metalen*; een verhoogde opname door planten of een grotere uitspoeling kan hiervan een gevolg zijn. Het mobiliseren kan worden veroorzaakt door de grote hoeveelheid zouten welke met de mest aan de bodem worden toegediend; het is een bekend verschijnsel dat de hogere ionsterkte die hiervan een gevolg is een negatieve invloed heeft op de vastlegging van zware metalen aan de grond. Een ander belangrijk punt is de aanwezigheid in de mest van opgelost organisch materiaal (dissolved organic carbon, DOC), dat complexen kan vormen met metalen en ze daardoor in oplossing kan brengen. In een experiment waarin een mengsel van dierlijke mest en grond werd geïncubeerd werden de Cu gehalten in het bodemvocht gevolgd in de tijd. De gehalten aan Cu namen af; de afname was duidelijk gecorreleerd met de afname in het gehalte aan DOC in het bodemvocht. Met behulp van isotopen van Zn, Cd en Pb werd de desorptie van deze metalen vanuit de grond gemeten na het toedienen van mestvocht. Het bleek dat met name DOC met een hoog molecuulgewicht verantwoordelijk was voor de gevonden desorptie.

Na het toedienen van dierlijke mest werd in drie veldproeven de *ammoniakemissie* gemeten, respectievelijk op onbebouwd bouwland, idem gevolgd door inwerken, en op grasland. Met deze proeven werd het veldwerk afgesloten van het project dat werd uitgevoerd in het kader van het Nationaal Programma Verzuringsonderzoek. Het simulatiemodel dat is ontwikkeld om de ammoniakemissie te voorspellen werd voor het gebruik op een PC geschikt gemaakt. Met name het bodemkundige deel van het model werd sterk gewijzigd: de adsorptie van NH_4^+ werd beter beschreven, de waterbeweging in de bodem werd meer realistisch gemaakt en het aantal bodemcompartimenten dat kan worden doorgerekend werd uitgebreid. In de veldproeven werd een sterk uiteenlopende ammoniakemissie gemeten, wat vooral aan de weersomstandigheden kan worden toegeschreven (Van der Molen et al., 1990a en 1990b). De verschillen in emissie tussen de proeven kunnen door het model goed worden gereproduceerd; dit is een aanwijzing dat de invloed van de weersomstandigheden op de emissie goed in het model is beschreven (Van Faassen et al., 1990).

Op twee punten moeten bij het gebruik van het model aannames worden gedaan, omdat deze factoren onzeker zijn:

- de snelheid en mate waarin het vocht uit de mest infiltreert in de bodem bij oppervlakkige toediening van mest, en
- de volledigheid waarmee de menging met grond gebeurt bij het inwerken van mest.

Dynamiek van elementen/nutriënten (laboratorium en veld)

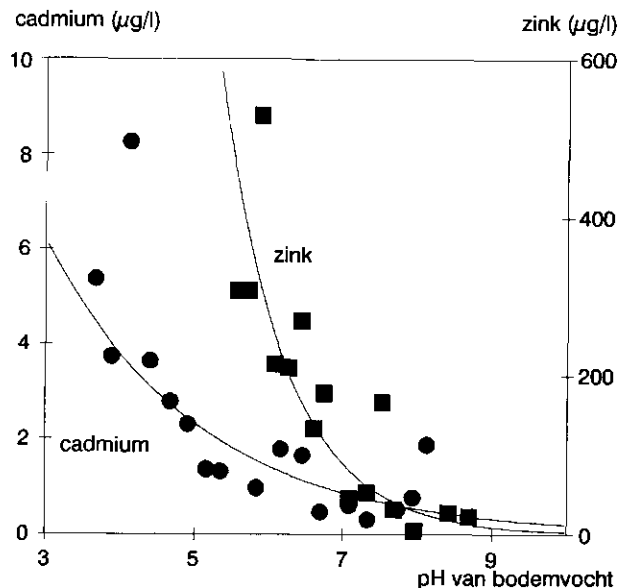
Als voorbereiding op het voor het IB toegankelijk maken van elders uitgevoerd onderzoek naar het *lange-termijn gedrag van fosfaat* werd een literatuuronderzoek verricht. Met name werd gekeken naar de mechanismen welke verondersteld worden verantwoordelijk te zijn voor het gedurende lange tijd doorgaan van het proces van vastlegging van fosfaat (door adsorptie of fixatie). Het blijkt dat het substraat waaraan de vastlegging plaatsvindt bepalend is voor het mechanisme, en dat niet gesproken kan worden over één specifiek mechanisme. Of een eenduidige wiskundige beschrijving van het proces wel mogelijk is zal nog worden onderzocht.

In het verleden zijn door verschillende oorzaken grote hoeveelheden *arseen* op Nederlandse landbouwgronden terechtgekomen; een van de oorzaken is het gebruik van arseniet voor het doden van loof in de aardappelteelt. Het arseen kan door fosfaat worden gemobiliseerd en vervolgens uitspoelen. Om een beeld te krijgen van gehalten en verspreiding van arseen in de bodem zijn op vijf locaties grondmonsters genomen, waarna de vaste fase en het bodemvocht zijn geanalyseerd. De onderzochte locaties zijn in de zestiger en zeventiger jaren gebruikt voor de aardappelteelt; het betreft in alle gevallen zavelgronden. Het ligt in de bedoeling om de verkregen gegevens te gebruiken voor de calibratie en validatie van een te ontwikkelen model dat het gedrag van arseen in de bodem beschrijft.

Op vijf percelen van de proefboerderij van het IB te Haren, waar in het verleden verschillende hoeveelheden kunstmest of dierlijke mest waren toegepast, werden zeven maal grondmonsters genomen. Door middel van centrifugeren werd hieruit bodemvocht verkregen, waarna de concentratie en speciatie van zware metalen werden bepaald. De aanwezigheid van metalen in het bodemvocht was voornamelijk gecorreleerd met de pH en met de aanwezigheid van opgeloste organische stof; daarnaast waren de zoutconcentratie in het bodemvocht van belang, evenals de speciatie van het metaal in de vaste fase van de grond. Verder zijn op vijftig locaties, verspreid over geheel Nederland, grondmonsters genomen voor het analyseren van het bodemvocht; de resultaten hiervan zijn nog onderwerp van studie. Voorlopige resultaten laten een (verwachte) goede correlatie zien tussen de pH van het bodemvocht en de metaalconcentratie (figuur 12).

Methodiek-ontwikkeling

Opgeloste organische stof en colloïden spelen waarschijnlijk een belangrijke rol bij de mobiliteit van fosfaat en zware metalen in de bodem; het mechanisme hierachter is tot nu toe echter nog niet duidelijk. Om tot een verklaring te komen



Figuur 12. Cadmium- en zinkconcentraties in bodemvocht in afhankelijkheid van de pH. De monsters werden genomen op diverse locaties in Nederland.

worden experimentele methoden ontwikkeld om organische moleculen en colloïden in deeltjesgrootte-classes te scheiden en de verkregen fracties te onderzoeken op hun eigenschappen om fosfaat en metalen te binden. Hierbij kan onder meer worden gedacht aan de snelheid van binding en het weer vrijkomen onder invloed van externe factoren.

Voordat gestart werd met het praktische onderzoek werd een literatuurstudie uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van gelpermeatiechromatografie (GPC) en high performance size exclusion chromatography (HPSEC) bij het onderzoek naar bindingsvormen (Del Castillo, 1990). Met deze methoden kan opgelost en organisch colloïdaal materiaal globaal worden gescheiden op deeltjesgrootte; om de aard van de stoffen vast te stellen worden de verkregen fracties vervolgens onderzocht m.b.v. UV-VIS spectroscopie, element- en structuuranalyse. Genoemde technieken zijn in de verslagperiode operationeel gemaakt en toegepast op de complexering van zink en koper in eluaten van een grond/mest-mengsel. Verder werd de organische stof uit mestvloeistof in groottefracties gescheiden; in de fracties werd het fosfaatgehalte gemeten. Het bleek dat fosfaat slechts in enkele fracties voorkomt, wat perspectief biedt op verdere karakterisering.

In de praktijk zijn voor de gebruiker van mest de gehalten aan stikstof, fosfaat en kalium van belang om de bemestende waarde van de mest vast te stellen. Voor de producent van mest zijn kosten verbonden aan het afvoeren of verwerken van mest; de kosten zijn veelal gebaseerd op het gehalte aan drogestof. Betrouwbare analysemethoden voor monsters van dierlijke mest zijn dus essentieel voor de praktijk. Om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid van de op dit moment in gebruik zijnde methoden werd, in opdracht van het FOMA (Financieringsoverleg Mest- en Ammoniakonderzoek) en in samenwerking met het IMAG-DLO, een *rondzendonderzoek* georganiseerd. Hierin werden mestmonsters toegestuurd aan de negen deelnemende routine- en onderzoekslaboratoria; deze monsters werden geanalyseerd op: drogestof, gloeirest, N-totaal, $\text{NH}_4\text{-N}$, P, K, Na, Ca, Mg, Cl en COD. Met uitzondering van N-totaal werden voor alle bepalingen significante verschillen gevonden tussen de resultaten van de deelnemende laboratoria; deze verschillen zijn niet aantoonbaar te wijten aan een verschil in gebruikte analysemethoden. Bij het in viervoud uitvoeren van de analyse werd binnen een laboratorium veelal een grote spreiding gevonden. In de nabije toekomst zal gewerkt worden aan het ontwikkelen van op bestaande analysemethoden gebaseerde standaardmethoden.

Overige onderwerpen

Na een lange voorbereidingsstijd jaar is het *Bodemkwaliteitsmeetnet* gestart; het doel ervan is het volgen van de niveaus aan xenobiotische stoffen in de bovengrond. Het meetnet is een samenwerkingsverband tussen de DLO-instituten IB, RIKILT en SC, en het RIVM. Er werden veertig proefplekken geselecteerd en

gekaracteriseerd, de bodemprofielen werden onderzocht en de bovengrond werd bemonsterd. Het analyseren van de grondmonsters is voltooid; een evaluatierapport werd vrijwel afgerond. In de toekomst zal het aantal meetlocaties mogelijk (sterk) worden uitgebreid.

Er werd een inventarisatie uitgevoerd van *diffuse bronnen* van verontreiniging. Voorbeelden van dergelijke diffuse bronnen zijn bijvoorbeeld auto's (luchtverontreiniging) en huishoudens (afvalproductie); in de landbouw zijn voorbeelden het uitspoelen van meststoffen en het vervluchten van bestrijdingsmiddelen. Wanneer het aantal bronnen van een bepaalde soort groot genoeg is kan de totale omvang van de verontreiniging aanzienlijk zijn.

De landbouw is behalve een diffuse bron ook een slachtoffer van diffuse verontreinigingen, bijvoorbeeld doordat luchtverontreiniging neerslaat op de bodem of doordat het oppervlaktewater is verontreinigd. In een inventariserend onderzoek is materiaal verzameld dat betrekking heeft op de landbouw als diffuse bron en als slachtoffer; het materiaal wordt verwerkt tot een rapport dat zoveel mogelijk aspecten van dit onderwerp ten behoeve van het overheidsbeleid toegankelijk maakt.

In de met *zware metalen verontreinigde Brabantse Kempen* werd in de periode 1983 t/m 1987 op 5 proefvelden nagegaan of door verhoging van de pH van de grond de opname van cadmium zodanig kon worden afgeremd dat gehalten worden verkregen die voldoen aan de warenwetnorm. Uit de resultaten blijkt dat bij verhoging van de pH-KCl tot 6.0 à 6.5 een duidelijke daling wordt verkregen van de cadmium- en zinkgehalten van andijvie, spinazie, sla, prei, schorseneren, waspeen, winterpeen en zomergerst. Hoewel de daling het grootst is bij andijvie en spinazie, worden bij deze gewassen geen Cd-gehalten bereikt die voldoen aan de warenwetnorm. Dit is het gevolg van de zeer hoge opname bij lage pH. Bij de andere gewassen worden bij hoge pH wel Cd-gehalten verkregen die aan de warenwetnorm voldoen.

In het kader van werkzaamheden ten behoeve van het Meststoffenbesluit werd de *inbreng van zuur en/of base* van verschillende meststoffen nader gedefinieerd. Met name voor zwakke zuren/basen en voor mengsels van zouten met zuren/basen bestaat op dit moment geen genormaliseerde analysemethode. Een voorstel werd gemaakt voor een analysemethode om de inbreng, via titratie, vast te stellen (Japenga en Ehlert, 1989).

Tijdens perioden van hoge waterstanden vindt overstroming plaats van de *uiterwaarden van de grote rivieren* in Nederland, waarbij sedimentatie optreedt. In de jaren 1958, 1970, 1972 en 1981 werden monsters genomen van het vers gesedimenteerde materiaal. De monsters werden geanalyseerd op een aantal zware metalen (Zn, Cu, Cr, Pb, Ni, Hg en As) en op organische componenten (PAH, PCB, HCB en DDT). Uit de analyseresultaten blijkt dat in de periode van 1958 tot 1981 de gehalten in het sediment over het algemeen zijn afgenomen. Dit geeft aan dat de maatregelen die in het recente verleden genomen zijn om de verontreiniging van de grote rivieren te beperken resultaat lijken te hebben gehad (Japenga et al., 1990).

Doordat de genoemde verontreinigingen veelal niet afbreekbaar zijn zullen zij echter aanwezig blijven in de uiterwaarden; slechts door 'verdunding' met schoner slib zullen de gehalten in de bodem dalen.

Literatuur

Bril, J. and W. Salomons, 1990. Chemical composition of animal manure: a modelling approach. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 333-351.

Castilho, P. del, 1990. Oriënterend literatuuronderzoek naar de mogelijkheden van GPC bij metaalcomplexeringsonderzoek. *Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 227*, 25 pp.

Faassen, H.G. van, W.J. Chardon, J. Bril and P. Vriesema, 1990. Ammonia volatilization from arable land after surface application or incorporation of dairy cattle slurry. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 236, 83 pp.

Japenga, J. en P.A.I. Ehlert, 1989. Chemisch-analytische definitie van zuur- en base-inbreng van meststoffen bestemd voor toediening aan groeimateriaal. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 220, 15 pp.

Japenga, J. and K. Harmsen, 1990. Determination of mass balances and ionic balances in animal manure. Neth. J. Agr. Sci. 38: 353-367.

Japenga, J., K.H. Zschuppe, A.J. de Groot and W. Salomons, 1990. Heavy metals and organic micropollutants in floodplains of the river Waal, a distributary of the river Rhine, 1958-1981. Neth. J. Agr. Sci. 38: 381-397.

Molen, J. van der, A.C.M. Beljaars, W.J. Chardon, W.A. Jury and H.G. van Faassen, 1990a. Ammonia volatilization from arable land after application of cattle slurry; 2. Derivation of a transfer model. Neth. J. Agr. Sci. 38: 239-254.

Molen, J. van der, H.G. van Faassen, M.Y. Leclerc, R. Vriesema and W.J. Chardon, 1990b. Ammonia volatilization from arable land after application of cattle slurry; 1. Field estimates. Neth. J. Agr. Sci. 38: 145-158.

8. Transportprocessen in de bewortelbare zone en bodemstructuurvorming

Een natuurlijke bodem is een dynamisch medium, waarin transportprocessen een essentiële rol spelen. Voor het onderzoek van het IB-DLO is vooral het transport van water en opgeloste stoffen van belang. Daarnaast wordt echter ook aandacht besteed aan de beweging van gassen en, in mindere mate, het transport van warmte in de bodem.

De wijze waarop transportprocessen in de bodem verlopen wordt onder meer bepaald door de fysische bodemstructuur en de verdeling van wortels. Mede daarom worden bij de bestudering van transportprocessen in de bodem een viertal schaalniveaus onderscheiden:

- de microschaal: het niveau van de individuele deeltjes van de vaste fase en van de microporiën;
- de mesoschaal: het niveau van de individuele wortels, aggregaten, macroporiën en locaties van intense biochemische activiteit ('hot spots');
- de macroschaal: het niveau van de gehele bewortelbare zone;
- de megaschaal: het niveau van het gehele veld.

Het meeste onderzoek aan transportprocessen vindt plaats op de macroschaal. Een belangrijke reden hiervoor is dat onderzoek op het niveau van de bewortelbare zone het meeste perspectief biedt voor het formuleren van modellen in termen van meetbare grootheden, zowel wat betreft de fysische (b.v. waterretentie- en waterdoorlatendheidskarakteristiek) en fysisch-chemische (b.v. adsorptiecapaciteit, adsorptie-isothermen, diffusiecoëfficiënten) eigenschappen, als wat betreft de actuele toestanden in het veld (b.v. grondwaterstand, verdeling van temperatuur, watergehalte, concentraties van stoffen in de bodemoplossing). De macroschaal is ook de natuurlijke basis voor de integratie naar de megaschaal, d.w.z. het niveau van het gehele veld, waar het uiteindelijk om gaat in de landbouw. De groei en activiteit van organismen in de bodem worden echter in belangrijke mate bepaald door de fysische en fysisch-chemische omstandigheden op de micro- en mesoschalen. Bestudering van transportprocessen op deze schalen kan ook inzicht verschaffen omtrent de parameters op de macroschaal. Een belangrijk aandachtspunt bij het onderzoek naar transportprocessen is het op elkaar afstemmen van modellen die betrekking hebben op verschillende schaalniveaus. Onderzoek op de micro- en mesoschaal heeft vooral zin wanneer de resultaten overdraagbaar zijn op de macroschaal, en uiteindelijk op het niveau van het gehele veld.

Het onderzoek naar het transport van water en opgeloste stoffen in de bodem draagt bij aan het inzicht in de mobiliteit van stoffen in het milieu en de beschikbaarheid van nutriënten en contaminanten voor gewassen en organismen. Het transport van gassen en warmte is onder meer van belang voor het functioneren van wortelstelsels en bodemorganismen.

Het voortbrengen van cultuurgewassen vereist een goede bodemstructuur. De kwaliteit van de bodemstructuur kan achteruitgaan als gevolg van grondbewerking onder ongunstige omstandigheden, het berijden van het land met zware machines, het gebruik van bestrijdingsmiddelen, en veranderingen in de organische-stofhuishouding van de bodem. Achteruitgang van de bodemstructuur kan een nadelig effect hebben op de ontwikkeling en het functioneren van wortelstelsels, en daarmee op gewasopbrengst en -kwaliteit. Daarnaast kan een achteruitgang van de bodemstructuur ook het functioneren van het bodemecosysteem aantasten. Voor het ontwikkelen van criteria voor een 'goede' bodemstructuur is kennis vereist omtrent transportprocessen (water, gassen, opgeloste stoffen en warmte) in de bewortelbare zone en omtrent de eisen die bodemorganismen en wortels stellen aan het fysisch milieu om optimaal te kunnen functioneren.

Voor de vorming en instandhouding van een 'goede' bodemstructuur is kennis vereist over de invloed van mechanische ingrepen in de bodem (grondbewerking, berijden), weersomstandigheden, en chemische samenstelling van de bodemoplossing op de structuur en stabiliteit van de bodem. Verder is kennis vereist over de rol die plantewortels en bodemorganismen spelen bij de vorming van de bodemstructuur. De kennis die binnen het subthema Bodemstructuurvorming wordt gegenereerd is van belang voor het instandhouden van een goede bodemstructuur van landbouwgronden. Enerzijds kan dit worden bereikt door het vermijden van handelingen die een ongunstig effect kunnen hebben op de bodemstructuur, anderzijds door het nemen van maatregelen gericht op een stimulering van de biologische bodemstructuurvorming en het verbeteren van de stabiliteit van de bodemstructuur.

Activiteit van wortels beschouwd op diverse schalen

Voor individuele wortels bestaan modellen die de opname en de afgifte van stoffen beschrijven als functie van bodemeigenschappen. De consequenties van deze modellen voor systemen van heterogeen verdeelde wortels kunnen worden berekend met behulp van een methode welke eerder werd toegepast in een analyse van gasdiffusie in gestructureerde gronden (Rappoldt, 1990). Als basis dient de afstand van een willekeurig gekozen punt tot de dichtstbijzijnde wortel. Uit de kansverdeling van deze afstand wordt een stelsel cilinders afgeleid. Dat stelsel heeft de eigenschap dat voor de afstand van een willekeurig punt tot de as van de cilinder waar het in ligt dezelfde verdeling geldt als voor de afstanden gemeten in het wortelstelsel. In formule: $P_j = \sum V_i P_{ij}$, hierin is P_j de kans om een afstand in klasse j te vinden, V_i de volumefractie van het cilindersysteem ingenomen door cilinders met een grootte in klasse i , en P_{ij} de kans dat een punt in een cilinder van klasse i een afstand heeft tot de as in klasse j . De wortels worden gesitueerd langs de assen van de cilinders. Het transportmodel wordt dan toegepast op alle cilinderklassen afzonderlijk, waarna een gewogen gemiddelde berekend wordt (met de V_i als gewichten). De fysische achtergrond van deze methode is gelegen in het feit dat afstandsverdelingen nauw gerelateerd zijn aan de oppervlakken rondom de wortels waardoor de transporten plaatsvinden. Er zijn o.a. berekeningen uitgevoerd aan gemeten en willekeurig verdeelde wortels. Deze studie is onderdeel van een in het najaar van 1991 te verschijnen proefschrift van drs. C. Rappoldt.

In de vijftiger jaren formuleerden E.E. en R.D. Miller een schaaltheorie voor onverzadigde gronden. Deze theorie speelt momenteel een belangrijke rol in studies van ruimtelijke variabiliteit van bodemfysische eigenschappen en processen. Het blijkt dat de schaaltheorie ook nuttig is in beschouwingen over opname door wortels, zowel op de mesoschaal van individuele wortels als de macroschaal van wortelstelsels (zie voor details Raats, 1990a).

Een superklasse van gronden

De doorlatendheid van onverzadigde grond wordt vaak berekend uit de waterretentiekarakteristiek en bepaalde aannames betreffende de geometrie van het poriënsysteem. Het blijkt dat de uitgebreide literatuur op dit terrein kort en overzichtelijk kan worden samengevat. Door een nieuwe, zeer algemene empirische vergelijking voor de waterretentiekarakteristiek als uitgangspunt te gebruiken, kunnen verschillende bekende klassen van gronden gezien worden als subklassen van één en dezelfde superklasse (Raats, 1990b, 1991).

Meting van doorlatendheden van onverzadigde gronden met een 'constant head well-permeameter' of een 'disc-permeameter'

Bij metingen van de doorlatendheid van verzadigde en onverzadigde grond met behulp van een 'constant head well-permeameter' blijken bioporiën voor welhaast onoverkomelijke complicaties te zorgen. De problemen met de interpretatie van de meetresultaten waren mede aanleiding om de theoretische achtergronden te bestuderen (Heinen en Raats, 1990). De 'disc-permeameter' is meer geschikt voor metingen van de doorlatendheid van gronden met scheuren of bioporiën. Bij dit apparaat is de druk van het infiltrerende water iets lager dan atmosferisch, met

het gevolg dat grote poriën uitgesloten worden van het infiltratieproces (Ietswaard, 1990). Ook voor de disc-permeameter worden de theoretische achtergronden nader bestudeerd.

Bodemfysische transportprocessen in een bodembioologische context

In het kader van het thema 'Trofische interacties in de bodem' is aandacht besteed aan het bestuderen van bodemfysische transportprocessen en toestanden op de veldschaal. Het doel hiervan is tweeledig. Enerzijds bepalen de bodemfysische toestanden het milieu waarin het bodemleven zich afspeelt. Anderzijds heeft met name de stroming van water een grote invloed op het transport van nutriënten, zowel naar de plant als naar het grondwater (De Vos, 1990a).

In de veldproef van dit project werd op de Lovinkhoeve te Marknesse (Van Ouwerkerk en Koning, 1989) de bodemfysische toestand gevolgd door het uitvoeren van periodieke metingen van drukhoogte van het bodemvocht, grondwaterstand en bodemtemperatuur. Aangezien in drogere perioden de vochttoestand van de bodem niet door een meting van de drukhoogte met behulp van tensiometers gemeten kan worden, werd Time Domain Reflectometry (TDR) als indirecte meetmethode voor de bepaling van het volumetrisch watergehalte van de bodem geïntroduceerd. De TDR-methode is operationeel voor het verrichten van handmatige metingen (De Vos, 1990b). De ontwikkeling van een geautomatiseerde TDR-opstelling is in volle gang.

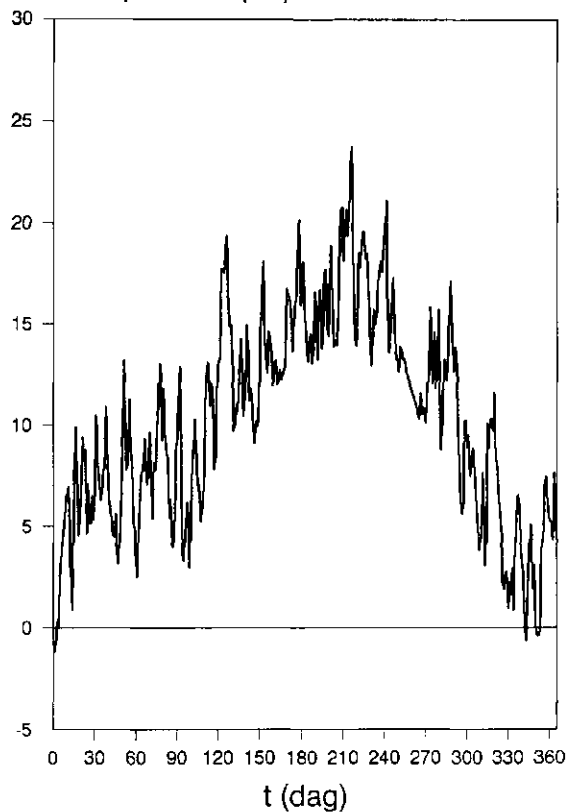
Het weer bepaalt in belangrijke mate de processen in de bodem. Daarom worden op de Lovinkhoeve te Marknesse door KNMI en het IB-DLO meteorologische grootheden gemeten met behulp van een geautomatiseerd weerstation. Het KNMI-station is sinds 1 januari 1990 operationeel, en meet windrichting, windsnelheid, luchttemperatuur (figuur 13), relatieve luchtvochtigheid, neerslag en bodemtemperaturen. Het IB-station meet bovendien globale straling, netto-straling, bodemwarmtestroom, drukhoogten van het bodemwater en grondwaterstand. De meteorologische gegevens zullen onder andere gebruikt worden in een waterbalansmodel.

Het waterbalansmodel SWATRE is gebruikt voor de berekening van de waterbalans van de onverzadigde zone van akkers van het project ter bestudering van trofische interacties (De Vos et al., 1991). Hierbij is gebruik gemaakt van de hydraulische eigenschappen, die door het voormalige Stiboka bepaald zijn (figuur 14, zie pag. 43). Met behulp van analytische beschrijvingen van deze eigenschappen zijn de eerste voorlopige resultaten verkregen (figuur 15). De waterbalans wordt kwalitatief goed beschreven; een gevoeligheidsanalyse is echter wenselijk alvorens gedegen kwantitatieve uitspraken gedaan kunnen worden.

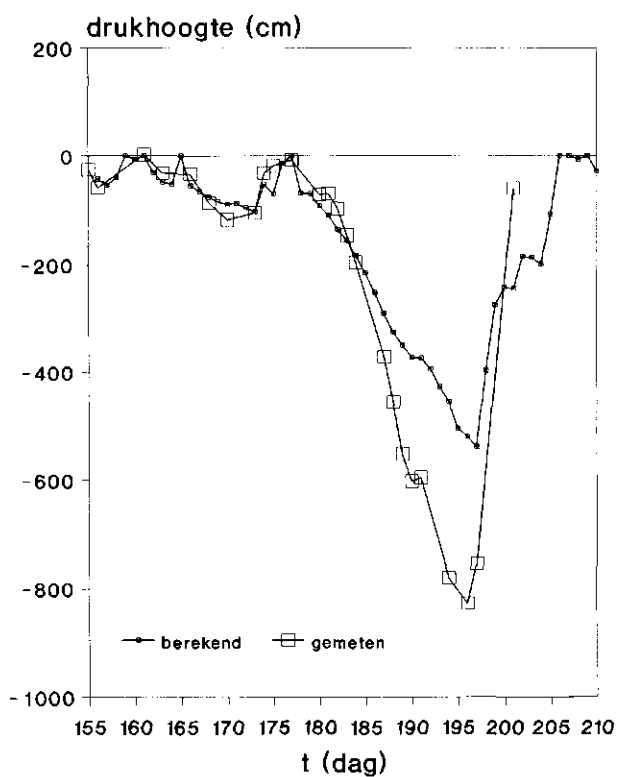
Het transport van opgeloste stoffen wordt sterk gedomineerd door het convectief transport met het bodemwater. Voor een 1-dimensionale stroming kan puur convectief transport van water en opgeloste stoffen weergegeven worden in de vorm van tijd-diepte curven (De Vos, 1991). Een voorbeeld hiervan is gegeven in figuur 16.

Het bodemfysisch laboratorium heeft de beschikking over apparatuur om in het gehele drukhoogtetraject de waterretentiekaracteristiek te kunnen bepalen. Hiervoor zijn nieuwe drukplaatextractoren en filtertrechters operationeel gemaakt. Bij de uitvoering van de metingen wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de nieuwe NNI-normen die voor dit type metingen zijn ontwikkeld.

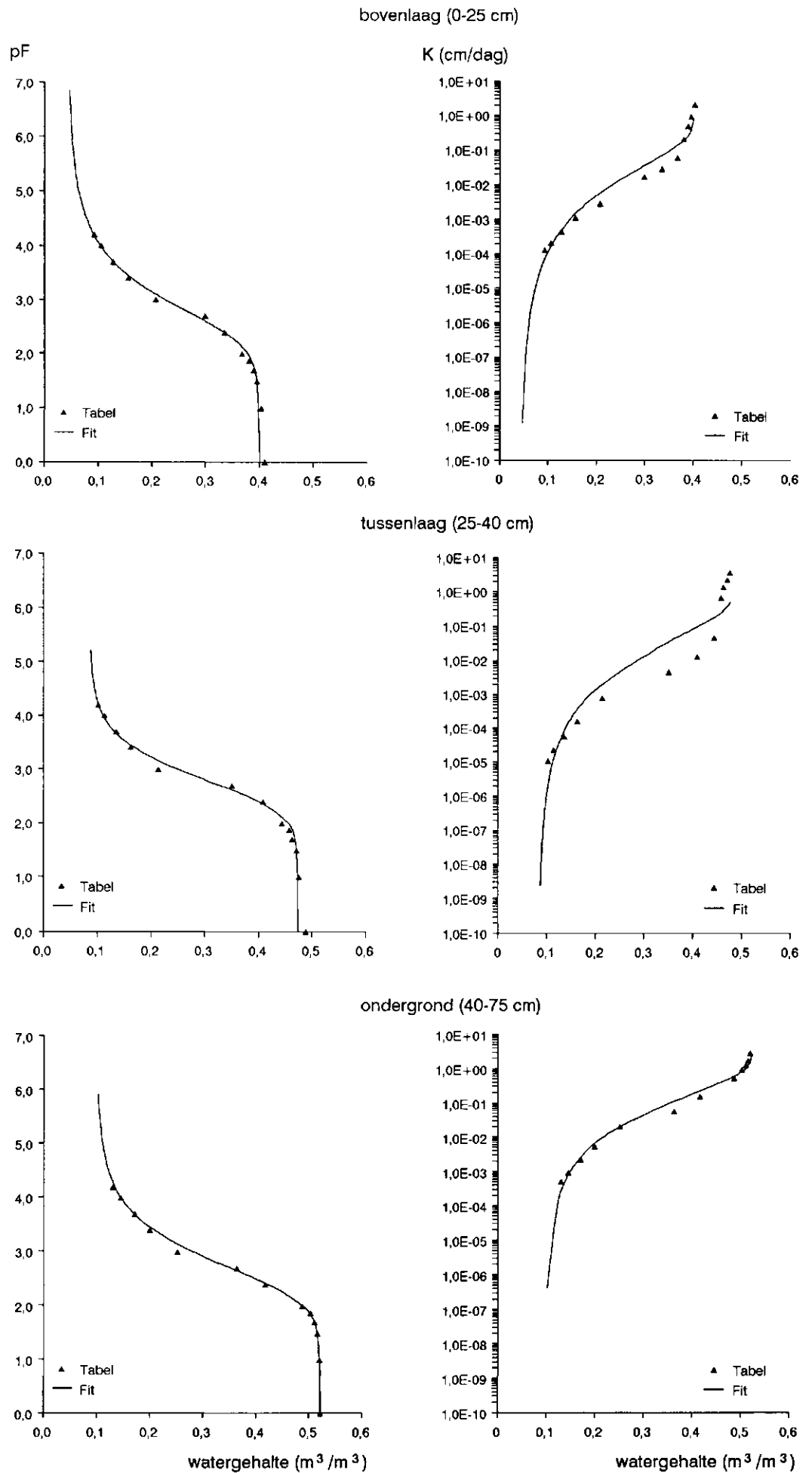
luchttemperatuur (°C)



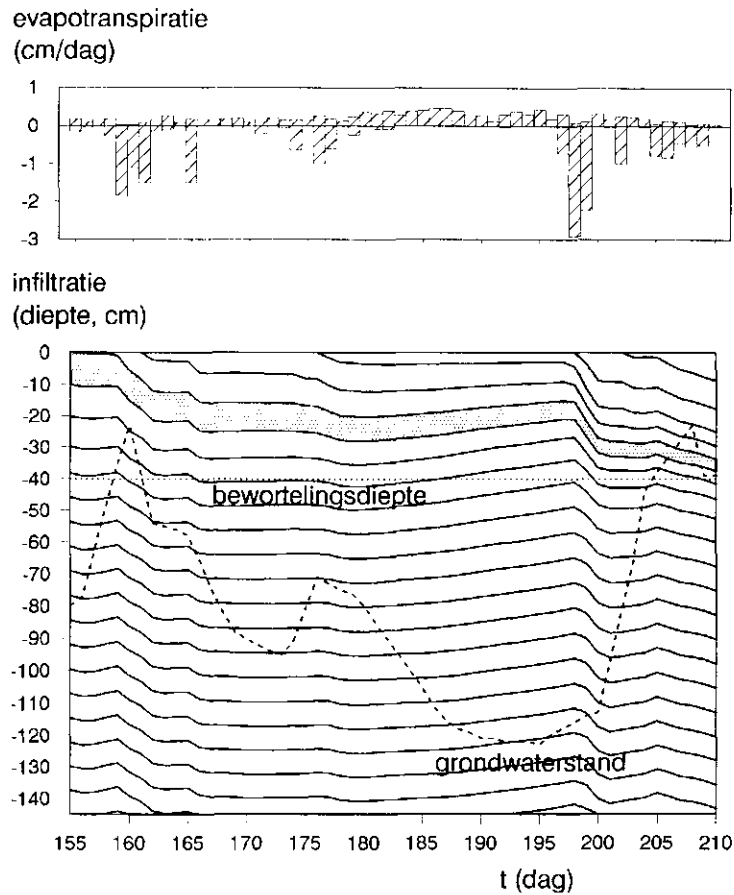
Figuur 13. Jaaroverzicht over 1990 van de etmaalgemiddelden van de luchttemperatuur gemeten op 1,5 m hoogte op het KNMI-weerstation Lovinkhoeve te Marknesse.



Figuur 15. Vergelijking van druk-hoogten gemeten met tensio-meters op akker 12B van de Lovinkhoeve in 1987 met berekende drukhoogten met behulp van het water-balansmodel SWATRE.



Figuur 14. De waterretentie- en waterdoorlatendheids- karakteristiek voor akker 12B van de Lovinkhoeve voor de bovenlaag (0-25 cm), de tussenlaag (25-40 cm) en de ondergrond (40-75 cm). Zowel de meetgegevens (Tabel) afkomstig van Stiboka, als de analytische beschrijving (Fit) met behulp van de functies van Van Genuchten en Mualem zijn weergegeven.



Figuur 16. Tijd-diepte curven voor de waterbalansberekeningen die ook in figuur 15 zijn weergegeven. In het bovenste gedeelte is de infiltratie aan het bodemoppervlak en evapotranspiratie aangegeven. Het gearceerde gedeelte tussen twee tijd-diepte curven geeft de verplaatsing van een pakketje water met opgeloste stoffen weer. De grondwaterstand komt rond dag 200 zo dicht bij het bodemoppervlak, dat de 1-dimensionale interpretatie met behulp van tijd-diepte curven onmogelijk wordt.

Toepassing van de mechanica van continua in de landbouwwetenschappen

De continuümmechanica houdt zich bezig met de bestudering van de vervorming en verplaatsing van als continua op te vatten media onder invloed van krachten. Als zodanig kan zij beschouwd worden als een specifieke benadering van bepaalde problemen op het gebied van de landbouwwetenschappen. In de continuümmechanica wordt veel aandacht besteed aan de samenhang tussen diverse theorieën. Zij geeft de beoefenaar een samenhangende kijk op een breed scala van problemen en een raamwerk voor wiskundige formulering van nieuwe problemen.

De continuümmechanica omvat:

- de beschrijving van beweging en van vervorming van materialen;
- de formulering van balansen van massa, momentum (krachten), energie, en entropie, waarbij aandacht besteed wordt aan zowel integraalvergelijkingen als daaruit afgeleide differentiaalvergelijkingen en randvoorwaarden;
- de (wiskundige) definities van specifieke materialen (vloeistoffen, elastische materialen, plastische materialen en granulaire materialen), waarbij van al deze materialen verschillende versies beschouwd kunnen worden, zowel lineaire als niet-lineaire;
- het oplossen van specifieke (randvoorwaarde-)problemen.

De continuümmechanica is ontwikkeld voor zowel enkelvoudige materialen als voor mengsels van materialen. Voor het landbouwkundig onderzoek in het algemeen, en voor de bodemkunde in het bijzonder, zijn mengsels van materialen van minstens even groot belang als enkelvoudige materialen.

Tot nu toe hebben toepassingen van de continuümmechanica in de landbouwwetenschappen een ietwat incidenteel karakter. De aanstelling van prof.dr.ir. P.A.C. Raats, als deeltijd-hoogleraar voor rekening van DLO, bij de Vakgroep Wiskunde van de Landbouwuniversiteit te Wageningen beoogt hierin verandering te brengen. Wageningen is een van de beste plaatsen ter wereld voor het in kaart brengen en het verder ontwikkelen van de mogelijkheden. Hierbij zal aanvankelijk

de nadruk liggen op toepassingen in de bodemkunde. Op den duur zou echter ook enige aandacht besteed kunnen worden aan toepassingen in andere vakgebieden.

Toepassingsmogelijkheden van de continuümmechanica in de bodemkunde

De continuümmechanica is een vruchtbare bron van inspiratie voor de behandeling van allerlei complicaties van transportverschijnselen in gronden:

- transport van water in zwellende en krimpende gronden;
- simultaan transport van water en warmte: verdamping en condensatie nabij het grondoppervlak, behandeling van grond met stoom, bevriezen/ontdooien van grond;
- transport van water en opgeloste stoffen in gestructureerde gronden: in sommige gevallen benadering op basis van analogie met visco-elasticiteit en in andere gevallen op basis van de kinematische golfvergelijking;
- instabiliteit van bevochtigingsfronten onder uiteenlopende omstandigheden: initiatie en groei van instabiliteiten;
- analyse van dichtheidsstromingen bij lokale verontreinigingen en bij lokale toediening van meststoffen op basis van analogieën met problemen in de mechanica van vloeistoffen.

In de grensgebieden tussen de bodemnatuurkunde en bodemscheikunde en tussen de geohydrologie en de geochemie is het nuttig 'pakketjes' water te volgen in de ruimte en de tijd. De bewegingsleer van *continua* is daarbij een waardevolle leidraad. Dit biedt perspectieven voor het leveren van bijdragen aan het inzicht in verspreiding van contaminanten in het natuurlijke milieu.

De continuümmechanica kan ook een goed hulpmiddel zijn bij het onderwijs en het onderzoek omtrent de vaste fase van de grond:

- het zwellen en krimpen van grond;
- de vorming van glijvlakken en scheuren in grond;
- de vervorming en de verdichting of het losmaken bij het berijden of het bewerken van grond;
- de penetratie van wortels en bodemdieren in grond;
- de erosie door water en wind.

Toepassingsmogelijkheden van de continuümmechanica in andere landbouw-wetenschappen

De volgende onderwerpen zijn van belang:

- de aërodynamica, een onderdeel van de mechanica van vloeistoffen, is de basis voor de agroklimatologie;
- de sterkteleer van materialen en de mechanica van granulaire materialen vinden toepassingen in de agrotechniek en -fysica;
- de kinematica en dynamica van groei van weefsels is mogelijk onderwerp van studie bij teeltkundige vakgroepen; in de internationale literatuur kreeg de morfogenese van weefsels van planten en dieren recent veel aandacht, met name ook voor ondergrondse delen van planten (wortels, stengels van kiemplanten, etc.) en voor bodemdieren; bij penetratie van biota in grond zijn niet alleen de mechanische eigenschappen van de grond, maar ook die van de biota van belang;
- mechanische eigenschappen van produkten van land- en tuinbouw zijn van belang in de voedingsleer en in de levensmiddelentechnologie.

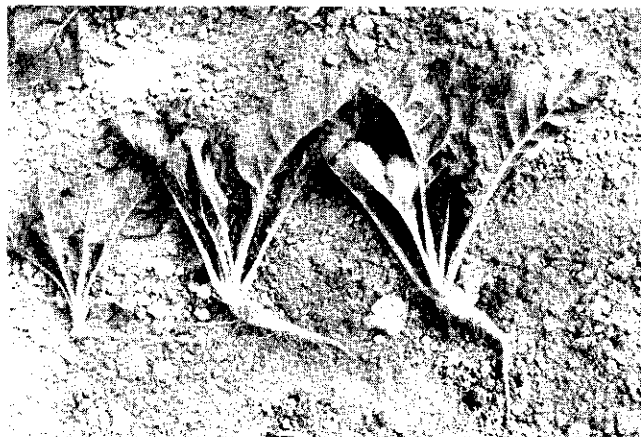
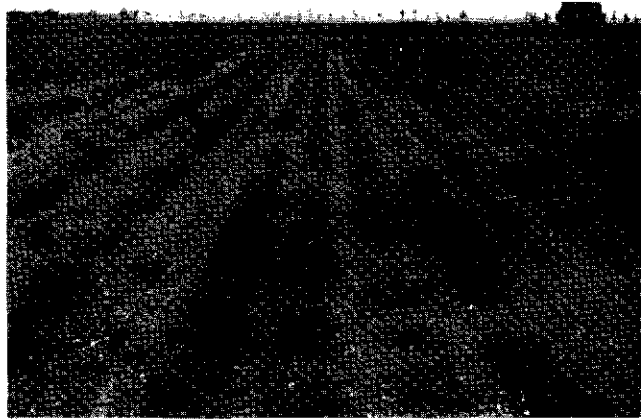
Invloed van het lage-druk berijdingssysteem op de structuur van de grond, de zaaibedkwaliteit en de beworteling van het gewas

Dit project vormde een onderdeel van een interinstitutioneel, door de Europese Gemeenschap gesubsidieerd onderzoek betreffende de samenhang tussen wiel-druk, bodemstructuur en gewasgroei. De leiding van dit onderzoek berustte bij ir. U.D. Perdok (IMAG-DLO). Een belangrijk deel van het onderzoek werd uitgevoerd op een veldproef met vier gewassen op het IMAG-DLO-proefbedrijf 'Oostwaardhoeve' te Slootdorp (Wieringermeer). Op dit proefveld werd het effect bestudeerd van het op praktijkschaal rijden met een normale, hoge bandenspanning en met gehalveerde, lage bandenspanning. Als referentie is zgn. beddenteelt ingelast, een

teeltmethode met stroken waarover niet gereden wordt. Het IB-onderzoek betreft drie onderwerpen (zie ook Van Ouwerkerk, 1989; Van Ouwerkerk, 1990):

- kwaliteit van het zaaibed;
- bewerkbaarheid en bodemstructuur;
- beworteling van de grond door het gewas.

Figuur 17 toont effecten van bewerken en berijden van grond op groei van suikerbieten.



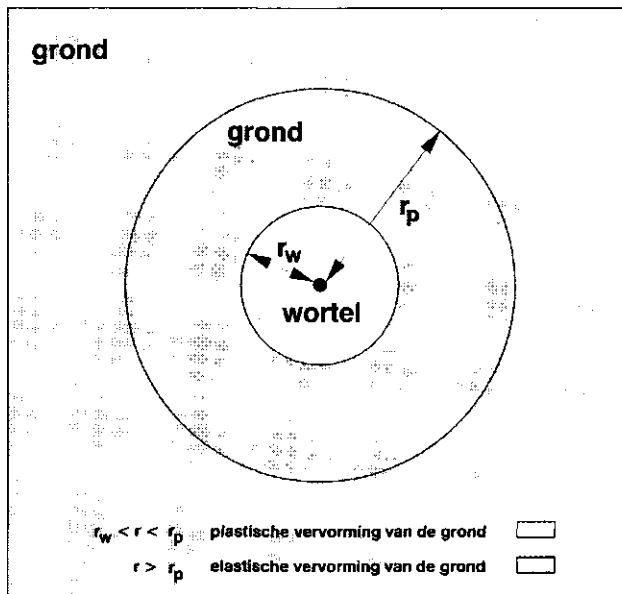
Figuur 17. Onvoldoende opkomst en misvormde suikerbieten door een verdichte laag onder het zaaibed.

Penetratie van grond door wortels en bodemdieren

De mechanica van penetratie van grond door biota omvat drie aspecten:

- analyse van kinematica van groeiende wortels en van bewegende bodemdieren;
- analyse van krachten die perforerende wortels uitoefenen op de omringende grond;
- analyse van krachten en vervormingen in de grond rondom perforerende wortels en bodemdieren, o.a. in afhankelijkheid van de aard, de volumedichtheid, en het watergehalte van de grond.

Er is een begin gemaakt met het formuleren van een kinematische beschrijving van groeiende wortels en bewegende bodemdieren. De klassieke beschouwingen over kinematica van continue media, zowel in termen van ruimtelijke als materiaalcoördinaten, worden uitgebreid, zodat niet alleen de vervorming maar ook de groei wordt beschreven. Bij de uitwerking van concrete voorbeelden wordt o.a. gebruik gemaakt van rigide coördinaten met oorsprong op een morfologisch beschouwd vaste plaats. Bestaande beschrijvingen van de krachten die perforerende wortels en bewegende bodemdieren uitoefenen op de omringende grond worden geëvalueerd. Een nieuw aspect hierbij is dat beschrijvingen van cilinder- en bolvormige vervormingen onder een noemer gebracht worden (figuur 18).



Figuur 18. Modelleren van penetratie van grond door wortels.

Mechanica van winderosie gericht op het voorkomen van schade aan gewassen, degradatie van de bodem, en overlast in de omgeving

Erosie door water en wind, in Nederland zo nu en dan lokaal van belang (figuur 19), is internationaal gezien nog steeds een gigantisch probleem, met name in een groot aantal ontwikkelingslanden. Erosieprocessen moeten steeds worden gezien in samenhang met de waterhuishouding. Zo vormen korsten een sterke belemmering voor de infiltratie van water en zijn daarmee veelal van overwegend belang bij erosie door water. Erosie door wind daarentegen hangt nauw samen met sterke verdamping van water vanuit de bovenste paar millimeters van de grond. Op basis van inzicht in erosieprocessen kan meer gericht worden gezocht naar preventieve maatregelen.

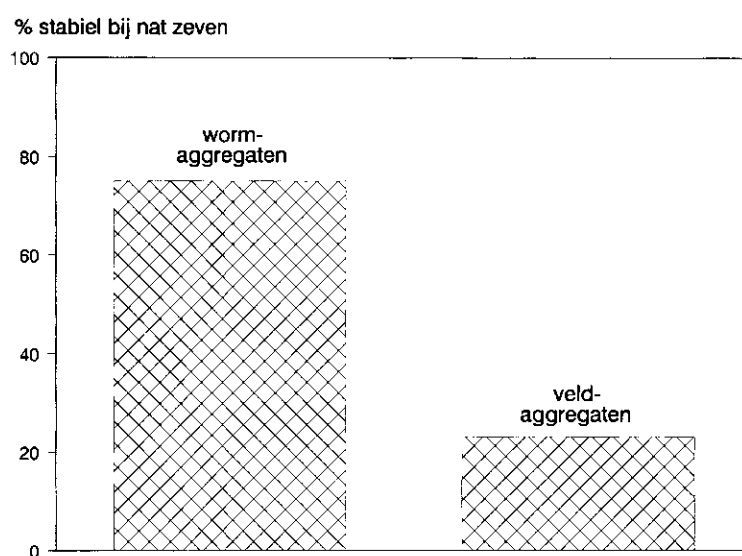
Het IB-DLO beschikt over een windtunnel voor winderosieonderzoek. In de afgelopen jaren werd de IB-windtunnel gebruikt voor twee doelen: 1) onderzoek naar erosiebestrijding met vegetatie, mulches en kittende middelen, 2) testen en ijken van veldinstrumenten voor de bepaling van hoeveelheden bodemdeeltjes die bij winderosie worden vervoerd. De ijkingen van zandvangsters werden o.a. uitgevoerd door onderzoekers van de LUW Vakgroep Tropische Cultuurtechniek in het kader van een onderzoek op een zandplaat op Schiermonnikoog (Van Dijk en Hollemans, 1991). Vanuit dezelfde Vakgroep werd een AIO-project geïnitieerd getiteld 'Evaluation of wind erosion control measures by measurement of saltation transport and development of models for conservation planning in the Sahel'. Het project wordt uitgevoerd in samenwerking met het ICRISAT Sahelian Centre in Niamey, Niger, het Cropping Systems Research Laboratory van USDA-ARS in Big Spring, Texas, USA, het Soil Technology Institute te Bremen, Duitsland, en het IB-DLO te Haren.

Microbiologische aspecten van de invloed van de associatie van regenwormen en micro-organismen op ontwikkeling en stabiliteit van bodemaggregaten

In samenwerking met de LUW Vakgroep Bodemkunde en Geologie wordt onderzocht in hoeverre regenwormen en met name de microflora (bacteriën en schimmels) van de regenwormdarm bijdragen aan de ontwikkeling en stabiliteit van bodemstructurelementen. De bijdrage van de IB-Bodembiologiegroep in Wageningen bestaat uit de analyse van de microflora van regenwormdarmen, uitwerpselen en gevormde structurelementen, om zodoende een basis te leggen voor mogelijke manipulatie van de microflora-associatie met regenwormen. Figuur 20 toont het verschil in stabiliteit van 'worm'- en 'veld'aggregaten.



Figuur 19. Winderosie in de Veenkoloniën.



Figuur 20. Vergelijking van stabiliteit van 'worm'- en 'veld'-aggregaten.

Literatuur

- Dijk, P.M. van and W.A. Hollemans, 1991. The calibration of wind erosion measuring devices by means of wind tunnel research. Wageningen Agricultural University (in preparation).
- Heinen, M. and P.A.C. Raats, 1990. Evaluation of two models describing the steady discharge from a constant head well permeameter into unsaturated soil. *Soil Sci.* 150: 401-412.
- Ietswaart, H., 1990. Bepalen van bodemparameters met een disc-permeameter. Van Hall Instituut Groningen, Rapport 1990/L 4A 13, 34 pp. + bijlagen.
- Ouwerkerk, C. van, 1989. Experiences with reduced tillage in the Netherlands. In: K. Baumer and W. Ehlers (eds.), *Energy saving by reduced soil tillage*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 41-54.
- Ouwerkerk, C. van, 1990. Soil structure and mechanical resistance directly below the seedbed of cereals and root crops in three field experiments in the Netherlands. *Proc. 14th Int. Congr. Soil Sci.*, Vol. VI, pp. 80-85.
- Ouwerkerk, C. van en J. Koning, 1989. IB 0029 - Vergelijking van gangbare en geïntegreerde akkerbouw; algemene proefveldgegevens voor oogstjaar 1988. *Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 209*, 19 pp., 5 bijl.
- Raats, P.A.C., 1990a. Characteristic lengths and times associated with processes in the root zone. In: D. Hillel and D.E. Elrick (eds.), *Scaling in soil physics: principles and applications*, Chapter 6. Soil Science Society of America, Madison, pp. 59-72.

Raats, P.A.C., 1990b. On the roles of characteristic lengths and times in soil physical processes. Proc. 14th Int. Congr. Soil Sci., Vol I, pp. 202-207.

Raats, P.A.C., 1991. A superclass of soils. Proc. Intern. Workshop on 'Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils' held in October 1989 at Riverside, Calif., USA (in press).

Rappoldt, C., 1990. The application of diffusion models to an aggregated soil. Soil Sci. 150: 645-661.

Vos, J.A. de, 1990a. Waterbalans van de onverzadigde zone van de bodem in relatie tot bodemwaterkwaliteit. In: 8e Studiebijeenkomst van de Commissie Hydrologisch Onderzoek TNO CHO, Rapport/Nota 23, pp. 125-126.

Vos, J.A. de, 1990b. Watergehaltemetingen met behulp van Time Domain Reflectometry. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 231, 43 pp.

Vos, J.A. de, 1991. A program for calculating time-depth curves from daily waterbalance data. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 239, 90 pp.

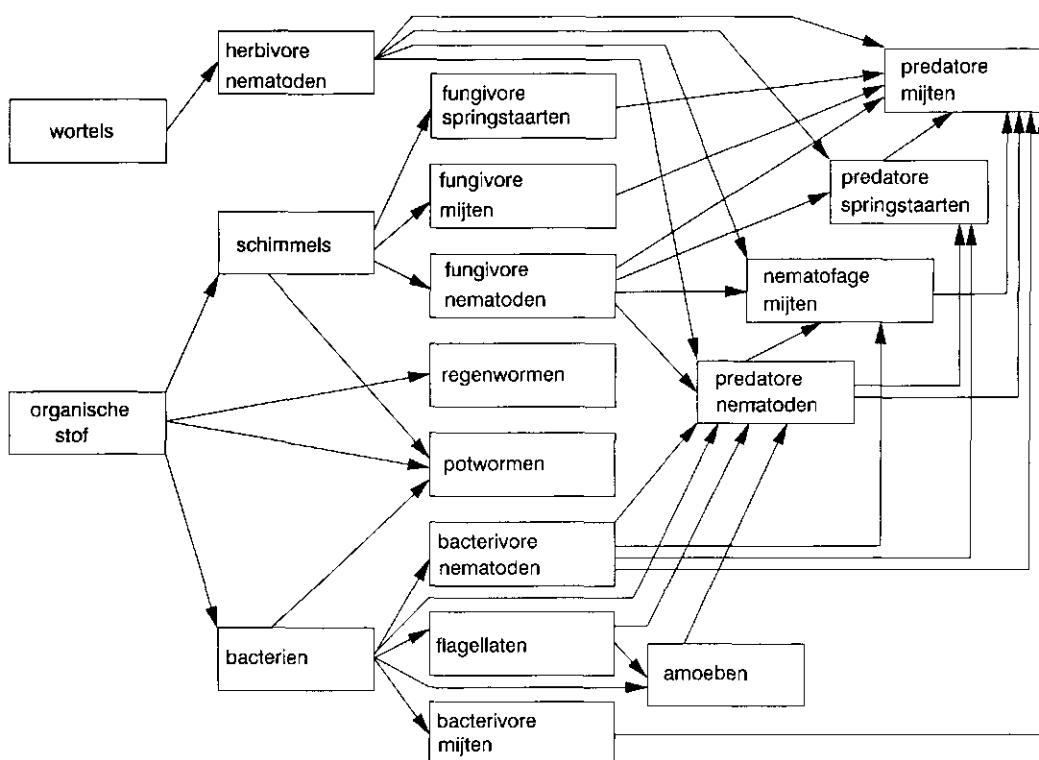
Vos, J.A. de, M.S. Inckel and P.A.C. Raats, 1991. The water balance of the unsaturated zone, considered within the context of sustainable agriculture. Proc. Int. Workshop on 'Indirect methods for estimating the hydraulic properties of unsaturated soils' held in October 1989 at Riverside, California, USA (in press).

9. Trofische interacties in de bodem

Doel van het onderzoek dat in het kader van het onderzoekthema Trofische interacties in de bodem wordt uitgevoerd, is het verkrijgen van kennis over ecologische processen die fluxen van energie en nutriënten in de bodem bepalen, teneinde voorspellingen te kunnen doen over de snelheid waarmee nutriënten voor het gewas beschikbaar komen en over de effecten van (milieuvreemde en verontreinigende) stoffen en grondgebruik op deze ecologische processen.

Centraal in het onderzoeksprogramma staat de vergelijking tussen geïntegreerde en gangbare akkerbouw. Geïntegreerd kenmerkt zich ten opzichte van gangbaar door (1) relatief veel mest in organische vorm, (2) minder intensieve grondbewerking en (3) verminderd gebruik van bestrijdingsmiddelen. Op de IB-DLO proefboerderij Dr. H.J. Lovinkhoeve in Marknesse worden deze twee bedrijfsystemen in praktijk gebracht. Op beide systemen is sprake van een vierjarige rotatie: wintertarwe - suikerbieten - zomergerst - aardappelen.

Bij geïntegreerde bedrijfsvoering neemt het belang van de biologische processen in de bodem toe. Door het gebruik van relatief veel organische mest zal de levering van nutriënten aan het gewas in belangrijke mate via biologische routes moeten geschieden. De basis van deze routes wordt gevormd door de trofische interacties in de bodem: die tussen een voedselbron en een consument. Trofische interacties waarbij schadeverwekkende organismen een rol spelen zijn bovendien interessant voor biologische bestrijding van plagen als alternatief voor bestrijdingsmiddelen. De populatiedynamiek van de verschillende groepen van bodemorganismen werd bestudeerd aan de hand van bemonsteringsprogramma's op de Lovinkhoeve. De trofische interacties tussen de groepen van organismen werden afzonderlijk onderzocht in het laboratorium. Om tot samenhang tussen deze deelonderzoeken te komen werden deze trofische interacties samengebracht in een voedselweb-model dat de koolstof- en stikstofkringloop beschrijft in termen van 'pools' (biomassa van de verschillende groepen van organismen) en 'flows' (energie- en nutriëntenstromen tussen de groepen van organismen) (figuur 21). Met behulp van dit model kon een schatting worden gemaakt van de bijdrage van de groepen van bodem-organismen aan de stikstofmineralisatie.



Figuur 21. Diagram van het Lovinkhoeve-voedselweb.

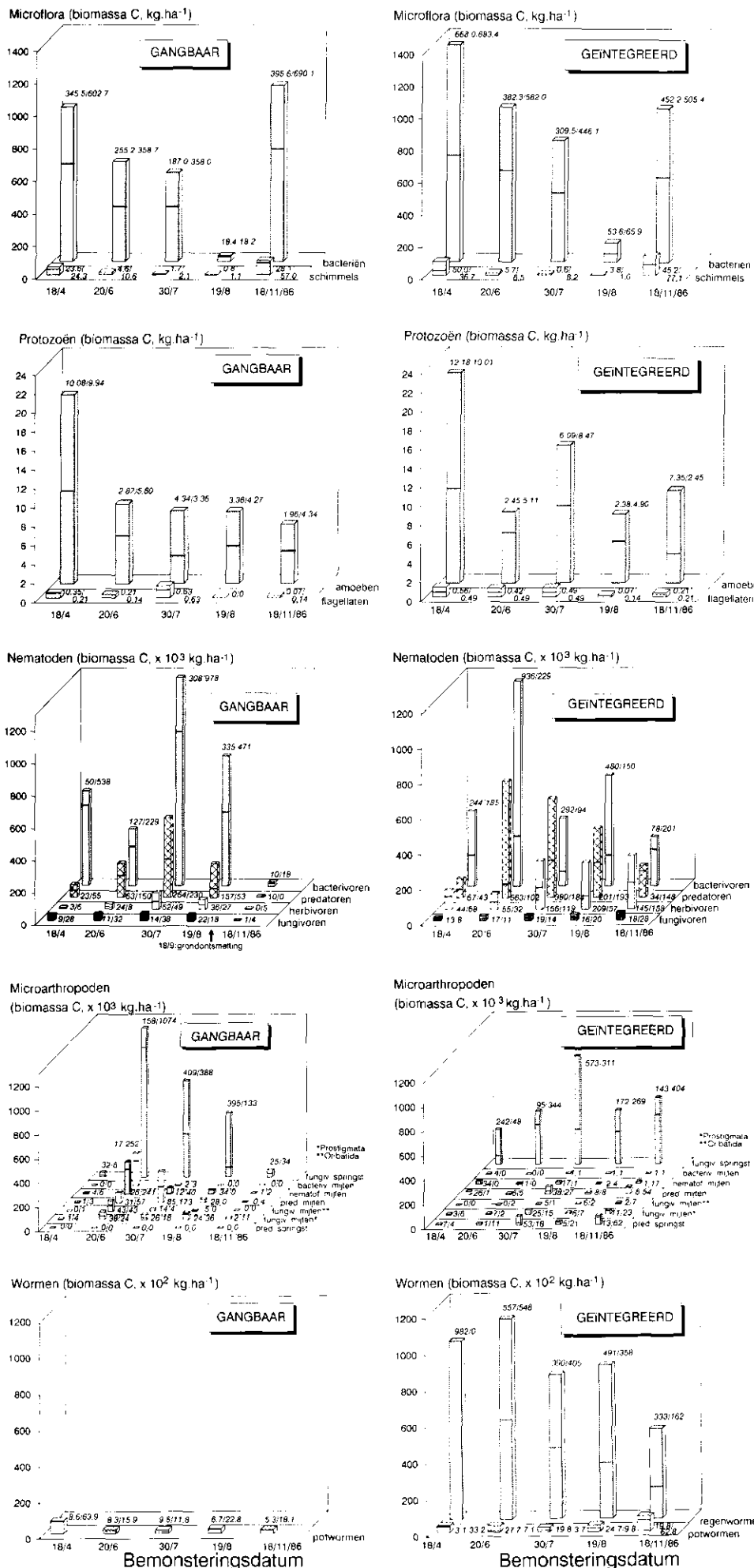
Het voedselweb bestond uit de taxonomische eenheden: bacteriën, schimmels, protozoën, nematoden, mijten, springstaarten, potwormen en regenwormen. De gegevens over potwormen en regenwormen waren afkomstig van ir. J.C.Y. Marinissen en dr. ir. W.A.M. Didden (Landbouwwuniversiteit, Vakgroep Bodemkunde en Geologie). Binnen de taxonomische eenheden werd onderscheid gemaakt tussen functionele groepen op basis van voedselkeuze en levensgeschiedenissenmerken (figuur 21).

Populatiedynamiek van de verschillende functionele groepen van bodemorganismen in wintertarwe bij gangbare en geïntegreerde bedrijfsvoering

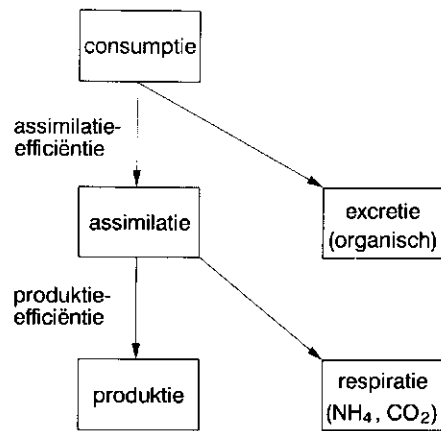
Het veldwerk dat op gezette tijden gedurende het seizoen wordt uitgevoerd omvat de verzameling van de biomassagegevens van de in het voedselweb gespecificeerde functionele groepen van organismen. De hoeveelheden biomassa-C in de functionele groepen op de vijf monsterdata in 1986 (wintertarwe) zijn weergegeven in figuur 22 (gangbaar en geïntegreerd en de lagen 0-10 en 10-25 cm afzonderlijk). De totale biomassa van de bodemorganismen was gemiddeld 690 kg C per ha op gangbaar en 900 kg C per ha op geïntegreerd gedurende het groeiseizoen. Hiervan namen bacteriën meer dan 90% voor hun rekening, schimmels ongeveer 5%, protozoa en regenwormen beide 1.5%, de rest minder (figuur 22A). De biomassa van bacteriën en schimmels was groter op geïntegreerd dan op gangbaar (figuur 22A), hetgeen waarschijnlijk verband houdt met het - tengevolge van de voorgeschiedenis in het perceel - hogere organische-stofgehalte op geïntegreerd. De vierde monsterdatum (19 augustus) viel samen met de oogst van de wintertarwe, aan het eind van een droge zomerperiode die midden juni had ingezet. De droogte leidde tot zeer lage vochtgehalten in de bovengrond van gangbaar en geïntegreerd en had waarschijnlijk de lage microbiële biomassa op 19 augustus tot gevolg. De biomassa van amoeben was in alle gevallen hoger dan die van flagellaten (figuur 22B). De nematodenfauna werd vooral gedomineerd door bacterivoren en predatoren, maar op geïntegreerd waren plantparasitaire nematoden bijna zo talrijk als predatoren (figuur 22C). De bacterivoren en de fungivoren (schimmeleeters) waren op geïntegreerd niet verschillend in biomassa van gangbaar. Plantparasitaire en predatore nematoden waren echter gedurende het gehele seizoen talrijker op geïntegreerd dan op gangbaar. De grondontsmetting in het najaar roeide de nematodenfauna vrijwel geheel uit. De microarthropoden werden gedomineerd door de schimmeletende springstaarten (figuur 22D). Het heeft er alle schijn van dat de grondontsmetting op gangbaar in de herfst neveneffecten heeft gehad op de microarthropoden (figuur 22D). Potwormen waren in beide systemen in ongeveer gelijke mate vertegenwoordigd, waarbij de biomassa in gangbaar meer was geconcentreerd in de onderlaag, in geïntegreerd meer in de bovenlaag (figuur 22E). Op gangbaar leek ook deze groep te lijden onder de grondontsmetting. Regenwormen werden uitsluitend aangetroffen in de geïntegreerde akker (figuur 22E). De oorzaak hiervan is waarschijnlijk de regelmatige toediening van stalmest op de geïntegreerde akker. De gangbare akker is nooit organisch bemest geweest, ook niet in het verleden. Voor een groot aantal groepen van organismen (microben, bacterivore nematoden, fungivore nematoden, nematofage mijten) zien we dat hun biomassa eenzelfde ruimtelijke heterogeniteit vertoont: op geïntegreerd een relatief hoge biomassa in de bovenlaag (0-10 cm), terwijl op gangbaar geen duidelijke verschillen tussen bovenlaag en onderlaag bestonden.

Simulatie van de stikstofmineralisatie in wintertarwe bij gangbare en geïntegreerde bedrijfsvoering

Op basis van de populatiedynamiek van de functionele groepen van organismen werd met behulp van een simulatiemodel de snelheid geschat waarmee stikstof werd gemineraliseerd. Volgens een schema van Hunt et al. (1987) kan mineralisatie van stikstof en koolstof worden afgeleid van consumptiesnelheden (figuur 23).



Figuur 22. Biomassa-C van functionele groepen bodemorganismen onder wintertarwe in 1986 bij gangbare of geïntegreerde bedrijfsvoering. De cijfers bij de staven geven de biomassa-C weer in de laag 0-10 cm (bovenste deel van de staven) en 10-25 cm (onderste deel van de staven).



Figuur 23. Relatie tussen consumptie, productie en stikstofmineralisatie.

De consumptiesnelheid kan worden gesplitst in een snelheid waarmee energie door de consument wordt geassimileerd en een snelheid waarmee energie in organische vorm aan het milieu wordt teruggegeven. De assimilatiesnelheid kan worden gesplitst in een snelheid waarmee nieuwe biomassa wordt gevormd en een snelheid waarmee anorganische verbindingen (CO_2 , NH_4^+) aan het milieu worden afgegeven. De relatie tussen stikstofmineralisatie en consumptiesnelheid is dan:

$$N_m = e_{ass} \left(\frac{1}{r_{prey}} - \frac{e_{prod}}{r_{pred}} \right) F$$

Hier is N_m de stikstofmineralisatie (kg N per ha per jaar), F de consumptie-snelheid (kg C per ha per jaar), e_{ass} de assimilatie-efficiëntie, e_{prod} de productie-efficiëntie, r_{prey} de C:N-ratio van de voedselbron en r_{pred} de C:N-ratio van de consument. De gemiddelde consumptiesnelheden over een jaar werden berekend op basis van de aanname dat de consumptiesnelheid precies voldoende is om de verliezen als gevolg van natuurlijke sterfte en predatie te compenseren met de productie van nieuwe biomassa (Hunt et al., 1987):

$$F = \frac{D_{nat} B + P}{e_{ass} e_{prod}}$$

Hier is D_{nat} de natuurlijke sterftesnelheid (per jaar), B de biomassa (kg C per ha) en P de predatiesnelheid (kg C per ha per jaar).

Populatie dynamiek werd geïncorporeerd in het model door de snelheid waarmee de biomassa tussen opeenvolgende monsterdata toenam/afnam op te tellen bij de verliezen (O'Neill, 1969):

$$F = \frac{D_{nat} B + dB/dt}{e_{ass} e_{prod}}$$

Voor predatoren die meerdere prooitypen eten was de consumptiesnelheid op prooitype i afhankelijk van de biomassa's van alle potentiële prooitypen ($B_{1..n}$) en de eventuele voorkeur van de predator voor de prooitypen (W_i) (O'Neill, 1969):

$$F_i = \frac{w_i B_i}{\sum w_i B_i} F$$

De berekeningen begonnen bij de top-predator, omdat voor deze groep alleen de natuurlijke sterfte nodig was. Vervolgens werd er 'teruggerekend' tot aan de primaire consumenten (bacteriën, schimmels, herbivore nematoden). De temperatuurf fluctuaties tijdens het groeiseizoen werden gerelateerd aan de natuurlijke sterftesnelheden met behulp van een $Q_{10} = 2.5$.

De biologische parameter-waarden (C/N-ratio's, assimilatie-efficiënties, specifieke sterftesnelheden) werden in het laboratorium vastgesteld of op basis van literatuurverwijzingen gekozen, zoals deze zijn vermeld door Hunt et al. (1987), Andrén et al. (1990) en Hendrix et al. (1987).

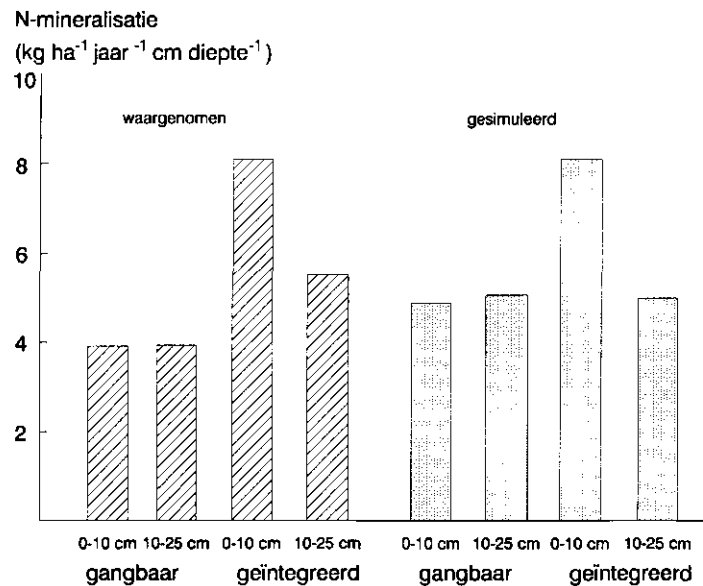
De bijdrage van iedere functionele groep aan de stikstofmineralisatie over de waarnemingsperiode werd per akker en voor twee dieptes (0-10 cm en 10-25 cm) uitgerekend (tabel 5). De gesimuleerde totale bijdrage werd vergeleken met de door middel van incubatieproeven waargenomen totale stikstofmineralisatie.

Tabel 5. Totale stikstofmineralisatie in de bodem en de bijdrage van de bodemfauna bij twee vormen van bedrijfsvoering (gb: gangbaar en gi: geïntegreerd) en op twee dieptes.

	Diepte 0-10 cm		Diepte 10-25 cm	
	gb	gi	gb	gi
<i>Microben</i>				
Bacteriën	31.95	52.96	52.39	51.80
Schimmels	2.93	4.53	4.86	5.02
<i>Protozoën</i>				
Amoeben	10.05	13.63	12.01	13.66
Flagellaten	0.59	0.82	0.51	0.83
<i>Nematoden</i>				
Herbivoren	0.06	0.36	0.04	0.21
Bacterivoren	2.25	6.03	4.33	2.08
Fungivoren	0.03	0.05	0.05	0.04
Predatoren	0.67	1.62	0.65	0.92
<i>Microarthropoden</i>				
Fungivore mijten	0.01	0.004	0.01	0.004
Bacterivore mijten	0.004	0.001	0.05	0.0005
Predatore mijten	0.02	0.01	0.03	0.01
Nematofe mijten	0.02	0.01	0.06	0.004
Predatore collembola	-	0.01	-	0.02
Saprophage collembola	0.08	0.08	0.13	0.10
<i>Oligochaetae</i>				
Potwormen	0.19	0.45	1.12	0.56
Regenwormen	-	0.29	-	0.16
Totaal gesimuleerd	49	81	76	75
Totaal waargenomen	39	81	59	83

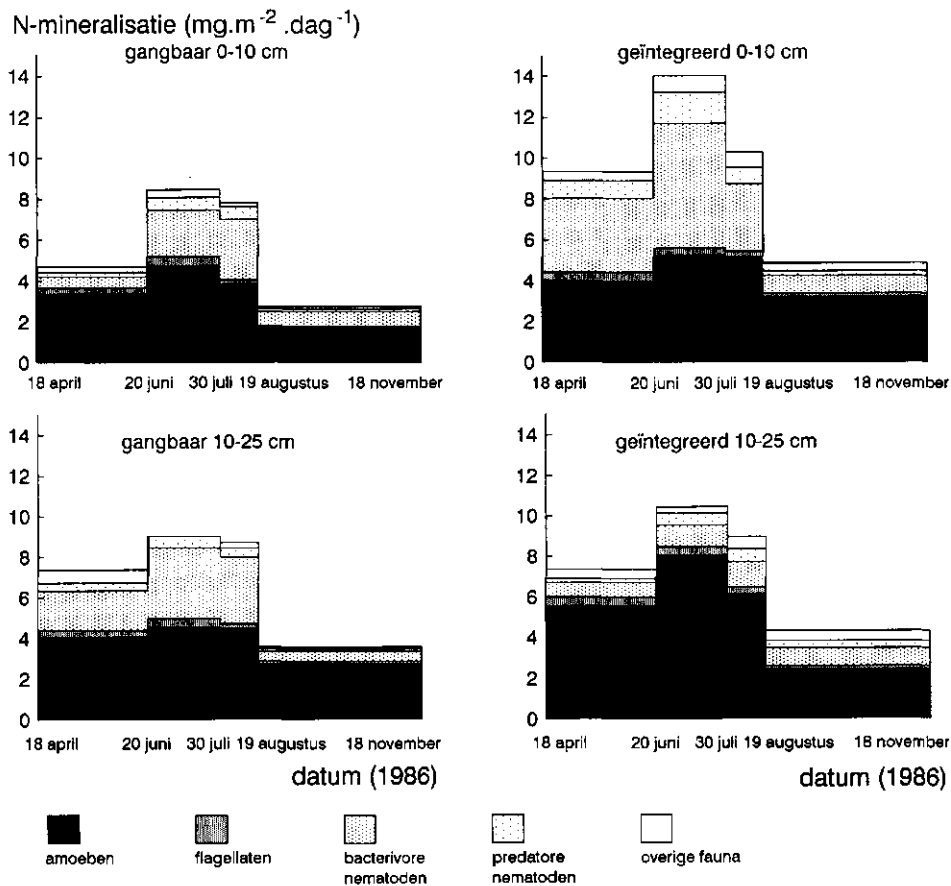
Microben namen    70% van de stikstofmineralisatie voor hun rekening, terwijl hun biomassa meer dan 90% bedroeg. Van de fauna leverden de protozoën en bacterivore nematoden de belangrijkste bijdrage aan de stikstofmineralisatie. Predatore nematoden, flagellaten, potwormen en regenwormen hadden een nog waarneembaar effect; de bijdrage van de overige groepen was verwaarloosbaar. Het model zou de bijdragen van met name de hogere trofische niveaus echter kunnen onderschatten, omdat eventuele stimulerende effecten van deze groepen van organismen op de activiteit van met name de micro-organismen (Coleman et al., 1978, 1983; Woods et al., 1982) niet in het model zijn opgenomen. De totale gesimuleerde stikstofmineralisatie wijkt niet veel af van de waargenomen stikstofmineralisatie. Ook de relatieve verschillen zoals die tussen bedrijfssystemen en

diepten werden waargenomen, werden teruggevonden in de gesimuleerde stikstofmineralisatiesnelheden (figuur 24).



Figuur 24. Vergelijking tussen de gesimuleerde en de waargenomen stikstofmineralisatie in de geïntegreerde en in de gangbare akker op twee dieptes: 0-10 cm en 10-25 cm.

Simulatie van de dynamiek in stikstofmineralisatie tijdens het groeiseizoen beperkt zich tot de fauna. Het voedselweb-model is niet adequaat om de dynamiek in stikstofmineralisatie als gevolg van afbraak van organische stof door microben te simuleren, omdat de samenstelling van het organisch materiaal tijdens het groeiseizoen sterk kan variëren (b.v. door rhizodepositie). Voor een dergelijke simulatie is een meer gedetailleerde beschrijving van organische-stofdynamiek noodzakelijk (b.v. Van Veen et al., 1984; Verberne et al., 1990). Stikstofmineralisatie (gesimuleerd) door de totale bodemfauna, en apart voor de belangrijkste functionele groepen, is weergegeven in figuur 25.



Figuur 25. Dynamiek van de bijdrage van de fauna aan de stikstofmineralisatie in de geïntegreerde en in de gangbare akker op twee dieptes: 0-10 cm en 10-15 cm.

Het blijkt dat de bijdrage van de nematoden door een relatief grote heterogeniteit in tijd en ruimte wordt gekenmerkt: tijdens het groeiseizoen neemt de stikstof-mineralisatie sterk toe in de bovenlaag van de geïntegreerde akker.

Discussie

De biomassagegevens en stikstofmineralisatie voor de in het voedselweb gespecificeerde functionele groepen konden worden gerelateerd aan de verschillen tussen de twee bedrijfssystemen:

1. Op geïntegreerd was het organische-stofgehalte hoger en werden meer gewasresten toegediend dan op gangbaar. De relatief hoge biomassa en stikstof-mineralisatie op geïntegreerd weerspiegelen deze verschillen.
2. Op geïntegreerd werden aanzienlijk minder biociden toegepast dan op gangbaar, met name door het achterwege laten van de grondontsmetting. Deze behandeling roeide op gangbaar nagenoeg alle nematoden uit en heeft mogelijk ook bijgedragen aan de sterke afname van microarthropoden op gangbaar tussen de voorlaatste en de laatste monsterdatum. Plantparasitaire nematoden hadden echter een lagere biomassa op gangbaar dan op geïntegreerd gedurende het gehele seizoen en niet slechts na grondontsmetting.
3. De relatief hoge stikstofmineralisatie, zowel waargenomen als gesimuleerd, (en biomassa van met name microben, bacterivore nematoden en nematofe mijten) in de laag 0-10 cm vergeleken met de laag 10-25 cm op geïntegreerd houdt waarschijnlijk verband met de ondiepe, niet-kerende grondbewerking op geïntegreerd, waardoor de gewasresten in de bovenlaag bleven. De afwezigheid van zo'n verschil op gangbaar houdt waarschijnlijk verband met de gelijkmatiger verdeling van gewasresten in de bovenste 25 cm door ploegen. Dat deze ruimtelijke heterogeniteit mede wordt veroorzaakt door de relatief hoge activiteit van nematoden tijdens het groeiseizoen kan er op wijzen dat ook een ruimtelijke heterogeniteit in wortelontwikkeling aan dit verschijnsel ten grondslag ligt.

Literatuur

- Andrén, O., T. Lindberg, U. Boström, M. Clarholm, A.-C. Hansson, G. Johansson, J. Lagerlöf, K. Paustian, J. Persson, R. Pettersson, J. Schnürer, B. Sohlenius and M. Wivstad, 1990. In: O. Andrén, T. Lindberg, K. Paustian and T. Rosswall (eds.), Organic carbon and nitrogen flows. Ecology of arable land - organisms, carbon, and nitrogen-cycling. Ecol. Bull. 40: 85-125.
- Coleman, D.C., C.P.P. Reid and C.V. Cole, 1983. Biological strategies of nutrient cycling in soil ecosystems. Adv. Ecol. Res. 13: 1-55.
- Coleman, D.C., R.V. Anderson, C.V. Cole, E.T. Elliott, L. Woods and M.K. Campion, 1978. Trophic interactions in soils as they affect energy and nutrient dynamics. IV. Flows of metabolic and biomass carbon. Microb. Ecol. 4: 373-380.
- Hendrix, P.F., D.A. Crossley Jr, D.C. Coleman, R.W. Parmelee and M.H. Beare, 1987. Carbon dynamics in soil microbes and fauna in conventional and no-tillage agroecosystems. INTECOL Bulletin 15: 59-63.
- Hunt, H.W., D.C. Coleman, E.R. Ingham, R.E. Ingham, E.T. Elliott, J.C. Moore, S.L. Rose, C.P.P. Reid and C.R. Morley, 1987. The detrital food web in a shortgrass prairie. Biol. Fert. Soils 3: 57-68.
- O'Neill, R.V., 1969. Indirect estimation of energy fluxes in animal food webs. J. Theor. Biol. 22: 284-290.
- Veen, J.A. van, J.N. Ladd and M.J. Frissel, 1984. Modelling C and N turnover through the microbial biomass in soil. Plant and Soil 76: 257-274.
- Verberne, E.L.J., J. Hassink, P. de Willigen, J.J.R. Groot and J.A. van Veen, 1990. Modelling organic matter dynamics in different soils. Neth. J. Agric. Sci. 38: 221-238.
- Woods, L.E., C.V. Cole, E.T. Elliott, R.V. Anderson and D.C. Coleman, 1982. Nitrogen transformations in soil as affected by bacterial-microfaunal interactions. Soil Biol. Biochem. 14: 93-98.

10. Organische-stofdynamiek

Organische stof speelt een belangrijke rol in het opbouwen en onderhouden van de bodemvruchtbaarheid van minerale gronden. Dit verschijnsel is reeds lang bekend in de landbouw. De gronden waaraan van oudsher organisch materiaal werd toegediend, bijvoorbeeld in de vorm van dierlijke mest vermengd met heideplaggen (potstalmest), behoorden tot het begin van deze eeuw tot de meest produktieve gronden van de zandgebieden in het midden en oosten van Nederland.

Organische stof kan een gunstig effect hebben op de bodemstructuur en de stabiliteit van bodemaggregaten, en het vermogen van de bodem om water en nutriënten vast te leggen. Verder komen bij de biologische omzetting van organisch materiaal voedingsstoffen vrij (mineralisatie), die door het gewas kunnen worden opgenomen. Ook kunnen stoffen vrijkomen (organische complexvormers of chelaten) die de oplosbaarheid van andere stoffen, in het bijzonder micro-nutriënten of zware metalen, kunnen verhogen.

Een regelmatige toevoer van organisch materiaal is ook noodzakelijk voor het instandhouden van een goede biologische activiteit in de bodem. Veel bodem-organismen gebruiken organische stof als hun energiebron, terwijl andere organismen weer 'predateren' op de eerdergenoemde organismen; m.a.w. organische stof speelt een belangrijke rol in voedselketens in bodemecosystemen. In de moderne landbouw kunnen zich verschillende problemen voordoen met betrekking tot de toevoer van organisch materiaal naar de bodem. Enerzijds kan de toevoer te hoog zijn, zoals veelal gebeurd is op maïspcelen waarop dunne mest is toegediend, anderzijds kan de toevoer te laag zijn, zoals in akkerbouw-systemen met een groot aandeel van hakvruchten (aardappelen, suikerbieten) in de rotatie. Een te hoge toevoer van organisch materiaal kan nadelige gevolgen hebben voor de structuur en de waterdoorlatendheid van de bodem (verslamping). Dit kan leiden tot oppervlakkige afspoeling van materiaal, hetgeen eutrofiëring van oppervlaktewater tot gevolg kan hebben. Een verminderde doorlatendheid van de bodem kan ook leiden tot de ontwikkeling van tijdelijk gereduceerde omstandigheden in de bodem. Dit kan een nadelig effect hebben op de ontwikkeling en het functioneren van wortelstelsels van gewassen. Ook kan in de bodem aanwezig nitraat onder die omstandigheden worden gereduceerd en als gas ontwijken naar de atmosfeer (denitrificatie).

Een te lage toevoer van organisch materiaal kan leiden tot een verminderde biologische activiteit in de bodem, waardoor ecologische functies van de bodem kunnen worden aangetast. Een te lage toevoer kan ook een nadelig effect hebben op fysische of chemische eigenschappen van de bodem, zoals de stabiliteit van bodemaggregaten, het vochthoudend vermogen en de adsorptiecapaciteit. De belangstelling voor de rol van organische stof in de bodem is de laatste jaren weer toegenomen. Enerzijds heeft dit te maken met de hiervoor gesignaleerde verschijnselen, anderzijds ook met het feit dat in de toekomst de bemesting met organische en anorganische meststoffen nauwer op elkaar moet worden afgestemd. Het beleid op het gebied van de bemesting is erop gericht bovengrenzen te stellen aan de totale hoeveelheden nutriënten (organische plus anorganische) die jaarlijks mogen worden toegediend. Aangezien de beschikbaarheid van nutriënten in organisch materiaal af kan wijken van die in kunstmeststoffen, is het van belang om inzicht te hebben in de processen die de beschikbaarheid van nutriënten in organische stof bepalen (mineralisatie en immobilisatie). Voorts heeft ook de rol van de bodem als 'sink' of 'source' van CO₂ in verband met het zogenaamde 'broeikas-effect' de belangstelling voor de dynamiek van de organische stof in de bodem sterk doen toenemen.

Het onderzoek binnen dit thema is gericht op het verkrijgen van inzicht in de betekenis van organische stof in bodemecosystemen en op het modelmatig beschrijven van de dynamiek van organische stof in de bodem. Doel van dit onderzoek is een bijdrage te leveren aan het ontwikkelen van vormen van duurzaam bodemgebruik, waarbij de organische-stofhuishouding wordt geoptimaliseerd met betrekking tot de onderscheiden bodemfuncties.

Compostering

Jaarlijks worden zeer grote hoeveelheden organisch afval geproduceerd. Zowel de omvang als de samenstelling van het afval zijn een groot probleem voor het milieuvriendelijk verwerken en hergebruiken ervan. Een methode die oplossingen biedt voor zowel het reduceren van het volume als voor de omzetting van afval tot een stabiel en milieuvriendelijk produkt is compostering. Over het basisproces van compostering, waarbij onder thermofiele omstandigheden organische produkten door microbiologische activiteit worden omgezet in slecht-afbreekbare verbindingen, is nog niet veel bekend. Dit maakt het moeilijk het proces zo te manipuleren dat een biologisch stabiel eindprodukt wordt verkregen. Een additioneel probleem is dat bij het composteren van stikstofrijke produkten, zoals dierlijke mest, stikstof zoveel mogelijk verwijderd zou moeten worden in een vorm die het milieu geen schade toebrengt, zoals N_2 . In het kader van het thema 'Thermofiele compostering van mestkoek' van de PCLB (Programma Commissie Landbouw Biotechnologie) worden twee projecten uitgevoerd, waarin de fysische en microbiologische aspecten van het composteren van drijfmest worden onderzocht. Naast het hier beschreven onderzoek is in 1990 en 1991 ook onderzoek gestart naar het gebruik van Groente-, Fruit- en Tuinafvalcompost (GFT-compost) in de landbouw en thermofiele, op compostering gelijkende, omzettingen in diepstrooisel-stallen. Het eerstgenoemde onderzoek is beschreven in hoofdstuk 3.

In het kader van het project 'Simulatie van warmte- en stofoverdracht in een composthoop' is in de vorige verslagperiode een simulatiemodel ontwikkeld waarin fysische processen in een composthoop worden beschreven. De modelbeschrijving is zodanig dat transportprocessen uitsluitend in verticale richting optreden (één-dimensionaal model). De uitkomsten van een gevoeligheidsanalyse geven aan dat bij bulkdichtheden groter dan 600 à 700 kg per m^3 het composteringsproces wordt bepaald door gasdiffusie en warmtegeleiding. Bij lagere bulkdichtheden is natuurlijke convectione de procesbepalende factor. De bulkdichtheid heeft een sterke invloed op het luchtgevulde poriënvolume. Het poriënvolume is bepalend voor de luchtdoorlatendheid die van belang is voor de mate waarin natuurlijke convectione kan plaatsvinden. Gezien het belang van bulkdichtheid en poriënvolume werd het verloop hiervan berekend en gemeten. Door de visco-elastische eigenschappen van compost klinkt het materiaal in onder invloed van het eigen gewicht. Deze inklinking schrijft voort gedurende het composteringsproces. Als gevolg hiervan bestaat een porositeits- en bulkdichtheidsgradiënt in verticale richting. Door de meting werd de relatie tussen bulkdichtheid en luchtgevuld poriënvolume vastgesteld bij verschillende vochtgehaltes. Tevens werd de daarbij behorende luchtdoorlatendheid gemeten bij luchtsnelheden die representatief zijn voor natuurlijke en voor gedwongen convectione. Inmiddels is een nieuwe versie van het simulatiemodel gereed gekomen. Het model simuleert zowel vrije als geforceerde ventilatie. Daarnaast simuleert het model een temperatuurregeling door middel van geforceerde ventilatie. De invloed van het inklinken van een composthoop op de transportprocessen wordt in de berekeningen betrokken. Modelberekeningen tonen aan dat de CO_2 -concentratie in een composthoop kan oplopen tot 30 vol.%. Dit is in overeenstemming met meetresultaten. Berekeningen laten tevens zien dat door die hoge CO_2 -concentratie de grootte van de natuurlijke convectione relatief gering is. Om het model te valideren wordt een aantal metingen uitgevoerd, die deels voltooid, deels nog in volle gang zijn. Het betreft hier onder meer metingen aan 1) luchtdoorlatendheid als functie van de dichtheid, 2) de samendrukbaarheid van de composthoop en daarmee samenhangend het verloop in bulkdichtheid en poriënvolume, 3) de warmteproductie en warmtegeleiding, 4) zuurstofdiffusie en 5) waterdoorlatendheid.

Het tweede project binnen dit thema betreft de thermofiele compostering van mestkoek en met name de invloed van de zuurstofspanning op de microbiële activiteit tijdens compostering.

De kennis die verkregen wordt in dit onderzoek moet leiden tot een meer gerichte sturing van het composteringsproces t.a.v. tijdsduur, energieverbruik, samenstelling

van het eindprodukt, maar vooral tot het beheersen van de N-verliezen uit dierlijke mest door omzetting van N-produkten in N_2 .

Het onderzoek werd tot nu toe voornamelijk uitgevoerd in een continu-cultuur, waarin de zuurstofspanning in het systeem de controlerende parameter is. Op grond van de resultaten die met de zg. pO_2 -auxostaat bereikt zijn, kan worden vastgesteld dat dit type continu-cultuur zeer goed beantwoordt aan de vooraf gestelde eisen: a) handhaving gedurende lange tijd van een lage zuurstofspanning in de vloeistoffase van een mest/stro-slurrie; b) de beheersing van de graad van mineralisatie van deze slurrie. Het gedrag van de pO_2 -auxostaat is bij twee stadia in de mineralisatie van het substraat gevolgd, waarbij de pO_2 in vloeistoffase van de mest/stro-slurrie 0.5% van de luchtverzadiging bedroeg. Als de microbiële populatie in de reactor gedwongen wordt de slechter afbreekbare fracties in het mest/stro-mengsel af te breken gaat dit gepaard met een duidelijke toename in het aantal filamenteuze organismen in de slurrie (voor het merendeel actinomyceten, maar ook schimmels). Deze verandering in de microflora blijkt reversibel; te zijn, verlaging van de mineralisatie-grad leidt weer tot een verlaging van het aantal filamenteuze organismen.

Het onderzoek heeft zich echter voornamelijk geconcentreerd op de produktie en de omzetting van minerale stikstof tot N_2 onder thermofiele condities en lage zuurstofspanning.

De in de pO_2 -auxostaat waargenomen thermofiele nitrificatie blijkt een consistente eigenschap te zijn van de microflora die bij een zuurstofspanning (pO_2) van 0.5% (luchtverzadiging) in de reactorvloeistof (= vloeibare mest) actief is. Herhaalde $^{15}N-NH_4^+$ -labellingsexperimenten geven aan dat de snelheid van het gekoppelde proces van nitrificatie/denitrificatie in een periode van 8 maanden met een factor 2-3 is toegenomen: per dag verlaat van de ca. 2700 $\mu\text{mol N}$ in de input 450-650 $\mu\text{mol N}$ de reactor als N_2 .

Een verlies van 20% van de ingevoerde N als N_2 werd ook berekend uit een input-output balansstudie.

Behalve ammonium is ook nitraat met ^{15}N gelabeld om nitrificatiesnelheden te schatten. De verhouding waarin het label t.g.v. denitrificatie in N_2 massa 29 en in N_2 massa 30 terecht komt, geeft informatie over de mate waarin de ^{15}N -nitraatpool wordt verdund door de vorming van ongelabeld nitraat uit nitrificatie. Met deze methode werd een nitrificatiesnelheid gemeten van rond de 600 $\mu\text{mol N}$ per dag bij een pO_2 in de reactorvloeistof van 0.5%. Voor zover bekend is dit de eerste keer dat aangetoond is dat onder thermofiele condities (een kwantitatief belangrijke) nitrificatie kan optreden.

Met de boven beschreven ^{15}N -nitraatverdunningsmethode zijn eveneens schattingen gemaakt van nitrificatiesnelheden die optreden als de pO_2 in de reactorvloeistof voor korte perioden 12-36 uur verhoogd wordt. Bij een pO_2 van 2,5% bleek de snelheid waarmee nitraat gevormd werd tot 1100 $\mu\text{mol/dag}$ te zijn opgelopen, bij een pO_2 van 10% bedroeg zij ca. 1600 $\mu\text{mol/dag}$.

Op grond van bovenstaande waarnemingen mag verwacht worden dat er goede mogelijkheden zijn om onder thermofiele condities de snelheid van N_2 -produktie uit mest nog verder op te voeren.

11. Rhizosfeerprocessen

Planten beïnvloeden het leven in de bodem op verschillende manieren. De twee meest belangrijke, rechtstreekse, wijzen van beïnvloeding zijn de toevoer van organische verbindingen, als bron van energie en substraat voor het bodemleven, en de onttrekking van water en nutriënten door wortels. Ook de toevoer van organische verbindingen verloopt, naast bladval en het achterblijven van oogstresten, voor een belangrijk deel via de wortels. Tijdens de groei scheiden wortels via turnover van cellen en structureel materiaal en via exudatie aanzienlijke hoeveelheden organisch materiaal af in de bodem. Hoeveelheden tot 3000 kg koolstof per hectare per groeiseizoen worden in dit verband in de literatuur genoemd. Hierdoor is in de directe omgeving van de wortel, de zogenaamde 'rhizosfeer', de microbiologische activiteit vaak veel groter dan in de wortelvrije grond. Bovendien beïnvloeden vele organische producten, die van de wortels afkomstig zijn, de chemische (chelaatvorming) en fysische (vorming van structuurelementen) eigenschappen van de wortelomgeving.

De samenstelling van de organische verbindingen die afgescheiden worden door de wortel is zeer divers. Hierdoor, en door de grote verscheidenheid aan (micro-) organismen in de bodem, is er ook een zeer uiteenlopend spectrum van interacties tussen organismen en wortels. Symbiotische interacties zoals dat het geval is tussen stikstofbindende bacteriën en mycorrhizae komen voor, evenals niet-symbiotische maar wel specifieke interacties zoals bij *Azospirillum sp.* en vooral bij fytopathogene micro-organismen. Specifieke relaties, symbiotische of fytopathogene, hebben relatief veel aandacht gekregen in het landbouwkundig onderzoek en daarbuiten, en krijgen dat terecht nog steeds. Immers bodem-gebonden plantenziekten en in mindere mate, althans voor Nederland, symbiotische stikstofbinding en mycorrhizae, zijn voor de landbouwpraktijk en het natuurbeheer van essentieel belang. Belangrijke vorderingen in het wetenschappelijk onderzoek zijn gemaakt die mogelijkheden bieden tot manipulatie van deze specifieke relaties tussen wortels en (micro-)organismen.

Veel minder grote vorderingen zijn gemaakt op het terrein van onderzoek naar de, anders dan symbiotische, minder specifieke relaties tussen micro-organismen en plantewortels, ofwel associatieve binding, en in het algemeen naar de wijze waarop plantewortels hun directe omgeving beïnvloeden. Bij dit laatste moet zeker ook gedacht worden aan het effect van de onttrekking van water en nutriënten door wortels: dit heeft mogelijk een vergelijkbaar groot maar tegengesteld effect op de activiteit van micro-organismen in de bodem als het effect van de toevoer van substraat door de wortels.

Het onderzoek van het IB-DLO binnen het thema Rhizosfeerprocessen richt zich in de eerste plaats op het vermeerderen van de kennis van de wijze waarop plantewortels de leefomgeving van de microbiële biomassa en meer specifiek van enkele belangrijke populaties beïnvloeden. Het begrijpen van de complexe interacties tussen bodemmicro-organismen, planten en abiotische bodemomstandigheden is een voorwaarde voor iedere denkbare manipulatie van de bodemmicroflora ter verbetering van plantengroei.

Regulatie van microbiële activiteit in de rhizosfeer

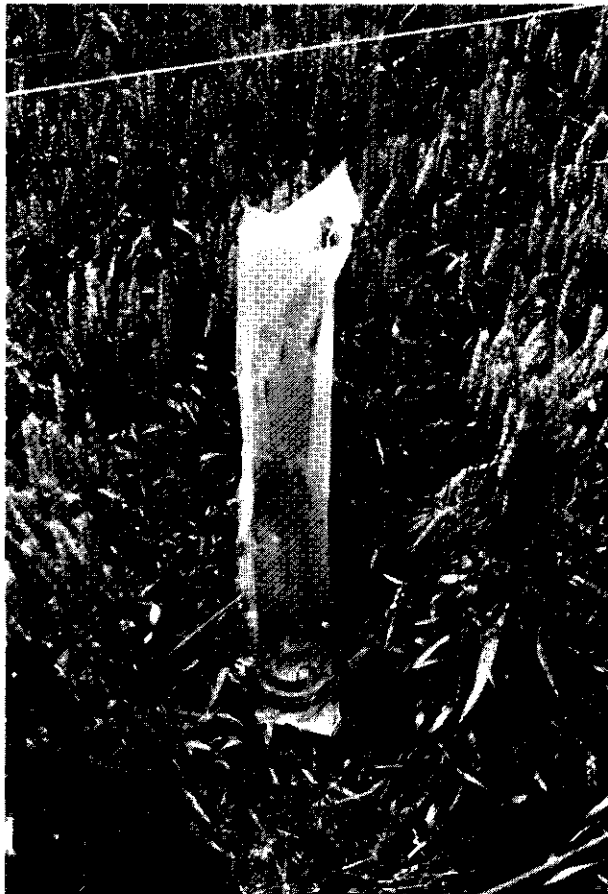
Het onderzoek beoogt vast te stellen:

- op welke specifieke wijze planten, die bovengronds (atmosferische verontreinigingen en CO₂-concentratie) of ondergronds (droogte of nutriëntenaanbod) onder stress komen te staan, reageren door middel van veranderingen in de kwaliteit en kwantiteit van wortelafgeleide organische verbindingen die als substraat door de rhizosfeer-microflora kunnen worden gebruikt, en
- op welke wijze de activiteit, dynamiek en samenstelling van de bodemmicroflora en daardoor de omzetting van organische stof in de bodem wordt beïnvloed en welke feed-back-mechanismen hierin bestaan.

Deze gegevens worden gebruikt in een simulatiemodel om de C- en N-stromen in het bodem/plant-systeem te kunnen voorspellen.

Productie en omzetting van wortel-afgeleide koolstof in de rhizosfeer van landbouwgewassen: ^{14}C -pulslabelling onder veldomstandigheden en scheiding van wortel- en microbiële respiratie

Tijdens het groeiseizoen van 1989 werd op de Lovinkhoeve te Marknesse de methode van ^{14}C -pulslabelling toegepast om onder veldomstandigheden de totale koolstofinvoer tijdens de gehele ontwikkeling van zomertarwe te bepalen (figuur 26).



Figuur 26. ^{14}C -pulslabelling van een tarweplant onder veldomstandigheden op de Lovinkhoeve te Marknesse

De methode bestaat uit het toedienen van een 2 uur durende puls van $^{14}\text{C}\text{-CO}_2$ aan de bovengrondse delen van een aantal afzonderlijke planten op verschillende tijdstippen tijdens het groeiseizoen. Na inbouw van het label in structurele componenten worden de planten geoogst en de allocatie van ^{14}C over plant- en bodemcompartimenten bepaald. Inbouw van ^{14}C in structurele componenten is voltooid ongeveer 3 weken na de labelling met ^{14}C . $^{14}\text{C}\text{-CO}_2$ -respiratie door wortels en micro-organismen wordt tijdens deze periode geabsorbeerd in loog of sodakalkkorrels. Door de ^{14}C -verdeling te relateren aan de toename in bovengrondse drogestof kan de koolstoftranslocatiesnelheid naar ondergrondse delen berekend worden op elk moment tijdens de groei.

Het gedeelte van de ^{14}C dat naar de wortel getransporteerd wordt neemt af van $\pm 40\%$ tot 15% naarmate de plant zich verder ontwikkelt. De verklaring hiervoor kan liggen in de toenemende 'sink'-functie van de aren en de korrels in de spruit naarmate de planten ouder worden. Nochtans wordt er ook in de latere ontwikkelingsstadia een aanzienlijke hoeveelheid van de assimilaten naar de wortels getransporteerd.

Van de ondergronds getransloceerde ^{14}C werd in de wortel een hoeveelheid teruggevonden die afnam met het ontwikkelingsstadium van het gewas: 40% bij stengelstrekking tot slechts 11% bij deegrijping. Dit duidt op een vermindering van de wortelgroei. Daarentegen neemt de hoeveelheid ^{14}C die teruggevonden wordt als organische stof in de bodem toe van 25 tot 41% en als bodem/wortelrespiratie van

35 tot 48%.

De naar de wortels getransloceerde hoeveelheid koolstof tijdens de periode van stengelstrekking (eind mei) tot deegrijping (eind juli) werd geschat op 950 kg C per ha. In deze periode nam de wortelbiomassa slechts toe met 190 kg C per ha. De resterende C werd vrijgezet in de bodem als CO₂, exudatie of wortelsterfte.

Extrapolatie over het gehele groeiseizoen leidt tot een schatting van de totale hoeveelheid getransloceerde koolstof naar de wortels van rond 1900 kg C per ha. In de huidige experimentele opzet kan geen onderscheid worden gemaakt tussen wortelrespiratie enerzijds en microbiële respiratie van wortelafgeleide koolstof anderzijds. Hiervoor is een methode ontwikkeld en getest, waarbij pulslabelling met ¹⁴C-CO₂ van de totale plant, inclusief exudaten, wordt vergeleken met labelling van uitsluitend exudaten. Exudaten werden gelabeld door inspuiting van een zeer geringe hoeveelheid ¹⁴C-gelabelde organische verbindingen in de wortelomgeving. Op 4 weken oude tarwe- en gerstplanten werden beide behandelingen toegepast en 26 dagen na labelling werden ze geoogst.

Door vergelijking van de gerespireerde hoeveelheid ¹⁴C en van de ¹⁴C in de bodem bij beide behandelingen kan een schatting gemaakt worden van de bijdrage van microbiële en wortelrespiratie aan de totale bodem-wortelrespiratie van ¹⁴C.

Omdat de samenstelling van exudaten kan variëren, werden drie soorten ¹⁴C-exudatenlabels toegediend die vooral verschillen in afbreekbaarheid: (1) glucose, (2) een ijswaterextract van jonge, gedroogde tarwewortels en (3) het residu van deze extractie (celwandcomponenten). Na 26 dagen bedroeg de gerespireerde fractie respectievelijk 38, 37 en 26%. Hieruit volgt dat het aandeel van wortelafgeleide C in de microbiële respiratie 4-15% bedraagt. Het grootste deel, nl. 85 tot 96% van de bodem/wortelrespiratie van ¹⁴C na pulslabelling, is dus afkomstig van de wortel. Verschillen tussen tarwe en gerst zijn gering.

Bepaling van de invloed van bodem-stressfactoren op de produktie en omzetting van wortel-afgeleid materiaal en het effect daarvan op de activiteit en samenstelling van de microbiële populatie onder geconditioneerde omstandigheden

De beschikbaarheid van nutriënten, zoals stikstof, voor opname door de plant in relatie tot de exudatie van organische verbindingen door de groeiende plant is onderzocht in speciale phytotrons (ESPAS: Experimental Soil Plant Atmosphere System). In deze phytotrons worden planten gekweekt in een atmosfeer waaraan ¹⁴C-CO₂ wordt toegevoegd. Door gebruik te maken van ¹⁴C als tracer kunnen de opname, de translocatie naar de wortels en naar de bodem, en de microbiële omzetting van C worden bepaald.

Er werd een aantal experimenten uitgevoerd met twee gewassen (tarwe en maïs), aangezien zowel de kwaliteit als de kwantiteit van het wortel-afgeleid materiaal lijkt te verschillen en deze gewassen dus ieder op een eigen manier de microbiële activiteit beïnvloeden.

Bij tarwe is vastgesteld dat bij hoge concentraties minerale stikstof in de bodem relatief meer koolstof werd vrijgegeven door de wortel als CO₂ en als wortelafgeleid materiaal (rhizodepositie) dan bij lage concentraties, terwijl de wortelbiomassa gelijk bleef. Bij hoge concentraties minerale stikstof werd het wortelafgeleid materiaal efficiënt omgezet door de microbiële biomassa, terwijl de omzetting van bodem-organische koolstof werd vertraagd. Blijkbaar geven micro-organismen bij hoge concentraties minerale stikstof de voorkeur aan wortelafgeleid materiaal als substraat boven bodem-organische stof. Eenzelfde resultaat werd geboekt in experimenten met CO₂-bemesting. In tegenstelling tot tarwe veroorzaakte maïs niet de veronderstelde substraatpreferentie en werd de afbraaksnelheid van bodem-organische stof niet beïnvloed door de concentratie minerale stikstof in de bodem. De exudaten in extracten van grond, beplant met tarwe, bleken hogere concentraties phenolen te bevatten dan de exudaten van maïs. De hoeveelheid C in phenolische verbindingen bedroeg tussen 1 en 2% van de totale hoeveelheid oplosbare C in grond.

De veranderingen in de samenstelling van de bacteriële populatie o.a. als gevolg van de veroudering van wortels werd onderzocht bij verschillende N-bemestingsniveaus. De resultaten met tarwe laten zien dat bij een toenemend minerale stikstofgehalte in grond het totaal aantal bacteriën in de rhizosfeer toeneemt,

terwijl het aantal fluorescerende pseudomonaden uitsluitend gedurende de eerste fase van de ontwikkeling van de plant (tot 3-4 weken) hoog is, maar in latere fasen in aantal zeer sterk afneemt. De grote belangstelling voor met name fluorescerende pseudomonaden in verband met bestrijding van plantenziekten in de bodem en antagonistische activiteit in de bodem wordt niet gereflecteerd in hun reactie op wortels noch op hun aandeel in de totale populatie (veelal minder dan 1%). Bacterie-isolaten van jonge tarwewortels verschillen in hun biochemische eigenschappen van de isolaten van andere wortels. Verder blijken de isolaten uit grond bij hoge bemestingsniveaus vaker positief te reageren op aanwezigheid van eenvoudige organische verbindingen zoals mono-suikers. Ook de populatiedynamiek van protozoën wordt sterk beïnvloed. De verhouding tussen het aantal protozoën in de rhizosfeergrond en in niet-rhizosfeergrond varieert tussen 4 bij jonge planten (bieten) tot 8 bij oudere planten. In de rhizosfeer komen tot 10 keer hogere aantallen, met name actieve, protozoën voor.

De verdeling van koolstof over plant en bodem tijdens de groei van planten bij een verhoogd CO₂-gehalte in de atmosfeer en bij zure depositie

Door een toename van de concentratie CO₂ in de atmosfeer nemen planten meer CO₂ op, hetgeen een verhoogde input van wortelafgeleid materiaal in de bodem tot gevolg kan hebben. Met name de kwaliteit van het substraat, o.a. afhankelijk van de plantesoort, de hoeveelheid beschikbare nutriënten en de temperatuur zijn bepalend voor de microbiële activiteit in de bodem en hiermee voor het feit of, en in welke mate de hoeveelheid bodem-organische stof zal toe- of afnemen. Op basis van een kweek van tarwe gedurende 7 weken bij twee verschillende CO₂-concentraties in de lucht, nl. 350 en 700 mg per l, kon worden vastgesteld dat bij 700 mg per l CO₂ een grotere accumulatie van C in de bodem plaatsvond dan bij 350 mg per l (tabel 6). Dit werd deels veroorzaakt door een grotere invoer van C, deels door een reductie in de afbraak van bodem-organische stof. Nutriëntenbeperking in de bodem vermindert het effect van een verhoogd atmosferisch CO₂-gehalte op de groei van planten en de flux van C in het plant/bodem-systeem.

Tabel 6. Wortelrespiratie en microbiële respiratie van wortelafgeleide organische verbindingen (¹⁴CO₂), microbiële respiratie van bodem-organische verbindingen (¹²CO₂), de hoeveelheid ¹⁴C in niet-oplosbare organische verbindingen in de bodem (¹⁴C-residu) en de netto verandering in de hoeveelheid bodem-organische-stof (netto C-organisch = ¹⁴C-residu - ¹²CO₂ respiratie) na 3, 5 en 7 weken (T₁, T₂ en T₃) incubatie van planten.

		CO ₂ , mg per kg	
		350	700
T ₁	¹⁴ CO ₂ -respiratie	157	228
	¹² CO ₂ -respiratie	104	111
	¹⁴ C-residu	25	61
	netto C-organisch	-79	-50
T ₂	¹⁴ CO ₂ -respiratie	633	1139
	¹² CO ₂ -respiratie	210	143
	¹⁴ C-residu	99	174
	netto C-organisch	-111	+31
T ₃	¹⁴ CO ₂ -respiratie	847	1544
	¹² CO ₂ -respiratie	243	163
	¹⁴ C-residu	98	247
	netto C-organisch	-45	+84

Processtudies van biologische koolstof- en stikstofturnover in bodem-plant ecosystemen

In de verslagperiode werden twee proefschriften afgerond over onderzoek in het kader van het thema Rhizosfeerprocessen: 'Mineralization of nitrogen by protozoan activity in soil' (Kuikman, 1990) en 'Microorganisms in the rhizosphere of barley and wheat: The effects of variety and nitrogen fertilization' (Liljeroth, 1990). Van het eerste onderwerp, dat als afgerond wordt beschouwd binnen dit thema, volgt hieronder een verkorte samenvatting. Het onderzoek van het tweede proefschrift wordt voortgezet.

Mineralisatie van stikstof door predatie van protozoën

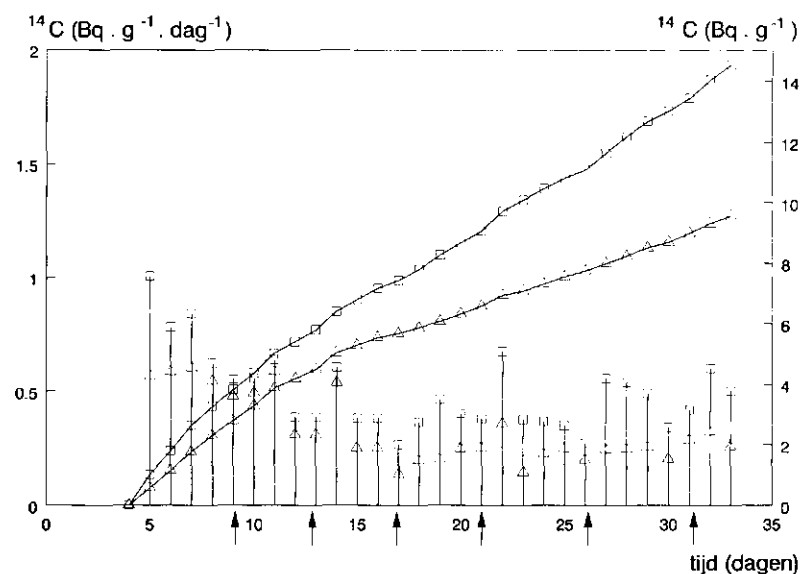
Protozoën zijn veel en algemeen voorkomende diertjes in grond die zich voornamelijk voeden met bacteriën, waardoor ze de activiteit van de bacteriële populatie en mineralisatie van stikstof kunnen beïnvloeden.

Al eerder werd aangetoond dat de activiteit van protozoën in grond leidt tot een reductie van het aantal bacteriën. Desondanks wordt in aanwezigheid van protozoën bijna 30% meer stikstof gemineraliseerd uit bodem-organische stof en ook opgenomen door niet met stikstof bemeste planten dan in grond zonder protozoën. Met behulp van ^{15}N en ^{14}C als tracers werd vastgesteld dat protozoën voornamelijk de opname van bacteriële stikstof en de mineralisatie van koolstof verhogen.

De aandacht werd geconcentreerd op de volgende twee vragen:

Wat is de invloed van protozoën op de turnover van bodem-organische stof door bacteriën?

De turnover en de mineralisatie van stikstof en koolstof in de bodem worden door de activiteit van protozoën gestimuleerd. In aanwezigheid van protozoën nemen planten meer stikstof op en wordt meer koolstof verademd als CO_2 dan in grond zonder protozoën. Er is aangetoond dat hierbij twee mechanismen een rol spelen. In de eerste plaats hebben protozoën een direct effect: via reductie van het aantal bacteriën wordt in bacteriën vastgelegde koolstof en stikstof versneld gemineraliseerd. Deze stikstof kan worden opgenomen door de plant. In de tweede plaats is er een indirect effect vastgesteld: de predatie door protozoën verhoogt de activiteit van de bacteriepopulatie, uitgedrukt in hoeveelheid gemetaboliseerde organische stof per eenheid bacteriële biomassa (figuur 27). Tevens geven de resultaten aanleiding te veronderstellen dat de stroming van water na een watergift de verdeling van protozoën en mogelijk ook bacteriën in de grond via (passieve) reallocatie verbetert.



Figuur 27. Respiratie-snelheid van CO_2 (staven) en de geaccumuleerde CO_2 -evolutie (lijnen) uit grond zonder protozoën (Δ) en met protozoën ($\square$) met tarweplanten. Watergift aan de potten op de dag 9, 13, 17, 21, 26 en 31 (zie pijlen).

Wat is de invloed van de sterk heterogene verspreiding van protozoën, bacteriën en substraat in de bodem op de predatie door protozoën en de dynamiek van bacteriepopulaties?

Door gebruik te maken van bacteriën die met behulp van genetische manipulatie resistent zijn geworden tegen specifieke antibiotica is ook informatie verkregen over de mate van reallocatie van bacteriën door migratie van protozoën en over de invloed van protozoën op de overdracht van genen tussen verschillende bacteriën in de grond. Protozoën verhogen de mineralisatie van koolstof uit bacteriële biomassa, zoals dat ook het geval is bij stikstof. Echter, wanneer protozoën worden beënt in een beperkt gedeelte van een bepaalde portie grond, is hun effect op de mineralisatie van koolstof uit bacteriën evenredig kleiner, dan wanneer de protozoën worden verdeeld over alle grond van die portie. Onder stabiele bodemvochtomstandigheden is de migratie van protozoën in grond zeer beperkt. Er is geen aantoonbare reallocatie van bacteriën door protozoënactiviteit waargenomen. Hoewel overdracht van genen tussen bacteriën kon worden aangetoond, is in dit experiment vastgesteld dat protozoën daarop geen invloed hebben. De resultaten vormen aanleiding om te veronderstellen dat de activiteit van protozoën in grond beperkt blijft tot kleine, lokale en onderling gescheiden oppervlakten. De resultaten in het proefschrift (Kuikman, 1990) hebben duidelijk gemaakt dat de beschikbaarheid voor planten van organisch gebonden en bacteriële stikstof in de grond via predatie van bacteriën door protozoën substantieel wordt verbeterd. Protozoën opereren via 1) het beschikbaar stellen van in bacteriën vastgelegde stikstof en via 2) het stimuleren van de turnover van bodem-organische stof in micro-organismen door het verhogen van de activiteit per cel. In grond met een beperkt watergehalte en zonder waterstroming is de beweeglijkheid en migratie van protozoën zeer beperkt. Reallocatie van bacteriën door protozoën als zodanig, in afwezigheid van waterstroming, is niet aangetoond. Er is duidelijk gemaakt dat de gecombineerde toepassing van technieken uit de genetica en de microbiële ecologie in belangrijke mate ons begrip van de ecologie van micro-organismen in de bodem bevordert. Protozoën vertonen een zeer snelle, onmiddellijke reactie op het beschikbaar komen van water in droge grond. De resultaten ondersteunen het concept dat predator-prooi interacties, meer dan uitsluitend microbiële activiteit, verantwoordelijk zijn voor de mineralisatie van stikstof in grond.

Denitrificatie

In het belang van de optimalisatie van de N-voorziening van gewassen en de beperking van ongewenste verliezen naar het milieu (NH_3 -emissie, denitrificatie en uitspoeling) is onderzoek gestart naar N-verliezen via denitrificatie en N_2O -emissie onder veldomstandigheden. Het onderzoek wordt uitgevoerd in afhankelijkheid van (a)biotische factoren, en wordt aangevuld met bodemfysisch en bewortelingsonderzoek.

Denitrificatie is in het veld moeilijk direct te meten; het proces wordt gekenmerkt door grote variabiliteit in de tijd (sterke pieken) en in de ruimte (anoxische gebiedjes in de grond). Indirecte bepaling van denitrificatie vereist het opstellen van een minerale-stikstofbalans (m.b.v. ^{15}N), waarbij denitrificatie als sluitpost van de balans wordt berekend. De onzekerheid hierbij is groot. In een veldproef op de Lovinkhoeve (IB 0029, akker 17A met geïntegreerde teelt van suikerbieten) werd 73% (66%-81%) van het toegediende ^{15}N -nitraat teruggevonden in het gewas, 15% (12%-19%) in de bodem en 11% (0%-22%) ging hoogstwaarschijnlijk verloren via denitrificatie.

Tijdens een veldexperiment ter bestudering van de invloed van verdichting en bemesting met o.a. nitraat werd vastgesteld dat bemesting een duidelijke verhoging van N_2O -productie en denitrificatie tot gevolg heeft. Met name in het najaar met een neerwaarts watertransport, maar eveneens bij verdichting, kunnen in diepere grondlagen (> 80 cm) verhoogde concentraties N_2O worden aangetoond; deze N_2O ontsnapt in een later stadium alsnog. Desondanks was de O_2 -consumptie erg laag onder omstandigheden van sterke bodemverdichting en dientengevolge anaërobie.

Op dit moment wordt gewerkt met de hypothese dat met name in systemen die aan sterke en snelle bevochtiging worden blootgesteld, waarbij een zeer actieve populatie organismen plotseling met anaërobie wordt geconfronteerd, de risico's voor het optreden van denitrificatie hoger zijn.

Ontwikkeling en stabiliteit van bodem-aggregaten

In samenwerking met de Vakgroep Bodemkunde en Geologie van de Landbouw-universiteit Wageningen werd onderzocht in hoeverre regenwormen, en met name de microflora (bacteriën en schimmels) van de regenwormdarm, bijdragen aan de ontwikkeling en stabiliteit van bodemstructuurelementen. De IB-DLO-bijdrage bestond uit de analyse van de microflora van regenwormuitwerpselen en gevormde structuurelementen om zodoende een basis te leggen voor mogelijke manipulatie van de microflora-associatie met regenwormen.

Het onderzoek concentreerde zich op veranderingen in de microbiële biomassa (schimmels en bacteriën) die hebben plaatsgevonden na afzetting en veroudering van regenwormexcrementen.

Regenwormen hebben een direct effect op de activiteit van schimmels. In verse excrementen is de metabolisch actieve schimmelbiomassa bijna verdwenen in vergelijking met niet door wormen beïnvloede grond. Er is geen direct effect op het totaal aantal bacteriën.

Tijdens de veroudering van de excrementen is er een toename in bacterie-aantallen, totale schimmelbiomassa en de hoeveelheid actieve schimmels. Na 4 tot 6 weken treedt er een stabiliteit op.

Conclusies

De resultaten tot nu toe laten zien dat microbiële activiteit, zoals decompositie van bodem-organische stof en van wortel-afgeleid materiaal, in de bodem niet uitsluitend wordt gereguleerd door de toevoer van koolstof uit de wortels, maar door interacties tussen koolstof, stikstof en mogelijk door het voorkomen van specifieke organische componenten. De observatie dat relatief hoge minerale-stikstof-gehalten in de bodem de decompositie van wortel-afgeleide organische verbindingen stimuleren, maar de decompositie van bodem-organische stof remmen heeft geleid tot de hypothese dat micro-organismen in aanwezigheid van voldoende minerale stikstof relatief gemakkelijk afbreekbare organische verbindingen prefereren boven al aanwezige bodem-organische stof. Een belangrijke consequentie van deze waarneming is dat bij toenemende CO₂-concentratie in de atmosfeer en een toename van de primaire produktie en C-input in de bodem de afbraak van bodem-organische stof alleen bij voldoende stikstofbeschikbaarheid, afneemt. Hierdoor fungeert de bodem als sink voor atmosferische CO₂.

De voorkeur van micro-organismen kan uiteraard gevolgen hebben voor de mineralisatie van stikstof uit organische stof.

Er bestaat een sterke terugkoppeling tussen plant en micro-organismen via de invloed van planten op de microbiële activiteit via de toevoer van substraat en anderszins via de opname van stikstof door de plant.

De begrazing van bacteriën door protozoën is eveneens een sterke, biologische invloed op de microbiële activiteit en mineralisatie van nutriënten. Protozoën stimuleren de microbiële activiteit, verhogen de turnover van bacteriële biomassa en daarmee de opnamemogelijkheden voor de plant met 30%.

Minerale stikstof is derhalve niet uitsluitend het produkt van bodembioologische processen, maar controleert de eigen produktie via terugkoppelingsmechanismen op de microbiële activiteit.

Literatuur

Kuikman, P.J., 1990. Mineralization of nitrogen by protozoan activity in soil. Ph-D Thesis, Landbouwuniversiteit Wageningen, 103 pp.

Liljeroth, E., 1990. Micro-organisms in the rhizosphere of barley and wheat: The effects of variety and nitrogen fertilization. Ph-D Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Svalöv, Zweden, 41 pp.

12. Bodembiotechnologie

Het thema Bodembiotechnologie beoogt kennis te vergaren omtrent het lot (de overleving en activiteit) van in de bodem geïntroduceerde bacteriën, alsmede omtrent het selectief beïnvloeden (stimuleren) van de activiteit van in de bodem aanwezige bacteriën. Uiteindelijk doel van dit thema is de methodologie te ontwikkelen om, via introductie van organismen in de bodem, een nuttige functie in de bodem aan te brengen, bijvoorbeeld t.b.v. de biologische bestrijding, de afbraak van milieuvreemde stoffen of het stimuleren van gewasgroei. Hiermee hangt uiteraard het bestuderen van biologische veiligheidsaspecten verbonden aan de introductie van genetisch gemodificeerde bacteriën samen.

In het proefschrift van J. Postma (1989) getiteld: 'Distribution and population dynamics of *Rhizobium* sp. introduced into soil' werd aangetoond dat de plaats van geïntroduceerde bacteriën in de bodemmatrix van invloed was op hun overleving. Met name het specifieke introduceren in kleinere poriën zou de overleving gunstig beïnvloeden. Verder wordt veel aandacht gegeven aan het verbeteren van de overleving van geïntroduceerde bacteriën in de bodem door het veranderen van de textuur (toevoegen van kleimineralen).

Biologische veiligheidsaspecten van genetisch gemodificeerde bacteriën zijn een tweede zwaartepunt van het thema. Belangrijk aspect van onderzoek is de mate waarin genoverdracht in de bodem beïnvloed wordt door de localisatie van het gen in het genoom. Daarnaast wordt in een door de PCLB gefinancierd project aandacht besteed aan transport van geïntroduceerde bacteriën.

Onderzoek naar de bestrijding van *Rhizoctonia solani* in de aardappelteelt m.b.v. *Verticillium biguttatum* werd in 1990 op het IB-DLO afgesloten. Het verder in de praktijk brengen van deze bestrijdingsmethode zal op het IPO-DLO gebeuren in het kader van het meerjarenplan Gewasbescherming.

Het experimentele onderzoek naar de populatiedynamica van *Azospirillum* in de rhizosfeer van tarwe werd in 1990 afgesloten; in 1991 zal het werk in een proefschrift worden vastgelegd.

Voorts is het onderzoek naar de versnelde afbraak van nematiciden in de bodem met het aanstellen van een onderzoeksmedewerker in 1990 versneld; getracht wordt, via isolatie en (genetische) karakterisering van de voor de versnelde afbraak verantwoordelijke micro-organismen, zicht te krijgen op de opbouw van het afbraakpotentieel in de bodem, alsmede in het lot van de betrokken organismen en genen.

Dynamiek van *Rhizoctonia solani* in vruchtwisselingssystemen

In 1989 werd de schade door *Rhizoctonia solani* in de vorm van lakschurft op jonge knollen in een aantal velden gevolgd. *R. solani* werd voorts bepaald in grond (aantal propagels per 250 g grond). Isolaten van plantedelen en lakschurft zijn gedetermineerd op anastomosegroep; de voor de aardappel pathogene *R. solani* (anastomosegroep-3 = AG-3) werd gevonden naast AG-5 (in sommige velden). In enkele gevallen werden nog andere groepen aangetoond.

De schade die *Rhizoctonia solani* in de vorm van lakschurft op aardappelknollen veroorzaakt blijkt van jaar tot jaar te variëren. Dit vindt zijn oorzaak in de wisselende dominantie van verschillende anastomosegroepen van *R. solani* in het veld, waarbij de pathogene groep AG-3 naast de niet-pathogene AG-5 voorkomt. Proeven in het laboratorium wezen uit dat AG-3 AG-5 competitief de baas was. Waar AG-3 sterk in aantallen terug liep kon AG-5 naar voren komen. De teruggang van AG-3 was te wijten aan een factor die AG-5 ongemoeid liet. Een mogelijke antagonist die geen onderscheid maakte tussen AG-3 en AG-5 was waarschijnlijk niet in het spel. Gedacht wordt aan een virus of wellicht aan een letaal DNA-partikel dat via anastomose werd overgebracht en voor AG-3 nadelige gevolgen had. Zieke *R. solani* AG-3 zijn tot nu toe niet geïsoleerd. *V. biguttatum* speelde bij het verdwijnen van *R. solani* AG-3 geen rol.

In een vakkenproef met zand-, dal- en zavelgrond leek de dynamiek van *R. solani* beheerst te worden door *V. biguttatum*. In 1989 steeg door de teelt van aard-

appelen de populatie van *R. solani* en *V. biguttatum*. De laatste steeg evenwel te langzaam of te gering, resulterend in veel lakschurft op de oogst. In de dalgrond waren *R. solani* en *V. biguttatum* in lage aantallen aanwezig. Desondanks kwam toch veel lakschurft op de oogst voor, hoewel veel minder dan het geval was voor de oogst van de zandgrond. In de zavel was overal de populatie van zowel *R. solani* als van *V. biguttatum* zeer laag.

In de zavel- en in de zandgrond was *V. biguttatum* vrij veel aanwezig in de rhizosfeergrond van de gewassen die verbouwd werden na aardappelen (zomergerst en veldboon). In de dalgrond was dit effect nauwelijks aanwezig. Opvallend was dat bij tarwe op zandgrond veel *R. solani*, en bijgevolg ook veel *V. biguttatum*, rond de wortels voorkwam. Bij de zavelgrond was vooral *V. biguttatum* rijkelijk aanwezig rond tarwewortels; *R. solani* was niet in belangrijke hoeveelheden aanwezig, wat een gevolg van onderdrukking zou kunnen zijn. In 1990 werd voorts aandacht geschonken aan het effect van *Verticillium*-inoculaten op de schade aan aardappels door *R. solani*. Op 22 juni was het effect van beënting nog duidelijk: 90-100% van de basale stengelsegmenten droeg *V. biguttatum* tegen 0% bij de niet-beënte stengelsegmenten. Voor basale stolonsegmenten gold respectievelijk 80-100% tegen 0-10%. Van de 9 rhizoctoniasoorten, geïsoleerd van 183 stolonstukjes, behoorden slechts 2 tot de pathogene AG-3. Een latere bemonstering op 19 juli leverde 23 isolaten van *R. solani* op, waaronder slechts 4 keer AG-3; 18 isolaten waren afkomstig van 267 stolonstukjes en 5 isolaten van 272 wortelsegmenten. *R. solani* AG-3 leek in de tijd op zijn waardplant niet in aantal toe te nemen. Hetzelfde gold voor hoeveelheid AG-3 in grond. Deze constatering was niet in overeenstemming met de algemene ervaring dat een pathogeen zich uitbreidt op zijn waardgewas. Dit was in dit geval vermoedelijk het gevolg van de aanwezigheid van een letaal principe, specifiek voor AG-3, dat door anastomose werd overgebracht.

De vakkenproef met zand-, dal- en zavelgrond, en vier gewassen en braak in vaste vakken, werd dit jaar beplant volgens het schema van het vorige jaar.

Alleen in de zandgrond leken de aantallen propagels van *R. solani* niet te zijn teruggelopen. Opvallend was dat na tarwe in alle gronden evenveel *R. solani* werd gevonden als na aardappels. Van de 8 isolaten van tarwewortels bleken 2 te behoren tot AG-3 en 6 tot nog onbekende AG-groepen of *Rhizoctonia*-soorten.

Tenslotte werd aandacht geschonken aan geïntegreerde biologische en chemische bestrijding van *R. solani* gecombineerd met twee wijzen van oogsten (doodspuiten en groen rooien plus toedekken met grond). Het doodspuiten van de bovengrondse delen was vervangen door het afsnijden hiervan, wat op hetzelfde neer komt t.a.v. lakschurftvorming.

Loofdoding en drie weken wachten voordat geoogst werd leidde tot een sclerotiumindex (si) van 45 ± 7 voor de oogst uit niet-beënte poters; beënte poters leverden een oogst met een si van 38 ± 8 . Dit verschil is significant ($p < 0.001$). Het sorteerverlies bedroeg 70 ± 17 , respectievelijk $51 \pm 22\%$. Ook dit verschil is significant ($p < 0.001$), doch het resultaat was totaal onvoldoende.

Groen rooien en weer toedekken met grond, waarbij knollen en ondergrondse plantedelen strikt werden gescheiden, gaf een enorme reductie van de vorming van lakschurft. Als *V. biguttatum* niet werd toegepast leverde dit een oogst met een si van 17 ± 7 ; beënting met *V. biguttatum* bij het poten leverde een si van 14 ± 4 en toepassing alleen bij het toedekken een si van 10 ± 0 , terwijl toepassing bij het poten en bij het toedekken leidt tot een si van 9 ± 4 . Er waren grote verschillen als gevolg van de manier van oogsten. Het toepassen van *V. biguttatum* bij het poten en bij de oogst gaf een significante verlaging te zien van de si, nl. van 17 ± 7 tot 9 ± 4 ($p < 0.001$).

Voor het sorteerverlies golden voor groenrooien en toedekken verliezen beneden gemiddeld 5%. Beënting met *V. biguttatum* was niet van invloed. Het chemisch middel pencycuron (Moncereen) bleek hier geen effect te hebben.

Versnelde microbiële afbraak van nematiciden

Frequente toepassing van hetzelfde grondontsmettingsmiddel duidde in een aantal percelen op een afname van de doding van het aardappelpysteaaltje (ACA). Onderzoek wees uit dat een versnelde microbiële afbraak van het middel debet was aan het verminderde ontsmettingseffect.

Uit ophopingscultures werd een *Pseudomonas* sp. geïsoleerd die in staat was zowel de fumigant 1,3-dichloorpropeen (DCP) als het granulaat ethoprofos (Mocap) af te breken.

Uit de screening van het Hilbrands Laboratorium (HLB) van een groot aantal gronden in het fabrieksaardappelteeltgebied in Noordoost-Nederland bleek het verschijnsel van versnelde afbraak voor metam-natrium in ca. 30% en voor DCP in ca. 10% van de gronden voor te komen.

Een goede strategie ter bestrijding van het ACA vereist inzicht in het afbraak-potentieel van deze middelen. In 1989 werd in overleg met het HLB en het SC-DLO van een aantal gronden met bekende grondontsmettingsgeschiedenis grond verzameld en in vakken gebracht op het IB-DLO-terrein in Haren. Een algemeen grondonderzoek ter karakterisering van de gronden vond plaats. De ingebrachte gronden werden in het laboratorium onderzocht op afbraak van bovengenoemde nematiciden. Het resultaat hiervan wees uit dat de ingebrachte grond niet in alle gevallen de veldsituatie m.b.t. afbraak van nematiciden weerspiegelde. Na de indiensttreding van een microbiologisch/biochemisch analist op 1 oktober 1990 werd een begin gemaakt met het kwantificeren, isoleren en identificeren van micro-organismen die betrokken zouden zijn bij de afbraak van nematiciden. Het onderzoek werd vooreerst beperkt tot die grondsoorten waarin afbraak onder lab-omstandigheden overeen kwam met de eerder vastgestelde afbraak in het veld. Het betroffen gronden afkomstig uit Odoorn, Marknesse (Lovinkhoeve) en Smilde. Door in het lab aan deze gronden herhaaldelijk nematiciden toe te dienen werden de voor de afbraak verantwoordelijke organismen opgehoopt. De verdwijning van het middel werd gaschromatografisch vastgesteld. Het aantal micro-organismen in de herhaaldelijk behandelde grond werd bepaald met behulp van de telplaat-methode; voor Pseudomonaden en Streptomyceten werden selectieve platen gebruikt.

Vanwege het grote aantal isolaten werd een individuele screening van de gevonden micro-organismen, op afbraak, in eerste instantie beperkt tot de afbraak van het middel DCP. Deze screening vond plaats in een gesloten systeem, waarbij aan drie verschillende media, DCP werd toegevoegd en vervolgens beënt met het te toetsen micro-organisme. De afname van de hoeveelheid DCP werd gaschromatografisch vastgesteld. De gekozen media betroffen een mineraal medium verrijkt met 10% grondextract, een mineraal medium met 0,03% gistextract en een mineraal medium met 0,03% gistextract en 0,3% glucose. De keuze van deze media was bedoeld om inzicht te krijgen in het metabolisme van een voor afbraak verantwoordelijk micro-organisme.

De screening van de micro-organismen leverde tot nu toe 1 streptomyceet op uit de grond uit Smilde, en diverse bacteriën, die in staat bleken DCP af te breken. De laatste groep bevatte o.a. Pseudomonaden. De inventarisatie van de afbraak-potentiaal wordt voortgezet.

Dynamiek van *Azospirillum* in de rhizosfeer van tarwe

Bacteriën van het geslacht *Azospirillum* zijn associatieve N-bindsters, die zich in het bijzonder in de rhizosfeer van grasachtigen 'thuis' voelen, waar ze de groei van het gewas stimuleren. Het mechanisme van deze groeistimulatie is niet geheel bekend, waardoor ook de mogelijke toepassing van dit organisme als zgn. 'biofertilizer' nog steeds twijfelachtig is. Het onderzoek in dit project was erop gericht om fundamentele kennis te verzamelen over de interactie tussen *Azospirillum* en tarwe-wortels, zowel als modelsysteem voor interacties tussen rhizobacterie en wortel, alsook om basiskennis te verkrijgen die noodzakelijk is voor eventuele toekomstige toepassingen in de gewasproductie. In het onderzoek werd onder meer gebruik gemaakt van spontane en transposon (Tn5)-mutanten van *Azospirillum* die veranderd waren in een van de voor deze interactie wezenlijk metabool proces, b.v. N-binding, plantegroeihormoon-productie en NO_3^- -reductase. Door gebruik te maken van mutanten kon de betekenis van deze processen worden vastgesteld.

In het verrichte onderzoek werden vijf Tn5-mutanten van *Azospirillum brasilense*, deficiënt in stikstofbindings- of nitraatreductase-activiteit, verkregen middels transposon mutagenese. Voorts is een Tn5-mutant deficiënt in auxineproductie ontvangen van de Universiteit van Bayreuth en meegenomen in het onderzoek.

Alle mutanten werden, in competitie met het wild-type, getest op hun rhizosfeer-effect bij zomertarwe. De resultaten lieten een positief effect zien van *Azospirillum* op het wortel-drooggewicht bij alle behandelingen, in vergelijking met onbehandelde controle-planten. De auxine-deficiënte mutanten gaven evenwel een significant lagere respons te zien dan de overige mutanten. De *in situ* stikstof-bindingsactiviteit was in het algemeen laag en afwezig in de stikstofbindings-negatieve mutant. Resultaten verkregen met de ^{15}N -verdunningsmethode, waarmee eventueel transport van de gebonden N naar de plant kon worden aangetoond, lieten zien dat de totale accumulatie van gebonden N in de plant laag was (3% van de totale stikstof in de wortel en 1% van de totale stikstof in de scheuten).

De geselecteerde *Azospirillum*-mutanten met een defect in de stikstofopname werden verder onderzocht. Deze mutanten scheidden gebonden stikstof (NH_4^+) uit. In associatie met tarweplanten werd gevonden dat deze de groei en de stikstofvoorziening van de gastheerplant bevorderden.

Het project werd in 1990 experimenteel afgesloten. Enkele nieuwe resultaten betroffen het stimulerende effect van organische zuren, die uitgescheiden werden door tarwe in de associatie van *Azospirillum*. In 1991 zullen de resultaten van het werk aan *Azospirillum*/tarwe-interacties in een proefschrift vastgelegd worden.

Ecologie van bacteriën geïntroduceerd in de bodem

Het gebruik van al dan niet genetisch gemanipuleerde micro-organismen in de bodem biedt grote mogelijkheden voor de optimalisering van de gewasproductie en de sanering van vervuilde bodems. Eén van de obstakels voor succesvolle toepassing is echter de variabele overleving van het geïntroduceerde micro-organisme in de bodem. De doelstelling van dit project is het analyseren van primaire factoren die het lot van bacteriën na introductie in de bodem bepalen en het op basis daarvan ontwikkelen van procedures die de overleving kunnen optimaliseren. Het onderzoek richt zich voornamelijk op de mate waarin de structuur en textuur van de bodem het lot (overleving, competitie, transport, wortelkolonisatie, genexpressie) van geïntroduceerde bacteriën beïnvloeden, en op het detecteren en modifieren van bacterie-eigenschappen die dit gedrag beïnvloeden. Voor een deel zal de inzet in dit project gericht zijn op de verdere ontwikkeling en toepassing van bacteriën die *Bacillus thuringiensis* toxine-genen bevatten ter bestrijding van emelten.

Selectie van geschikte 'drager'-bacteriën voor *Bacillus thuringiensis* toxine-genen

Met een aantal bacterie-isolaten zijn potexperimenten gedaan in natuurlijke, d.w.z. niet-gesteriliseerde grond. Hierbij is gekeken naar het vermogen van de bacterie om graswortels te koloniseren en om zich in 'bruikbare' aantallen gedurende 10 weken te handhaven naast de reeds in de grond aanwezige natuurlijke bacteriepopulatie.

Om de ingebrachte bacterie-isolaten te kunnen herkennen werden spontane antibioticum-resistente mutanten gemaakt. De proeven werden alle verricht met vier Gramnegatieve isolaten, nl. *Pseudomonas cepacia* P2, *Pseudomonas fluorescens* R2f, *Flavobacterium* sp. F4 en *Alcaligenes* sp. A2.

De resultaten zijn nog niet volledig verwerkt, maar het was wel duidelijk dat isolaten P2 en F4 beter in staat zijn om zich gedurende 10 weken op een redelijk niveau te handhaven. R2f en A2 liepen sterk in aantal terug. P2 werd geselecteerd voor een veldproef met gras. Op het zaad gebrachte P2-cellen bleken (in de herfst van 1990) goed te overleven op graswortels; voorts bleek transport (verticaal en lateraal) van de ingebrachte stam op te treden.

Invloed van bentonietklei op overleving van geïntroduceerde bacteriën in de bodem

Experimenten werden uitgevoerd waarbij met behulp van het voorzichtig dan wel heftig wassen van grond een onderscheid gemaakt kon worden tussen bacteriën aanwezig in de fractie $< 2.8\ \mu\text{m}$, bacteriën aanwezig in de fractie $2.8\text{--}50\ \mu\text{m}$ en bacteriën aanwezig in de fractie $> 50\ \mu\text{m}$. Het meest opvallende resultaat was dat er in een zandgrond met bentoniet-toevoeging meer bacteriën voorkwamen in de fractie $< 2.8\ \mu\text{m}$ dan in deze grond bij afwezigheid van bentoniet. Bacteriën in

deze fractie zaten 'los' of waren aangehecht aan kleideeltjes.

In aan/afwezigheid van bentoniet in een zandgrond is de wortelknolvorming bij klaver door *Rhizobium* bestudeerd. Doel van het experiment was vast te stellen of wortelkolonisatie na grond-inoculatie nog mogelijk was in aanwezigheid van bentoniet. Dit experiment heeft weinig betrouwbare resultaten opgeleverd, omdat er in de onbeënte controle ook wortelknolvorming optrad.

Er is een begin gemaakt met het toepasbaar maken van bentoniet voor een mogelijke praktijksituatie. Het doel was om door verschillende inoculatie-methoden het benodigde bentonietgehalte zo ver omlaag te brengen dat de vochthuishouding van de gebruikte zandgrond nauwelijks meer veranderde door de aanwezigheid van bentoniet. Als referentiewaarde werd de overleving van bacteriën gebruikt die geïntroduceerd werden in grond, vooraf vermengd met bentoniet. De hoeveelheid bentoniet bleek omlaag gebracht te kunnen worden als het inoculum eerst in een suspensie met bentoniet vermengd werd, en vervolgens aan de grond werd toegevoegd. Een vergelijkbaar resultaat werd verkregen als het inoculum gevries-droogd werd (in aanwezigheid van melkpoeder), vervolgens vermengd met bentoniet en dan toegevoegd aan de grond.

Er is een statistisch verband aangetoond tussen de overleving van rhizobia 57 dagen na introductie in de gebruikte zandgrond, al dan niet met toegevoegde kleimineralen, en de poriegrootte-verdeling van de grond. De relatie was als volgt:

$$S_{d57} = 6.98 + 0.04_{P<3\mu m} + 0.92_{P3-6\mu m} - 1.92_{P6-15\mu m},$$

waarin S het aantal cellen aanwezig op dag 57 vertegenwoordigt, en $P<3\mu m$, $P3-6\mu m$ en $P6-15\mu m$ de volumes van poriën met halzen van, respectievelijk $< 3\mu m$, $3-6\mu m$ en $6-15\mu m$ voorstellen.

De verbeterde overleving na toevoeging van bentoniet kon nu gecorreleerd worden aan de toename van het aantal poriën $< 6\mu m$ in vergelijking tot monsters waaraan geen bentoniet was toegevoegd.

Het grote aantal beschermende microhabitats (poriën $< 6\mu m$) aanwezig in de zandgrond met bentoniet-toevoeging zou zich moeten uiten in een veel hoger maximaal aantal bacteriën dat in deze grond kan overleven, in vergelijking tot de zandgrond zonder bentoniet-toevoegingen. Na toevoeging van een inoculum van 10^{10} cellen/g droge grond bleken er in aanwezigheid van 10% bentoniet 10.000 tot 100.000 maal meer bacteriën te overleven dan bij afwezigheid van bentoniet.

Competitiviteit van een genetisch gemodificeerd micro-organisme

De populatiedynamica van twee genetisch gemodificeerde *Pseudomonas fluorescens* stammen, C5t en D5, in competitie met een spontane antibioticum-resistente mutant van het wild-type, werd bestudeerd in zwak lemig zand. Stam D5 bevatte een Tn5 insertie op het chromosoom, en C5t een Tn5-tox insertie (= *Bacillus thuringiensis* var. *morrisoni* δ -endotoxine gen in Tn5). Genexpressiestudies via Western blotting en een bio-assay op *Anopheles stephensi* larven toonden aan dat het δ -endotoxine in C5t geproduceerd werd. De groeisnelheid van C5t en D5 in minimaal medium was licht gereduceerd t.o.v. het wild-type. D5 was redelijk competitief tijdens groei in groeimedium in aanwezigheid van de niet-gemodificeerde stam, maar C5t competeerde minder goed. Zowel in steriel als in niet-steriel zwak lemig zand waren beide stammen iets minder competitief dan de ongemodificeerde stam; deze afgenomen 'fitness' was ecologisch gezien evenwel klein. Aanwezigheid van 10% bentoniet in de grond stabiliseerde zowel de totale geïntroduceerde *P. fluorescens* populaties, als ook de verhouding gemodificeerde/niet-gemodificeerde cellen. In de rhizosfeer en rhizoplane van tarwe in dit zwak lemig zand, tenslotte, was er een lichte afname in deze verhouding, vergeleken met de corresponderende bulkgrond.

Overleving en plasmide-stabiliteit in drainagewater

Graslandisolaat *Pseudomonas fluorescens* R2f met plasmide RP4 overleefde één jaar na introductie in landbouw-drainagewater, zowel na filter-sterilisatie als in aanwezigheid van de autochtone microflora. Het reeds na 30 dagen waargenomen verlies van plasmide RP4 bleef ook na één jaar aanwezig. Immunofluorescentie toonde aan dat niet-cultiveerbare R2f-cellen aanwezig waren, zowel in filter-gesteriliseerd als niet-gesteriliseerd drainagewater. Met behulp van totaal DNA-

13. Publikaties

Wetenschappelijke tijdschriften, boeken, symposiumverslagen en vakbladen

Bloem, J. 1989. Bacterial production, protozoan grazing, and mineralization in stratified Lake Vechten. Landbouwniversiteit Wageningen, Dissertatie LU-1306, 72 pp.

Bloem, J., 1990. The effect of detrital addition on the development of nano-flagellates and bacteria in Lake Kinneret. J. Plankton Res. 12: 185-199.

Bloem, J. and M.J.B. Bär-Gilissen, 1989. Bacterial activity and protozoan grazing potential in a stratified lake. Limnol. Oceanogr. 34: 297-309.

Bloem, J., F.M. Ellenbroek, M.J.B. Bär-Gilissen and Th.E. Cappenberg, 1989. Protozoan grazing and bacterial production in stratified Lake Vechten estimated with fluorescently labeled bacteria and by thymidine incorporation. Appl. Environ. Microbiol. 55: 1787-1795.

Bloem, J., C. Albert, M.J.B. Bär-Gilissen, T. Berman and Th.E. Cappenberg, 1989. Nutrient cycling through phytoplankton, bacteria and protozoa, in selectively filtered Lake Vechten Water. J. Plankton Res. 11: 119-131.

Boogert, P.H.J.F. van den, 1989. Colonization of roots and stolons of potato by the mycoparasitic fungus *Verticillium biguttatum*. Soil Biol. Biochem. 21: 255-262.

Boogert, P.H.J.F. van den, 1989. Nutritional requirements of the mycoparasitic fungus *Verticillium biguttatum*. Neth. J. Plant Pathol. 95: 149-156.

Boogert, P.H.J.F. van den, G. Jager and H. Velvis, 1990. *Verticillium biguttatum*, an important mycoparasite for the control of *Rhizoctonia solani* in potato. In: D. Hornby (ed.), Biological control of soil-borne plant pathogens. CAB International, Wallingford (UK), pp. 77-92.

Boogert, P.H.J.F. van den, H. Reinartz, K.A. Sjollema and M. Veenhuis, 1989. Microscopic observations on the interaction of the mycoparasite *Verticillium biguttatum* with *Rhizoctonia solani* and other soil-borne fungi. Antonie Leeuwenhoek 56: 161-174.

Boon, J. van der, J.W. Steenhuizen and E.G. Steingröver, 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH_4/NO_3 ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. J. Hortic. Sci. 65: 309-321.

Bresser, A.H.M. and W. Salomons, 1990. Acidic precipitation, Vol. 5: International overview and assessment. In: D.C. Adriano and W. Salomons (eds.), Advances in Environmental Science. Springer-Verlag, New York, 344 pp.

Bril, J. and W. Salomons, 1990. Chemical composition of animal manure: a modelling approach. Neth. J. Agric. Sci. 38: 333-351.

Bril, J. and W. Salomons, 1990. Chemical composition of animal manure: a modelling approach. In: P. del Castillo, W.H. Rulkens and W. Salomons (eds.), Proc. Symposium Utrecht 13-14 juni 1990. KNCV Symposia-reeks nr. 1. KNCV, Den Haag, pp. 201-220.

Brussaard, L., 1990. Bodemfauna. Handboek voor Milieubeheer, B 2310, Samson, Alphen aan de Rijn, pp. 1-13.

- Brussaard, L., L.A. Bouwman, M. Geurs, J. Hassink and K.B. Zwart, 1990. Biomass, composition and temporal dynamics of soil organisms of a silt loam soil under conventional and integrated management. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 283-302.
- Brussaard, L., D.C. Coleman, J.A. Crossley Jr., W.A.M. Didden, P.F. Hendrix and J.C.Y. Marinissen, 1990. Impact of earthworms on soil aggregate stability. *Trans. 14th Int. Congr. Soil Sci.* III, 100-105.
- Buresh, R.J., P.L.G. Vlek and K. Harmsen, 1990. Fate of fertilizer nitrogen applied to wheat under simulated Mediterranean environmental conditions. *Fert. Res.* 23: 25-36.
- Castilho, P. del, W.H. Rulkens and W. Salomons (eds.), 1990. Dierlijke mest: problemen en oplossingen. *Proc. Symposium Utrecht 13-14 juni 1990. KNCV Symposia-reeks nr. 1. KNCV, Den Haag*, 477 pp.
- Coleman, D.C., L. Brussaard, H.M. Baere, P.F. Hendrix, J. Hassink, C.E. Heijnen and J.C.Y. Marinissen, 1989. Microbial-fauna interactions as they influence soil organic matter dynamics. In: T. Hattori, Y. Ishida, Y. Maruyama, R.Y. Morita and A. Uchida (eds.), *Recent advances in microbial ecology, Proc. Vth Int. Symp. Microbial Ecol., Kyoto, Japan*, pp. 175-179.
- Dalenberg, J.W. and W. van Driel, 1990. Contribution of atmospheric deposition to heavy-metal concentrations in field crops. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 369-379.
- Dalenberg, J.W. and G. Jager, 1989. Priming effect of some organic additions to ¹⁴C labelled soil. *Soil Biol. Biochem.* 21: 443-448.
- Das, A., 1990. Vergelijking bomen met kale wortels en potgrondkluit: Zorg en nazorg beste remedie voor goed aanslaan. *Tuin en Landschap* 21: 24-25.
- Delver, P., 1988. Jonge appelbomen profiteren van druppelbevloeiing en fertigatie. *Meststoffen* 1: 40-44.
- Delver, P. and S.J. Wertheim, 1988. Promotion of early growth and cropping of apple by trickle irrigation and planting-hole treatments. *Gartenbauwissenschaften* 53: 128-132.
- Dijk, T.A. van, 1989. Het gebruik van dierlijke mest op grasland. 3. Fosfaatwerking van in het voorjaar geïnjecteerde dunne rundermest in het jaar van toediening. 4. Kaliwerking van in het voorjaar geïnjecteerde dunne rundermest in het jaar van toediening. *Meststoffen* 2/3: pp. 5-9 en 10-13.
- Dijk, T.A. van, J. Postmus and W.H. Prins, 1990. Long-term application of farmyard manure on grassland: effects on herbage yield and distribution of N and P in the soil profile. *Proc. of the 13th General Meeting of the European Grassland Federation, Banska Bystrica, 25-29 June 1990, Volume I*, pp. 159-164.
- Dijk, T.A. van, J. Postmus and W.H. Prins, 1990. Long-term application of farmyard manure on grassland: effects on herbage yield and distribution of N and P in the soil profile. *Meststoffen* 3: 29-32.
- Dijksterhuis, G.H. and O. Oenema, 1990. Studies on the effectiveness of various sulfur fertilizers under controlled conditions. *Fert. Res.* 22: 147-159.
- Dilz, K., J. Postmus and W.H. Prins, 1990. Residual effect of long-term applications of farmyard manure to silage maize. A study to test the Sluijsmans-Kolenbrander model. *Fert. Res.* 26: 249-252.
- Driel, W. van and K.W. Smilde, 1990. Micronutrients and heavy metals in Dutch agriculture. *Fert. Res.* 25: 115-126.

- Elsas, J.D. van and C.E. Heijnen, 1990. Methods for the introduction of bacteria into soil: A review. *Biol. Fertil. Soils* 10: 127-133.
- Elsas, J.D. van and J.T. Trevors, 1990. Plasmid transfer to indigenous bacteria in soil and rhizosphere: problems and perspectives. In: J.C. Fry and M.J. Day (eds.), *Bacterial genetics in natural environments*. Chapman & Hall, London, pp. 188-199.
- Elsas, J.D. van, J.T. Trevors, M.E. Starodub and L.S. van Overbeek, 1990. Transfer of plasmid RP4 between pseudomonads after introduction into soil; influence of spatial and temporal aspects of inoculation. *FEMS Microbiol. Ecol.* 73: 1-12.
- Elsas, J.D. van, M. Nikkel and L.S. van Overbeek, 1989. Detection of plasmid RP4 transfer in soil and rhizosphere, and the occurrence of homology to RP4 in soil microorganisms. *Curr. Microbiol.* 197: 375-381.
- Elsas, J.D. van, J.T. Trevors, L.S. van Overbeek and M.E. Starodub, 1989. Survival of *Pseudomonas fluorescens* containing plasmids RP4 of pRK2501 and plasmid stability after introduction into two soils of different texture. *Can. J. Microbiol.* 35: 951-959.
- Enckevort, P.L.A. van, 1989. Stikstof als produktiefactor en potentiële verontreinigingsbron. *Handboek voor Milieubeheer. Deel IV. Bodembescherming*, G 1200. Samson, Alphen aan de Rijn, pp. 1-19.
- Enckevort, P.L.A. van, A. Landman, H.H.H. Titulaer en E.J. Jansen, 1990. Mogelijkheden om uitspoeling van voedingsstoffen uit dierlijke mest te beperken. *Thema-dag Benutting van dierlijke mest in de akkerbouw. Themaboekje 10. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad*, pp. 53-68.
- Erp, P.J. van en T.A. van Dijk, 1989. Verwerkte mest, een voorspelbare stikstof- en fosfaatmeststof? *Congres 'Meststoffen, Milieu en Akkerbouw'*, Veenendaal, 21 februari 1989, pp. 77-84.
- Erp, P.J. van en T.A. van Dijk, 1990. Verwerkte mest: meststof voor de akkerbouw? *Thema-dag Benutting dierlijke mest in de akkerbouw. Themaboekje 10. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad*, pp. 79-85.
- Erp, P.J. van and P. van Lune, 1989. A new method for determining the relation between soil- and plant-cadmium. *Plant Soil* 116: 119-122.
- Faassen, H.G. van and G. Lebbink, 1990. Nitrogen cycling in high-input versus reduced-input arable farming. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 265-282.
- Geurs, M., J. Bongers and L. Brussaard, 1991. Improvements to the heptane flotation method for collecting micro-arthropods from silt loam soil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 34, 213-221.
- Gijsman, A.J., 1990. Nitrogen nutrition of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) on strongly acid sandy soil. I. Growth, nutrient uptake and ionic balance. *Plant Soil* 126: 53-61.
- Gijsman, A.J., 1990. Nitrogen nutrition of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*) on strongly acid sandy soil. II. Proton excretion and rhizosphere pH. *Plant Soil* 126: 53-61.
- Gijsman, A.J., 1989. Rhizosphere pH along different root zones of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii*), as affected by source of nitrogen. In: M.L. van Beusichem (ed.), *Plant nutrition - physiology and applications; Proc. 11th Int. Plant Nutrition Colloquium*, 30 July - 4 August 1989, Wageningen, pp. 45-51.
- Goor, B.J. van, 1989. Calciumziekten bij groenten onder glas. In: *Informatiereeks No. 87, Bemesting en grondonderzoek in de glastuinbouw. Proefstation voor de Tuinbouw onder Glas, Naaldwijk*, pp. 53-64.

- Goor, B.J. van, 1989. Opname voedingsstoffen in de groeiperiode niet constant. *Groenten en Fruit*, 24 maart: 52-53.
- Goor, B.J. van, 1990. Organische stoffen beïnvloeden opname en groei. *Tuinderij*, 30 augustus: 30-31.
- Goor, B.J. van, 1989. Plantenteelt voor geneesmiddelen. Perspectieven afhankelijk van veel factoren. *Tuinderij*, 26 oktober: 44-45.
- Goor, B.J. van, 1990. Rol van spoorelementen niet altijd duidelijk. Titanium, vanadium, chroom en molybdeen. *Groenten en Fruit*, 20 april: 48-49.
- Goor, B.J. van, 1990. Silicium populair; borium noodzaak, aluminium giftig. *Groenten en Fruit*, 4 mei: 42-43.
- Goor, B.J. van, 1990. Spoorelementen gedragen zich verschillend in de plant. Mangaan, ijzer, koper en zink. *Groenten en Fruit*, 13 april: 50-51.
- Goor, B.J. van, 1989. Veel factoren hebben invloed op wortelactiviteit. *Groenten en Fruit*, 4 augustus: 34-35.
- Goor, B.J. van, 1990. Zeldzame aardelementen: zijn het spoorelementen? *Groenten en Fruit*, 27 april: 47.
- Goor, B.J. van, C.F.M. Wubben en A. Huys, 1989. Eerste proeven naar effect substraat op wortelstelsel. *Groenten en Fruit*, 4 augustus: 37.
- Goor, B.J. van, A. de Jager and W. Voogt, 1989. Nutrient uptake by some horticultural crops during the growing period. In: *Proc. 7th Intern. Congress on Soilless Culture*, 13-21 May 1988, Flevohof, the Netherlands. ISOSC, Wageningen, pp. 163-176.
- Greenwood, D.J., G. Lemaire, G. Gosse, P. Cruz, A. Draycott and J.J. Neeteson, 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.* 66: 425-436.
- Groot, J.J.R., 1989. Verbetering stikstofbemestingsadvies mogelijk voor wintertarwe. *Meststoffen* 2/3: 31-35.
- Groot, J.J.R. and H. van Keulen, 1990. Prospects for improvement of N-fertilizer recommendations for cereals: a simulation study. In: M.L. van Beusichem (ed.), *Plant nutrition - physiology and applications*, Kluwer, Dordrecht, pp. 685-692.
- Groot, J.J.R. en E.L.J. Verberne, 1990. Lange-termijn effecten van verlaagde bemesting op bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst. *Meststoffen* 1/2: 14-19.
- Grzebisz, W., J. Floris and M. van Noordwijk, 1989. Loss of dry matter and cell contents from fibrous roots of sugar beet due to sampling, storage and washing. *Plant Soil* 113: 53-57.
- Hairiah, K. and M. van Noordwijk, 1989. Root distribution of leguminous cover crops in the humid tropics and effects on a subsequent maize crop. In: J. van der Heide (ed.), *Nutrient management for food crop production in tropical farming systems*. Institute for Soil Fertility Research, Haren and Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, pp. 157-169.
- Harmsen, K., 1990. Het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid 1890-1990. *Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren (Gr.)*, 108 pp.
- Harmsen, K., 1990. In memoriam C.M.J. Sluijsmans (1926-1990) (in Dutch and English). *Meststoffen* 1/2: 6-7.

- Harmsen, K., 1990. In memoriam C.M.J. Sluijsmans (1926-1990). ISSS Bulletin 77 (1990/1): 36-37.
- Harmsen, K., 1990. The Institute for Soil Fertility Research 1890-1900. Neth. J. Agric. Sci. 38: 205-220.
- Harmsen, K., H. Loman and J.J. Neeteson, 1990. A derivation of the Pierre-Sluijsmans equation used in the Netherlands to estimate the acidifying effect of fertilizers applied to agricultural soils. Fert. Res. 26: 319-325.
- Hassink, J., D. Scholefield and P. Blartern, 1990. Nitrogen mineralisation in grassland soils. In: N. Gaborcik, V. Krajcovic and M. Zimkova (eds.), Soil-Grassland-Animal Relationships, Volume II. Proceedings 13th General Meeting of the European Grassland Federation, Banska Bystrica, pp. 25-32.
- Heide, J. van der (ed.), 1989. Nutrient management for food crop production in tropical farming systems. Institute for Soil Fertility Research, Haren, the Netherlands, and Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, 394 pp.
- Heide, J. van der and K. Hairiah, 1989. The role of green manures in rainfed farming systems in the humid tropics. Ileia 5.2: 11-13.
- Heijde, H.B. van der, P.J. Klijn, K. Duursma, D. Eisma, A.J. de Groot, P. Hagel, H.W. Köster and J.L. Nooyen, 1990. Environmental aspects of phosphate fertilizer production in the Netherlands. With particular reference to the disposal of phosphogypsum. Sci. Total Environ. 90: 203-225.
- Heijnen, C.E., J. Postma and J.A. van Veen, 1990. The significance of artificially formed and originally present protective microniches for the survival of introduced bacteria in soil. Trans. 14th Int. Congr. Soil Sc. III, 88-93.
- Heinen, M. and P.A.C. Raats, 1990. Evaluation of two models describing the steady discharge from a constant head well permeameter into unsaturated soil. Soil Sci. 150: 401-412.
- Henkens, Ch.H. en K.W. Smilde, 1989. Opneming en accumulatie van zware metalen door planten. Handboek voor milieubeheer: Deel IV. Bodembescherming, G 5200, Samson, Alphen aan de Rijn, pp. 1-22.
- Institute for Soil Fertility Research, 1990. 100th anniversary of IB 1990: papers on current research. Neth. J. Agric. Sci. 38, 3A: 205-397.
- Jager, G. and H. Velvis, 1989. Dynamics of damage from *Rhizoctonia solani* in potato fields. In: J. Vos, C.D. van Loon and G.J. Bollen (eds.), Effects of crop rotation on potato production in the temperate zones. Kluwer, Dordrecht, pp. 237-246.
- Jager, G. en H. Velvis, 1989. Naar een geïntegreerde bestrijding van *Rhizoctonia solani*. Gewasbescherming-Dossier no. 2, pp. 40-43.
- Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., F. de Ley, H.J.C. Zwetsloot, J.F. Ponge and L. Brussaard, 1988. Soil microarthropods (Acari and Collembola) in two crop rotations on a heavy marine clay soil. Rev. Ecol. Biol. Sol 25: 175-202.
- Japenga, J. and K. Harmsen, 1990. Determination of mass balances and ionic balances in animal manure. Neth. J. Agric. Sci. 38: 353-367.
- Japenga, J., K.H. Zschuppe, A.J. de Groot and W. Salomons, 1990. Heavy metals and organic micropollutants in floodplains of the river Waal, a tributary of the river Rhine, 1958-1981. Neth. J. Agric. Sci. 38: 381-397.

Kodde, J. en J.A. Kipp, 1990. Meer zicht op waterverbruik appelbomen. De Fruitteelt 80 (26): 13-14.

Kodde, J. en J.A. Kipp, 1990. Watergift beter afstemmen op behoefte. De Fruitteelt 80 (28): 11-13.

Kooistra, M.J., G. Lebbink and L. Brussaard, 1989. The Dutch programme on soil ecology of arable farming systems. II. Geogenesis, agricultural history, field site characteristics and present farming systems at the Lovinkhoeve experimental farm. Agric. Ecosyst. Environ. 27: 361-387.

Koolen, A.J. and C. van Ouwerkerk, 1989. Report - NATO Advanced Workshop on Mechanics and Related Processes in Structured Agricultural Soils, St. Paul, Minnesota, USA, September 13-16, 1988. Soil Technol. 2: 209-210.

Kreij, C. de and Th.J.M. van den Berg, 1989. Nutrient uptake, production and quality of *Rosa hybrida* in rockwool as affected by electrical conductivity of the nutrient solution. In: M.L. van Beusichem (ed.), Plant nutrition - physiology and applications; Proc. 11th Int. Plant Nutrition Colloquium, 30 July - 4 August 1989, Wageningen, pp. 519-523.

Kreij, C. de and P.C. van Os, 1989. Production and quality of gerbera in rockwool as affected by electrical conductivity of the nutrient solution. In: Proc. 7th Intern. Congress on Soilless Culture, 13-21 May 1988, Flevohof, the Netherlands. Wageningen, ISOSC, pp. 255-264.

Kroeze, C., H.G. van Faassen and P.C. de Ruiter, 1989. Potential denitrification rates in acid soils under pine forest. Neth. J. Agric. Sci. 37: 345-354.

Kruijs, A.C.B.M. van der, J. van der Heide and B.T. Kang, 1989. Observations on decomposition rates of leaves of several shrub and tree species applied as mulch under humid tropical conditions. In: J. van der Heide (ed.), Nutrient management for food crop production in tropical farming systems. Institute for Soil Fertility Research, Haren and Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, pp. 361-366.

Kuikman, P.J., 1990. Mineralization of nitrogen by protozoan activity in soil. Ph D Thesis, Wageningen Agricultural University, 103 pp.

Kuikman, P.J. and J.A. van Veen, 1989. The impact of protozoan grazing on the availability of bacterial nitrogen to plants. Biol. Fertil. Soils 8: 13-18.

Kuikman, P.J., J.D. van Elsas, A.G. Jansen, S.L.G.E. Burgers and J.A. van Veen, 1990. Population dynamics and activity of bacteria and protozoa in relation to their spatial distribution in soil. Soil. Biol. Biochem. 22: 1063-1073.

Kuikman, P.J., A.G. Jansen, J.A. van Veen and A.J.B. Zehnder, 1990. Protozoan predation and the turnover of soil organic carbon and nitrogen in the presence of plants. Biol. Fertil. Soils 10: 22-28.

Kuikman, P.J., E. Liljeroth and J.A. van Veen, 1990. Interactions between plants and soil nutrient conditions and under predation by protozoa. Trans. 14th Int. Congr. Soil Sci., August 12-18, 1990, Kyoto, Japan, Vol. III, pp. 43-48.

Kuikman, P.J., M.M.I. van Vuuren and J.A. van Veen, 1989. Effect of soil moisture regime on predation by protozoa of bacterial biomass and the release of bacterial nitrogen. Agric. Ecosyst. Environ. 27: 271-279.

Lebbink, G., B. Proper and A. Nipshagen, 1989. Accelerated degradation of 1,3 - dichloropropene. Acta Hortic. 255: 361-371.

- Lekkerkerk, L.J.A., S.C. van de Geijn and J.A. van Veen, 1990. Effects of elevated atmospheric CO₂-levels on the carbon economy of a soil planted with wheat. In: A.F. Bouwman (ed.), Soils and the greenhouse effect. Wiley, Chichester, pp. 423-429.
- Lekkerkerk, L.J.A., J.A. van Veen and S.C. van de Geijn, 1990. Influence of climatic change on soil quality: consequences of increased atmospheric CO₂-concentration on carbon input. Proc. Workshop on Primary Productivity of European Agriculture and the Greenhouse effect, pp. 46-47.
- Liljeroth, E., 1990. Microorganisms in the rhizosphere of barley and wheat: The effects of variety and nitrogen fertilization. Ph D Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Svalöv, Zweden, 41 pp.
- Liljeroth, E. and E. Bååth, 1989. The influence of variety and nitrogen amendments on abundance of *Microdochium bolleyi* on barley roots. Zentralbl. Mikrobiol. 144: 181-185.
- Liljeroth, E., E. Bååth, I. Mathiasson and T. Lundborg, 1990. Root exudation and rhizoplane bacterial abundance of barley (*Hordeum vulgare* L.) in relation to nitrogen fertilization and root growth. Plant Soil 127: 81-89.
- Liljeroth, E., J.A. van Veen and H.J. Miller, 1990. Assimilate translocation to the rhizosphere of two wheat lines and subsequent utilization by rhizosphere microorganisms at two soil nitrogen levels. Soil Biol. Biochem. 22: 1015-1021.
- Liljeroth, E., G.C. Schelling and J.A. van Veen, 1990. Influence of different application rates of nitrogen to soil on rhizosphere bacteria. Neth. J. Agric. Sci 38: 255-264.
- Linden, A.M.A. v.d., L.L.J. Jeurissen, J.A. van Veen and B. Schippers, 1989. Turnover of the soil microbial biomass as influenced by soil compaction. In: J.A. Hansen and K. Henriksen (eds.), Nitrogen in organic wastes applied to soils, Acad. Press, London, pp. 25-36.
- Lubbers, G.W., W.W.C. Gieskes, P. del Castilho, W. Salomons and J. Bril, 1990. Manganese accumulation in the high pH environment of *Phaeocystis* sp. (Haptophyceae) colonies from the North Sea. Marine Ecol. Prog. Ser. 59, pp. 285-293.
- Meer, H.G. van, T.A. van Dijk en R.L.M. Schils, 1990. Milieuvriendelijk gebruik van dierlijke mest op grasland. Praktijkonderzoek 3: 17-22.
- Ma, W., L. Brussaard and J.A. de Ridder, 1990. Long-term effects of nitrogenous fertilizers on grassland earthworms (Oligochaeta: Lumbricidae): their relation to soil acidification. Agric. Ecosys. Env. 30: 71-80.
- Miller, H.J., G. Henken and J.A. van Veen, 1989. Variation and composition of bacterial populations in the rhizosphere of maize, wheat and grass cultivars. Can. J. Microbiol. 35: 656-660.
- Miller, H.J., E. Liljeroth, G. Henken and J.A. van Veen, 1990. Fluctuations in the fluorescent pseudomonad and actinomycete populations of rhizosphere and rhizoplane during the growth of spring wheat. Can. J. Microbiol. 36: 254-258.
- Molen, J. van der, A.C.M. Beljaars, W.J. Chardon, W.A. Jury and H.G. van Faassen, 1990. Ammonia volatilization from arable land after application of cattle slurry. 2. Derivation of a transfer model. Neth. J. Agric. Sci. 38: 239-254.
- Molen, J. van der, D.W. Bussink, N. Vertregt, H.G. van Faassen and D.J. den Boer, 1989. Ammonia volatilization from arable and grassland soils. In: K. Henriksen (ed.), Nitrogen in organic wastes applied to soils. Academic Press, London, pp. 185-201.

- Molen, J. van der, H.G. van Faassen, M.Y. Leclerc, R. Vriesema and W.J. Chardon, 1990. Ammonia volatilization from arable land after application of cattle slurry. 1. Field estimates. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 145-158.
- Moore, J.C., H.J.C. Zwetsloot and P.C. de Ruiter, 1990. Statistical analysis and simulation modelling of the belowground food webs of two winter wheat management practices. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 303-316.
- Neeteson, J.J., 1989. Assessment of fertilizer nitrogen requirement of potatoes and sugar beet. Ph D Thesis, Wageningen Agricultural University, 141 pp.
- Neeteson, J.J. 1990. Development of nitrogen fertilizer recommendations for arable crops in the Netherlands in relation to nitrate leaching. *Fert. Res.* 26: 291-298.
- Neeteson, J.J., 1989. Effect of legumes on soil mineral nitrogen and response of potatoes to nitrogen fertilizer. In: J.A. Vos, C.D. van Loon and G.J. Bollen (eds.), *Effects of crop rotation on potato production in the temperate zones*. Kluwer, Dordrecht, pp. 89-93.
- Neeteson, J.J., 1989. Effect of reduced fertilizer nitrogen application rates on yield and nitrogen recovery of sugar beet and potatoes. *Neth. J. Agric. Sci.* 37: 227-236.
- Neeteson, J.J., 1989. Evaluation of the performance of three advisory methods for nitrogen fertilization of sugar beet and potatoes. *Neth. J. Agric. Sci.* 37: 143-155.
- Neeteson, J.J., 1990. Nitrogen management and ground water protection. Book review. *Fert. Res.* 24: 123.
- Neeteson, J.J., 1990. Waarom bij het ene gewas wel en bij het andere geen risico van nitraatuitspoeling bij stikstofbemesting volgens het huidige advies? *Meststoffen* 1/2: 8-13.
- Neeteson, J.J. and P.A.I. Ehlert, 1989. Environmental aspects of applying inorganic fertilizers to sugar beet. In: *Proc. 52nd Winter Congress. IIRB, Brussels*, pp. 79-91.
- Neeteson, J.J. and W.P. Wadman, 1990. Ammonia volatilization and nitrate leaching after animal manure application to agricultural crops. In: *Proc. Sixth Intern. Symp. on Agricultural and Food Processing Wastes*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, pp. 148-159. Ook verschenen in: *Proc. Symp. "Dierlijke mest: problemen en oplossingen"*. Koninklijke Nederlandse Chemische Vereniging, 's-Gravenhage, pp. 95-108.
- Neeteson, J.J. and H.J.C. Zwetsloot, 1989. An analysis of the response of sugar beet and potatoes to fertilizer nitrogen and soil mineral nitrogen, *Neth. J. Agric. Sci.* 37: 129-141.
- Neeteson, J.J., K. Dilz and G. Wijnen, 1989. N-fertilizer recommendations for arable crops. In: J.C. Germon (ed.), *Management systems to reduce impact of nitrates*. Elsevier Applied Science, London, pp. 253-263.
- Neeteson, J.J., D.J. Greenwood and A. Draycott, 1989. Model calculations of nitrate leaching during the growth period of potatoes. *Neth. J. Agric. Sci.* 37: 237-256.
- Neeteson, J.J., W.P. Wadman and P.A.I. Ehlert, 1989. Assessment of optimum application rates of fertilizer K on the basis of response curves. In: *Methodology in soil-K research*, *Proc. 20th Colloquium, IPI, Worblaufen/Bern*, pp. 395-401.
- Noordwijk, M. van, 1989. Methods for quantification of root distribution pattern and root dynamics in the field. In: *Methodology in soil-K research*, *Proc. 20th Colloquium, IPI, Worblaufen/Bern*, pp. 263-281.

- Noordwijk, M. van, 1990. Root distribution pattern as influenced by soil structure. In: F.G.J. Tjink (ed.), Management bodemstructuur. IMAG, Wageningen, pp. 87-90.
- Noordwijk, M. van, 1989. Rooting depth in cropping systems in the humid tropics in relation to nutrient use efficiency. In: J. van der Heide (ed.), Nutrient management for food crop production in tropical farming systems. Institute for Soil Fertility Research, Haren, and Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, pp. 129-144.
- Noordwijk, M. van, 1990. Synchronisation of supply and demand is necessary to increase efficiency of nutrient use in soilless horticulture. In: M.L. van Beusichem (ed.), Plant nutrition - physiology and applications; Proc. 11th Int. Plant Nutrition Colloquium, 30 July - 4 August 1989, Wageningen, pp. 525-531.
- Noordwijk, M. van and Y.R. Dommergues, 1990. Root nodulation: the twelfth hypothesis (agroforestry and soil fertility). *Agroforestry Today* 2.2: 9-10.
- Noordwijk, M. van, P. de Willigen, P.A.I. Ehlert and W.J. Chardon, 1990. A simple model of P uptake by crops as a possible basis for P fertilizer recommendations. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 317-332.
- Oades, J.M., G.P. Gillman and G. Uehara with N.V. Hue, M. van Noordwijk, G.P. Robertson and K. Wada, 1989. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: D.C. Coleman, J.M. Oades and G. Uehara (eds.), Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. University of Hawaii Press, Honolulu, pp. 69-95.
- Oenema, O., J. Postmus, W.H. Prins and J.J. Neeteson, 1989. Seasonal variations in soil mineral nitrogen and in the response of grassland to nitrogen fertilization. *Proc. XVth Intern. Grassland Congress, Nice*, pp. 159-160. (Ook verschenen in *Meststoffen* 1/2, 1990, 46-48).
- Ouwerkerk, C. van (ed.), 1990. A tribute to Professor Ir. H. Kuipers. *Soil Tillage Res.* 16 (Special Issue), 244 pp.
- Ouwerkerk, C. van, 1989. 11th International Conference on Soil Tillage Research, Edinburgh, Scotland, July 11-15, 1988. *ISSS-bull.* No. 74 (1988/2), p. 16.
- Ouwerkerk, C. van, 1989. Experiences with reduced tillage in the Netherlands. In: K. Bäumer and W. Ehlers (eds.), Energy saving by reduced soil tillage. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp. 41-54.
- Ouwerkerk, C. van, 1989. ISTRO 88 in retrospect. *Soil Tillage Res.* 13: 179-188.
- Ouwerkerk, C. van, 1990. Professor Kuipers has ploughed his field. *Soil Tillage Res.* 16: 1-2.
- Ouwerkerk, C. van, 1990. Soil structure and mechanical resistance directly below the seedbed of cereals and root crops in three field experiments in the Netherlands. *Proc. 14th Int. Congr. Soil Sci.*, August 12-18, 1990, Kyoto, Japan, Vol. VI, pp. 80-85.
- Ouwerkerk, C. van and F.R. Boone, 1990. Professor Henk Kuipers: gifted architect of soil tillage research. *Soil Tillage Res.* 16: 3-21.
- Overbeek, L.S. van, J.D. van Elsas, J.T. Trevors and M.E. Starodub, 1990. Long-term survival of, and plasmid stability in, *Pseudomonas* and *Klebsiella* spp., and appearance of non-culturable cells in agricultural drainage water. *Microbiol. Ecol.* 19: 239-250.
- Pel, R., 1989. Microbial interactions in anaerobic chitin-degrading mixed cultures. Ph D Thesis RU-Groningen, 105 pp.

- Pel, R. and J.C. Gottschal, 1989. Interspecies interaction based on transfer of a thioredoxin-like compound in anaerobic chitin-degrading mixed cultures. *FEMS Microbiol. Ecol.* 62: 349-357.
- Pel, R., J.C. Gottschal and K.B. Zwart, 1990. Application of a pO₂-auxostat as a model in thermophilic composting of manure at low partial pressures of oxygen. In: J.J. Dekkers, H.C. van der Plas and D.H. Vuijk (eds.), *Agricultural biotechnology in focus in the Netherlands*. PUDOC, Wageningen, pp. 243-249.
- Pel, R., G. Hessels, H. Aalfs and J.C. Gottschal, 1989. Chitin degradation by *Clostridium* sp. strain 9.1 in mixed cultures with saccharolytic and sulfate-reducing bacteria. *FEMS Microbiol. Ecol.* 62: 191-200.
- Postma, J., 1989. Distribution and population dynamics of *Rhizobium* sp. introduced into soil. Landbouwwuniversiteit Wageningen, Dissertatie LU-1293, 121 pp.
- Postma, J. and J.A. van Veen, 1990. Habitable pore space and survival of *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* introduced into soil. *Microb. Ecol.* 19: 149-161.
- Postma, J., J.A. van Veen and S. Walter, 1989. Influence of different initial soil moisture contents on the distribution and population dynamics of introduced *Rhizobium leguminosarum* biovar. *trifolii*. *Soil Biol. Biochem.* 21: 437-442.
- Postma, J., C.H. Hok-A-Hin and J.A. van Veen, 1990. Role of microniches in protecting introduced *Rhizobium leguminosarum* biovar *trifolii* against competition and predation in soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 495-502.
- Prins, M.J.W. and P.A.C. Raats, 1989. Penetration depth of broadcast urea granules in puddled wetland rice soils. *Fert. Res.* 19: 29-38.
- Prins, W.H. and G.J.G. Rauw, 1989. Use of large granular urea (LGU) to improve efficiency of broadcast urea in wetland rice cultivation. *Fert. Res.* 19: 21-27
- Prins, W.H. and W.P. Wadman, 1990. Management of animal manures to reduce nitrate pollution of groundwater. In: R. Calvet (ed.), *Nitrates - Agriculture - Eau*, INRA, Paris, pp. 313-322.
- Raats, P.A.C., 1989. Review of "Developments in Hydraulic Engineering; Vol 4; P. Novak, Editor", *Hydrol. Sci. J.* 34: 740-741.
- Raats, P.A.C., 1990. Characteristic lengths and times associated with processes in the root zone. In: D. Hillel and D.E. Elrick (eds.), *Scaling in soil physics: principles and applications*, Chapter 6. Soil Science Society of America, Madison, pp. 59-72.
- Raats, P.A.C., 1990. On the roles of characteristic lengths and times in soil physical processes. *Proc. 14th Int. Congr. Soil Sci.*, August 12-18, 1990, Kyoto, Japan, Vol. I, pp. 202-207.
- Rappoldt, C., 1990. The application of diffusion models to an aggregated soil. *Soil Sci.* 150: 645-661.
- Ruiter, P.C. de, M.R. van Straaten, F.A. v. Eeuwijk, W. Slob, J.J.M. Bedaux and G. Ernsting, 1989. Effects of hunger and prey traces on the search activity of the predatory beetle *Notiophilus biguttatus*. *Entomol. Exp. Appl.* 51: 87-95.
- Salomons, W., 1989. Fate and behavior of trace metals in a shallow eutrophic lake. In: A. Boudou and F. Ribeyre (eds.), *Aquatic Ecotoxicology-Fundamental concepts and methodologies*. CRC Press, Boca Raton, pp. 185-200.
- Salomons, W. and J. Bril, 1990. Adsorption and release processes in estuaries. In: W. Michaelis (ed.), *Estuarine water quality management*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 405-412.

- Salomons, W. and A.M. Eagle, 1990. Hydrology, sedimentology and the fate and distribution of copper in mine related discharges in the Fly river system-Papua New Guinea. *Sci. Tot. Env.* 97/98: 315-334.
- Salomons, W., J. Bril, J. Japenga, W.J. Chardon, P. del Castillo, J. Dalenberg, S.D. Scheltens en W. Schuurmans, 1990. Dierlijke mest: naar een integrale benadering van de processen. In: P. del Castillo, W.H. Rulkens and W. Salomons (eds.), *Proc. Symposium Utrecht 13-14 juni 1990*. KNCV Symposia-reeks nr. 1. KNCV, Den Haag, pp. 19-31.
- Sanchez, P.A., Ch.A. Palm, L.T. Szott, E. Cuevas and R. Lal with J.H. Fownes, P. Hendrix, H. Ikawa, S. Jones, M. van Noordwijk and G. Uehara, 1989. Organic input management in tropical agroecosystems. In: D.C. Coleman, J.M. Oades and G. Uehara (eds.), *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. University of Hawaii Press, Honolulu, pp. 69-95.
- Smilde, K.W., 1990. Lime and fertilizer application for crop yield improvement. In: *Proc. Workshop on acid sulphate soils in the humid tropics*, AARD/LAWOO, Bogor, pp. 224-237.
- Smilde, K.W., 1989. Nutrient supply and soil fertility. In: J.C. Zadoks (ed.), *Development of Farming Systems; Evaluation over the five-year period 1980-1984*, PUDOC, Wageningen, pp. 25-31.
- Smilde, K.W., 1989. Zware-metalen-balansen zijn niet in evenwicht. *Landbouwkundig Tijdschrift* 101 (2): 29-31.
- Smit, E. and J.D. van Elsas, 1990. Determination of plasmid transfer frequency in soil: consequences of bacterial mating on selective agar media. *Curr. Microbiol.* 21: 151-157.
- Trevors, J.T. and J.D. van Elsas, 1989. A review of selected methods in environmental microbial genetics. *Can. J. Microbiol.* 35: 895-902.
- Trevors, J.T., J.D. van Elsas, M.E. Starodub and L.S. van Overbeek, 1990. *Pseudomonas fluorescens* survival and plasmid RP4 transfer in agricultural water. *Water Res.* 24: 751-755.
- Trevors, J.T., J.D. van Elsas, M.E. Starodub and L.S. van Overbeek, 1989. Survival of and plasmid stability in *Pseudomonas* and *Klebsiella* spp. introduced into agricultural drainage water. *Can. J. Microbiol.* 35: 675-680.
- Trevors, J.T., J.D. van Elsas, L.S. van Overbeek and M.E. Starodub, 1990. Transport of a genetically engineered *Pseudomonas fluorescens* strain through a soil micro-cosm. *Appl. Environ. Microbiol.* 56: 401-408.
- Veen, J.A. van and P.J. Kuikman, 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter. *Biogeochemistry* 11: 213-233.
- Veen, J.A. van, R. Merckx and S.C. van de Geijn, 1989. Plant- and soil-related controls of the flow of carbon from roots through the soil microbial biomass. *Plant Soil* 115: 179-188.
- Velthof, G.L., O. Oenema, J. Postmus and W.H. Prins, 1990. Metingen van NH_3 -vervluchtiging uit ureum en kalkammonsalpeter op blijvend grasland. *Meststoffen* 1/2: 41-45.
- Velvis, H., P.H.J.F. van den Boogert and G. Jager, 1988. Role of antagonism in the decline of *Rhizoctonia solani* inoculum in soil. *Soil Biol. Biochem.* 21: 125-129.

Verberne, E.L.J. and J. Hassink, 1990. Modelling organic matter dynamics in grassland soils. In: N. Gaborcik, V. Krajcovic and M. Zimkova (eds.), Soil-grassland-animal relationships Volume I. Proc. 13th General Meeting of the European Grassland Federation, Banska Bystrica, pp. 206-210.

Verberne, E.L.J., J. Hassink, P. de Willigen, J.J.R. Groot and J.A. van Veen, 1990. Modelling organic matter dynamics in different soils. *Neth. J. Agric. Sci.* 38: 221-238.

Verhoef, H.A. and L. Brussaard, 1990. Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agro-ecosystems: the contribution of soil animals. *Biogeochemistry* 11: 175-211.

Wadman, W.P., 1990. Laat geen voedingsstoffen verloren gaan. Mogelijkheden om uitspoeling tegen te gaan. *Landbouwmecanisatie* 41 (9): 67-69.

Wadman, W.P. and P.A.I. Ehlert, 1989. Environmental effects of organic manures in sugar beet production. In: Proc. 52nd Winter Congress. IIR8, Brussels, pp. 93-101.

Wadman, W.P., J.J. Neeteson and H.J.C. Zwetsloot, 1990. Development of nitrogen fertilizer recommendations for potatoes and sugar beet on the basis of soil testing. *Kali-Briefe* 20: 171-180.

Wadman, W.P., J.J. Neeteson and G. Wijnen, 1989. Effects of slurry with and without the nitrification inhibitor dicyandiamide on soil mineral nitrogen and nitrogen response of potatoes. In: J.Aa. Hansen and K. Henriksen (eds.), Nitrogen in organic wastes applied to soils. Academic Press, London, pp. 304-314.

Willigen, P. de and M. van Noordwijk, 1989. Model calculations on the relative importance of internal longitudinal diffusion for aeration of roots of non-wetland plants. *Plant Soil* 113: 111-119.

Willigen, P. de and M. van Noordwijk, 1989. Rooting depth, synchronization, synlocalization and N-use efficiency under humid tropical conditions. In: J. van der Heide (ed.), Nutrient management for food crop production in tropical farming systems. Institute for Soil Fertility Research, Haren and Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, pp. 145-156.

Willigen, P. de, L. Bergström and R.G. Gerritse, 1990. Leaching models of the unsaturated zone: their potential use for management and planning. In: D.G. Decoursey (ed.), Proc. Int. Symp. on Water Quality Modeling of Agricultural Non-point Sources, part 1, June 19-23, 1988, Utah State University. Logan, Utah. United States Department of Agriculture, ARS-81 (1990), pp. 105-128

Zwart, K.B., 1990. Biotechnological aspects of manure and manure cake composting. In: J.J. Dekkers, H.C. van der Plas and D.H. Vuijk (eds.), Agricultural biotechnology in focus in the Netherlands. PUDOC, Wageningen, pp. 241-243.

Rapporten, verslagen en nota's

Boogert, P.H.J.F. van den en G. Jager, 1990. Ecologie van de parasitaire schimmel *Verticillium biguttatum*. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 38-42.

Boon, J. van der, 1988. Teelt van laanbomen en chrysant op steenwol buiten. (With a summary: Outdoor production of acer and chrysanthemum on rockwool.) Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 13-87, 74 pp.

Boon, J. van der, H. Niers, J.H.G. Slangen en H.H.H. Titulaer, 1989. Nitraat in spinazie bij gedeelde stikstofbemesting. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 213, 69 pp.

Boxma, R., 1989. Arseencyclus in grond. Deel 1. Literatuurstudie. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 214, 50 pp.

Brussaard, L., L.A. Bouwman, K.B. Zwart en P.C. de Ruiter, 1989. De rol van bodemorganismen bij de mineralisatie van stikstof (voedselwebonderzoek). In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 27-30.

Castilho, P. del, 1990. Oriënterend literatuuronderzoek naar de mogelijkheden van GPC bij metaalcomplexeringsonderzoek. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 227, 25 pp.

Das, A., 1989. Bemesting en druppelbevloeiing van 'oudere' laanbomen in containers en vollegrond. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 201, 23 pp.

Dijk, T.A. van, 1989. Nawerking van fosfaat uit in vorige jaren geïnjecteerde dunne rundermest op grasland. Jaarverslag ROC Bosma Zathe 1988: 29-30.

Driel, W. van, 1989. Zware metalen in oevergronden van Maas, Geul en Roer in de provincie Limburg. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 100-103.

Driel, W. van en J.W. Dalenberg, 1989. Bijdrage van de atmosferische depositie aan de opname van lood en cadmium door veldgewassen. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 96-100.

Ehlert, P.A.I. (red.), 1990. Herziening van de lijst van Meststoffen van het Meststoffenbesluit 1977. Nota (vertrouwelijk) Werkgroep "Herziening Lijst van Meststoffen", Haren, 62 pp.

Ehlert, P.A.I., 1990. Onderzoek naar de fosfaatwerking van as van ontwaterde en verbrande varkensdrijfmest. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 233, 49 pp.

Erp, P.J., P. van Lune en A. de Jong, 1990. Zuiveringsslib in de akkerbouw. Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad. Verslag no. 98, 55 pp.

Faassen, H.G. van, W.J. Chardon, J. Bril and R. Vriesema, 1990. Ammonia volatilization from arable land after surface application or incorporation of dairy cattle slurry. Final report project 132. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 236, 83 pp.

Faassen, H.G. van, G. Lebbink, M. van Noordwijk en W.P. Wadman, 1989. Stikstofbalans voor wintertarwe in een gangbaar en in een geïntegreerd teeltsysteem. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 22-26.

Groot, A.J. de, J.J. Vegter, J.H.M. Schobben, Y.A. Eijs en N.M. van Straalen, 1989. Rapport normering van waterbodems. Technische Commissie Bodembescherming, Leidschendam, 79 pp.

- Groot, J.J.R., P. de Willigen en W.P. Wadman, 1989. Nitraatophoping in de bodem en nitraatuitspoeling ten gevolge van stikstofbemesting in de landbouw. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 216, 24 pp.
- Harmanny, K., 1989. Een verbeterde electrolyt voor de Lode zuurstofsonde. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 206, 20 pp.
- Heide, J. van der, 1990. Achtergrondinformatie FAO-kunstmestprogramma Nepal. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 225, 18 pp.
- Heide, J. van der, 1990. Achtergrondinformatie projectvoorstel PSS. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 226, 15 pp.
- Heide, J. van der, 1990. Rapport fin de mission AGP/SOTUBA, mars/avril 1990. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 228, 16 pp.
- Heide, J. van der, 1989. Rapport mission d'appui au cellule agro-pedologie S.R.C.V.O., Sotuba, Mali. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 205, 13 pp.
- Heide, J. van der, 1989. Rapport mission de formulation Bureau National des Sols, Ouagadougou, Burkina Faso. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 204, 25 pp.
- Heide, J. van der, 1990. Use of the uplands in Lao People's Democratic Republic. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 224, 30 pp.
- Heide, J. van der en M. van Noordwijk, 1989. Stikstofbenutting in teeltsystemen in de natte tropen. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 116-123.
- Heide, J. van der, R. Coster et A. Sawadogo, 1990. Rapport final, Mission d'évaluation sur l'utilisation des engrais au Burkina Faso. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 232, 73 pp.
- Heide, J. van der and A. Kater, 1990. Report of the evaluation of the third phase of three projects of cooperation between Vietnamese and Dutch universities. CESO, The Hague, 60 pp.
- Heinen, M., 1990. Analytical growth equations and their Genstat 5 equivalents. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 223, 48 pp.
- Heinen, M., 1990. The use of ion-selective electrodes in NFT systems. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 222, 29 pp.
- Heinen, M., A. de Jager en H. Niers, 1990. Regeling van het nutriëntenaanbod aan planten in kunstmatige substraten. 1. Systeembeschrijving en oriënterend experiment met sla (With an English summary: Control of nutrient supply to plants on artificial substrates. 1. System description and preliminary experiment with lettuce). Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 221, 78 pp.
- Hoa, Nguyen My and G. Agterberg, 1989. Establishment of nitrogen and phosphorous fertilizer recommendations for rice in the Mekong Delta, Viet Nam. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 219, 20 pp.
- Ietswaart, H., 1990. Bepalen van bodemparameters met een disc-permeameter. Van Hall Instituut Groningen, Rapport 1990/L 4A 13, 34 pp. + bijlagen.
- Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, 1989. Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, 147 pp.
- Jager, G., H. Velvis, J.G. Lamers, A. Mulder en Js. Roosjen, 1989. Geïntegreerde bestrijding van *Rhizoctonia solani* in aardappel. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 211, 88 pp.

- Jager, A. de en K. Harmanny, 1988. De groei van bomen op grond gemengd met gecomposteerd zuiveringsslib. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 200, 84 pp.
- Jager, A. de en J. Floris, 1989. Evaluatie van endoscopie als alternatief voor wortelbemonstering. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 46-51.
- Japenga, J. en P.A.I. Ehlert, 1989. Chemisch-analytische definitie van zuur- en base-inbreng van meststoffen bestemd voor toediening aan groeimedia. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 220, 15 pp.
- Joly, C., J. van der Heide and K. Lampe, 1990. Final Report Tripartite Review Mission GCPF/NEP/030/NET. FAO, Rome.
- Kipp, J.A. en C. Oele, 1989. Fertigatie in de fruitteelt. Jaarverslag Proefstation voor de Fruitteelt, Wilhelminadorp, 1989, pp. 89-93.
- Loman, H. 1989. Netto zuurbelasting van de bodem door atmosferische depositie. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 207, 44 pp.
- Lune, P. van en K.W. Smilde, 1989. Het bepalen van de opname van cadmium, lood en zink door planten op Veenzijde II te Wilnis bij hoge zware-metaalgehalten in het grondwater. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 218, 13 pp.
- Molen, J. van der, H.G. van Faassen, R. Vriesema en G. Bezu, 1989. Ammoniak-emissie na uitrijden van drijfmest. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 109-111.
- Neeteson, J.J., D.J. Greenwood en A. Draycott, 1989. Een simulatiemodel voor de reactie van aardappelen op stikstofbemesting. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 78-81.
- Noordwijk, M. van, 1989. N-management in the humid tropics: report of a field visit to Ketapang (Lampung, Sumatera, Indonesia) in August 1988 and January 1989, including observations on roots and water infiltration. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 208, 28 pp.
- Noordwijk, M. van, 1989. Tree roots as components of agro-forestry systems; Reader for IBSRAM/ICRAF Workshop on Research in Soil Management and Agroforestry, Nairobi 25 November - 3 December 1989. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 217, 46 pp.
- Noordwijk, M. van en P. de Willigen, 1989. Bewortelingsintensiteit en efficiëntie van meststofopname. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 68-73.
- Ouwerkerk, C. van en J. Koning, 1989. IB 0029 - Vergelijking van gangbare en geïntegreerde akkerbouw; algemene proefveldgegevens voor oogstjaar 1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 209, 19 pp.
- Projectgroep Heropstelling Ondersteunende Diensten, 1989. Rapportage project heropstelling ondersteunende diensten IB. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 215, 77 pp.
- Raats, P.A.C., 1989. Dosering van water en nutriënten in de Nederlandse tuinbouw. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 61-64.
- Raats, P.A.C., 1989. Transport van water en opgeloste stoffen in en beneden de wortelzone. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 52-56.

- Slangen, J.H.G., H.H.H. Titulaer, H. Niers en J. van der Boon, 1989. Stikstofbemesting van ijssla (*Lactuca sativa* L. var. capitata) (Veldproeven 1985-1987). Proefstation voor de Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad. Verslag 81, 38 pp.
- Slangen, J.H.G., H.H.H. Titulaer, H. Niers en J. van der Boon, 1990. Stikstofbemesting van peen. Proefstation voor de Akkerbouw en Groenteteelt in de Vollegrond, Lelystad. Verslag 95, 22 pp. + bijlage.
- Steenhuizen, J.W., 1987. Het nitraatgehalte van sla op voedingsfilm. 6. EC-waarde en Ca/Mg-verhouding van de voedingsoplossing (With a summary: Nitrate content of lettuce on nutrient culture (NFT). 6. EC level and Ca/Mg ratio of the nutrient solution). Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 8-87, 89 pp.
- Steenhuizen, J.W., 1988. Het nitraatgehalte van sla op voedingsfilm. 7. Invloed chlorideconcentratie in de voedingsoplossing. (With a summary: Nitrate content of lettuce on nutrient culture (NFT). 7. Effect of chloride concentration of the nutrient solution). Inst. Bodemvruchtbaarheid, Rapp. 11-87, 110 pp.
- Themagroep Trofische Interacties in de Bodem, 1990. Trofische interacties in de bodem, Rapport 1989. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 234, 51 pp.
- Veen, J.A. van, 1990. Final report, project no. 107, Dutch Priority programme on acidification. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren. Nota 231, 43 pp.
- Vos, J.A. de, 1990. Waterbalans van de onverzadigde zone van de bodem in relatie tot bodemwaterkwaliteit. In: 8e Studiebijeenkomst van de Commissie Hydrologisch Onderzoek TNO CHO, Rapport/Nota 23, pp. 125-126.
- Vos, J.A. de, 1990. Watergehaltemetingen met behulp van Time Domain Reflectometry. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 231, 43 pp.
- Wadman, W.P. en J.H.A.M. van Steenvoorden (eds.), 1990. Advies beperking uitrijperiode van dierlijke meststoffen voor de tweede fase van de mestregelgeving. Onderzoek inzake de mest- en ammoniakproblematiek in de veehouderij 6. DLO, Wageningen, 98 pp.
- Wadman, W.P., C.M.J. Sluijsmans en L.C.N. de la Lande Cremer, 1989. Werking van stikstof uit kunstmest en dunne rundermest op gemaaid grasland. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 86-91.
- Willigen, P. de, 1990. Calculation of uptake of nutrients and water by a root system. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 210, 79 pp.
- Zoon, F.C., 1990. Perspectieven voor onderzoek naar de rol van mycorrhizas in het functioneren van bodemecosystemen. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Nota 229, 69 pp.
- Zijdeveld, K., J. van der Heide et Z. Traore, 1990. Bilan de l'aide néerlandaise (1984-1989) à la balance des paiements de la République de Mali. PARDEC, Wageningen, Pays-Bas, 16 pp.
- Zwetsloot, H.J.C., 1989. De betekenis van correspondentie-analyse voor het bodem-ecologisch onderzoek. In: Jaarverslag 1986-1988. Inst. Bodemvruchtbaarheid, Haren, pp. 30-33.

Abstracts

Castilho, P. del, J. Bril and W. Salomons, 1990. Concentrations of heavy metals and their speciation in the soil solution. Abstract Int. Conf. on Metals in Soils, Waters, Plants and Animals. Orlando, Florida, U.S.A., April 30 - May 3 1990, p. 225.

Castilho, P. del, J. Japenga and R. Vriesema, 1990. Laboratoriumsimulatie en veldonderzoek naar bodemprocessen in relatie tot mobiliteit van zware metalen: dynamiek, speciatie en rol van de organische stof. Lezing 3e symposium Speerpuntprogramma Bodemonderzoek, 26 t/m 28 nov. 1990, Lunteren. Cluster C4-9, pp. 1-4.

Chardon, W.J., J. van der Molen and H.G. van Faassen, 1990. Modelling ammonia emission from arable land. Poster presented at the 1990 Annual Meeting of the Amer. Soc. of Agronomy, San Antonio. Agron. Abstr. 1990: 225.

Harmen, K. and W. Salomons, 1990. Long-term behaviour of heavy metals in agricultural soils. Abstract Int. Conf. on Metals in Soils, Waters, Plants and Animals. Orlando, Florida, USA, April 30 - May 3 1990, p. 256.

Raats, P.A.C., 1989. Characteristic lengths and times associated with processes in the root zone. Agron. Abstr. 1989: 191.

Heinen, M., 1990. Control of composition of nutrient solution in NFT-systems. A. Experiment. Samenvatting poster gepresenteerd op TFDL studiedag Sensoren in de Plantaardige Teelt, april 1990, Wageningen. TFDL, Studiedagverslag, p. 2.

Heinen, M., 1990. Control of composition of nutrient solution in NFT-systems. B. Simulation. Samenvatting poster gepresenteerd op TFDL studiedag Sensoren in de Plantaardige Teelt, april 1990, Wageningen, TFDL, Studiedagverslag, p. 3.

Ouwerkerk, C. van, 1989. Measuring the mechanical resistance directly below the seedbed. In: W.E. Larson, G.R. Blake, R.R. Allmaras, W.B. Voorhees and S.C. Gupta (eds.), Mechanics and related processes in structured agricultural soils. Kluwer, Deventer, p. 258.

Ouwerkerk, C. van and Van Noordwijk, M., 1989. Effects of traffic intensity on soil structure and root development. Int. Conf. Soil Compaction as a Factor Determining Plant Productivity, 5-9 June 1989, Lublin, Poland. Abstracts, pp. 123-124.

14. Personeelsbezetting per 31 december 1990

Directie

dr.ir. K. Harmsen, directeur
dr. P.J. Lont, adj. directeur
mw. V.E. Bos, secretaresse

WETENSCHAPPELIJKE AFDELINGEN

Bodemchemie

dr. W. Salomons, hoofd
dr. W. van Driel, plv. hoofd
D. Blaauw
drs. J. Bril
drs. P. del Castilho
dr.ir. W.J. Chardon
J.W. Dalenberg
dr. D.L.R. Hesterberg
dr. J. Japenga
mw. J.C. Koopmans
mw. S.D. Scheltens
W. Schuurmans
R. Vriesema
D. Wiersma

**Analytisch Chemisch
Laboratorium**

A. Lepelaar, hoofd
J. Dijkstra
mw. A. Edens
J. van Huis
mw. J.A. Schrage
mw. A. van Wielink

Bodemfysica

prof.dr.ir. P.A.C. Raats, hoofd
K. Harmanny
ir. M. Heinen
ir. J.A. Kipp³
ing. A.M. Lahmar
ir. W. Otten⁸
ir. C. van Ouwerkerk
drs. C. Rappoldt
ir. J.A. de Vos
ing. J.S. Zwiers

Bodembiologie

HAREN

prof.dr. L. Brussaard, plv. hoofd
mw. E.O. Biewenga
dr. J. Bloem
P.R. Bolhuis
drs. P.H.J.F. van den Boogert¹
G. van der Boom
dr.ir. L.A. Bouwman
drs. H.G. van Faassen
mw. ing. M. Geurs
ir. J.T. van Ginkel¹
ing. G.H.J. Hoenderboom
drs. G. Jager
ir. G. Lebbink
H.P. de Roos
dr. P.C. de Ruiter
H. Velvis
M.R. Veninga
C. Verhagen¹
mw. A. Vos¹
mw. drs. M. Vreeken¹
dr. K.B. Zwart

ALGEMENE ONDERSTEUNING

**Financiële, Materiële en
Algemene Zaken**

mw. ir. E.J.M. van Wijk, hoofd

Financiële zaken
H.H. Sommer, hoofd
A. van der Haest
mw. P.E. Medema
B.P. Wiersma

Projectenbureau
H.G. Dieperink
mw. L.J.M. Goossens-Bus

Inkoop
W. Boersma, hoofd
mw. E.J. Takens-Harms

Typekamer/receptie/telefoon
mw. T.A. Groeneveld, hoofd
mw. T.J. Offringa
mw. A. Tuinman-Trapman

**Personeels- en
Opleidingszaken**

mw. J. Pentinga, hoofd
mw. T. van der Velde

Post- en archiefzaken
mw. W. Hoeksma

Huishoudelijke dienst
W. Wieringa

**Wiskunde,
Informatieverwerking en
Electronica**

vacature, hoofd
G. Bargerbos
ing. K. Boersma
mw. G.P.M. Mirck
D.K. van Mullem
E.W. Nijboer
ing. J. Wolf
ing. P.A. Zandt

**Bibliotheek, Redactie en
Informatie**

dr. C.H.E. Werkhoven, hoofd
ing. H. Terburg, plv. hoofd
mw. M.J. Bouwsema
H.A. Dijkstra
J.L. Robot
W.J. Romers

Bodembioogie

WAGENINGEN

dr. J.A. van Veen, hoofd
ir. C.W. Christiansen-Weniger¹
dr. J.D. van Elsas
J.H. van Ginkel
ir. A. Gorissen
dr.ir. A.F. Groneman
mw. ir. C.E. Heijnen
mw. W.E. Hekman MSc
mw. C.H. Hok-a-Hin
mw. A.G. Jansen
dr. P.J. Kuikman
mw. E.H. Nijhuis
L.S. van Overbeek
drs. E. Smit¹
ir. J. Swinnen¹
mw. I.M. van Veelen¹

Bemesting en Plantevoeding

dr.ir. J.J. Neeteson, hoofd
dr.ir. K.W. Smilde, plv. hoofd
mw. drs. M. Bosch¹
G. Brouwer
ir. S.M. Chin-A-Tam¹
D. Daniëls⁶
ir. P.A.I. Ehlert
dr. B.J. van Goor⁴
ir. J.J.R. Groot
ir. J. Hassink
ir. J. van der Heide
H. Koning
ir. J.G. Laarman⁷
mw. A. Lahr-Renkema
ing. H. Loman
ing. B. van Luit
P. van Lune
F. Matus, MSc⁷
ir. F.W. Meijboom
ir. H. Niers
J. Nijborg
dr. M. van Noordwijk
mw. S. Postema-Wijnia
ir. J.H.M. Scholten¹
ing. J.W. Steenhuizen
mw. ir. E.L.J. Verberne
ir. W.P. Wadman
dr.ir. P. de Willigen
ing. G. Wijnen

**Nederlands Meststoffen
Instituut
Sectie Haren**

dr.ir. O. Oenema, hoofd
ir. P.J. van Erp, plv. hoofd
ing. T.A. van Dijk⁵
mw. E.A. Dijkman⁵
ing. G.H. Dijksterhuis⁵
ing. M.J.G. de Haas^{1,5}
J. Postmus⁵
mw. G. van Roon-ter Horst⁵
mw. ir. G.N. Ruitenber¹
ir. G.L. Velthof¹

**Waterloopkundig
Laboratorium
Sectie Haren**

dr.ir. R.H.B. Kersten, hoofd
ir. H.N. Kerdijk, plv. hoofd
P.J. Arkema
mw. ing. W. Sipkema
B.G. Vrieling
H. Wijkstra

PROEFTECHNISCHE ONDERSTEUNING

Bedrijfskantoor

P. Datema, hoofd
M. Braits
mw. T. Wiegman

Werkplaats

H. Pijpker, hoofd
E.J.K. Groendijk
J.W.L. de Jong
J. de Koning
R.C. Rieswijk
W.J. Smit

Veldproevendienst

ing. J.H. Schepers, hoofd
J.R. Begeman
G. Bezu
Joh. Brouwer
J.E. Greving¹
H. Hartlief
D.C. Kerstens
J.H. Matthijs
J.B. van der Molen
H. Nijborg
H.W. Pepping
H. van Rein
A. Siepel
B. Siepel
J. Tienkamp
H. Visscher

Pot- en Vakproevendienst

F.H. de Vries, hoofd
J. Brouwer
K.R. Kampen
E.L. Schreuder
O.A. Slim
W.E. Willems
mw. M.F. Wolters

**Dr. H.J. Lovinkhoeve
(Marknesse)**

J. Koning, bedrijfsleider
E.W.J. Hummelink
mw. D.M. Krol-van der Veen²
A. van der Lijn
J. Winters

Voetnoten: (1) in tijdelijke dienst, (2) t.l.v. materieel krediet, (3) gedetacheerd bij het PFW, (4) gedetacheerd bij het PTOG, (5) gedetacheerd bij het NMI, (6) werkzaam op de Lovinkhoeve, (7) gastmedewerker, (8) gedetacheerd bij het PBN

15. Bestuur van de Stichting Instituut voor Bodemvruchtbaarheid per 31-12-1990

Voorzitter:	ir. J.L. Ebbens Landbouwschap, hoofdafdeling Tuinbouw
Leden:	P.J. Beers Landbouwschap, hoofdafdeling Tuinbouw
	ir. J. Gerritsen Landbouwschap, Commissie Grondgebruik
	prof.dr.ir. F.A.M. de Haan Landbouwuniversiteit Wageningen, Vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer
	D.J.G. van der Kolk Landbouwschap, Melkveehouderijsector
	ir. J. Prins CEBECO-Handelsraad
	ing. H.E. Takens Landbouwschap, hoofdafdeling Akkerbouw
	dr.ir. R.D. Woittiez Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Directie Akker- en Tuinbouw
Adviserende leden:	ir. J.A.A. Bokx Landbouwschap, hoofdafdeling Veehouderij
	ir. H.R. Oosterveld Landinrichtingsdienst
	dr.ir. J. van de Vooren Dienst Landbouwkundig Onderzoek
	ir. F.C. Zuidema Nationale Raad Landbouwkundig Onderzoek

Gebruikte afkortingen

Verklaring van in de tekst gebruikte afkortingen

AT	- Directie Akker- en Tuinbouw (Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij)
CABO-DLO	- DLO-Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek
DGIS	- Directoraat-Generaal Internationale Samenwerking (Ministerie van Buitenlandse Zaken)
ICW	- Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
IKC-AT-MKT	- Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw, afdeling Milieu Kwaliteit Techniek
IKC-V-RSP	- Informatie en Kennis Centrum Veehouderij, afdeling Rundvee-, Schapen- en Paardenhouderij
IMAG-DLO	- DLO-Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen
IPO-DLO	- DLO-Instituut voor Plantenziektenkundig Onderzoek
IRS	- Instituut voor Rationele Suikerproductie
LNV	- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
LUW	- Landbouwuniversiteit Wageningen
NMI	- Nederlands Meststoffen Instituut
PAGV	- Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond
PBN	- Proefstation voor de Bloemisterij in Nederland
PCLB	- Programma Commissie Landbouw Biotechnologie
PFW	- Proefstation voor de Fruitteelt, Wilhelminadorp
PTG	- Proefstation voor Tuinbouw onder Glas
RIKILT-DLO	- DLO-Rijks-Kwaliteitsinstituut voor Land- en Tuinbouwprodukten
RIVM	- Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne
RUG	- Rijksuniversiteit Groningen
SC-DLO	- DLO-Staring Centrum
VROM	- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
V&W	- Ministerie van Verkeer en Waterstaat
WL	- Waterloopkundig Laboratorium