5. Het functioneren van het bodemecosysteem in enkele gangbare en geïntegreerde akkerbouwsystemen op een zware zavelgrond

L. Brussaard

Uitgangspunt

In de landbouw wordt om redenen van duurzaamheid van de produktie op lange termijn en met het oog op beperking van de belasting van het milieu gestreefd naar vermindering van 'inputs' zoals kunstmest, bestrijdingsmiddelen en, eventueel, grondbewerking. Dit houdt automatisch in dat meer moet worden vertrouwd op het natuurlijk vermogen van de grond tot het genereren en instandhouden van een 'goede' bodemstructuur, tot het leveren van door de plant opneembare voedingsstoffen op het goede moment en in voldoende hoeveelheid en tot het onderdrukken van ziekten en plagen. De bodembiota, d.w.z. wortels en bodemorganismen, speelt hierin een belangrijke rol. Kennis over het biologisch functioneren van het bodemecosysteem is dan ook noodzakelijk. Twee van de genoemde aspecten, nl. de bijdrage van de bodembiota aan de bodemstructuur en het bodemfysisch gedrag van de grond en aan de dynamiek van nutriënten, met name stikstof, stonden centraal in het programma 'Vergelijkende analyse van het functioneren van bodemecosystemen bij vormen van gangbare en geïntegreerde akkerbouw', naar de plaats van uitvoering, de Dr. H.J. Lovinkhoeve te Marknesse, ook wel bekend als het 'Lovinkhoeveproject'. Het onderzoek is in de periode 1985-'92 uitgevoerd door het DLO-Instituut voor Bodemvruchtbaarheid in samenwerking met de Landbouwuniversiteit en het DLO-Staring Centrum.

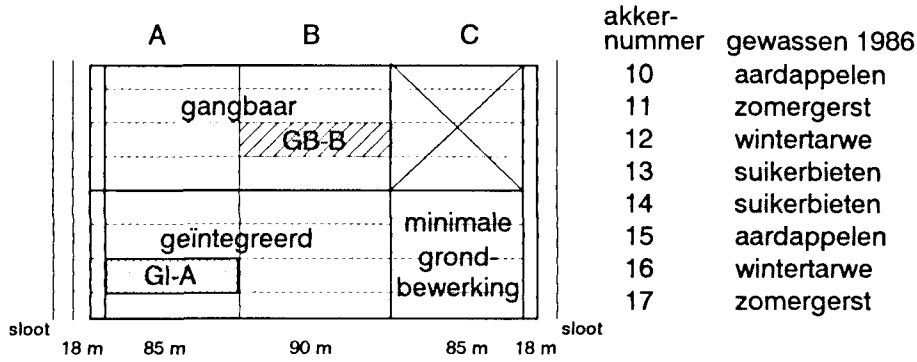
Hieronder wordt, na een algemene inleiding, ingegaan op het onderzoek naar bodemstructuur en bodemfysische eigenschappen en processen, het onderzoek naar de dynamiek van koolstof en stikstof en de rol van de bodembiota daarin en op de praktische implicaties van het onderzoek.

Inleiding

Hoewel de gangbare landbouw aan voortdurende verandering onderhevig is, waarbij elementen van geïntegreerde landbouw worden overgenomen, en ondanks dat ook de geïntegreerde landbouw zich steeds vernieuwt, werd om onderzoekstechnische redenen gekozen voor een gefixeerd teeltsysteem, nl. een vierjarige rotatie van wintertarwe, suikerbiet, zomergerst en aardappel op een proefveld van de Lovinkhoeve met een zware zavelgrond. Deze rotatie staat bekend als 'gezond', zodat aan het bestuderen van ziekten en plagen geen expliciete aandacht behoefde te worden geschonken. Onverwachte problemen hebben zich op dit gebied inderdaad niet voorgedaan. De verschillen tussen gangbaar (GB) en geïntegreerd (GI) waren kortweg als volgt: GI ontving 20% minder stikstof dan GB, waarvan, in tegenstelling tot GB, een groot deel organische mest betrof (champost - vanwege de vrij constante samenstelling - en korrels van gedroogde varkensmest); GI ontving slechts ca. 10% van de pesticiden van GB, vooral door het achterwege laten van grondontsmetting; op GI werd de grond minder diep bewerkt, nl. 12-15 cm in plaats van 20-25 cm op GB, afhankelijk van het gewas. Tevens werd op een apart proefveld het geïntegreerde beheer uitgevoerd met extra ondiepe grondbewerking (5-8 cm; GIM).

Als werkhypothese werd ervan uitgegaan dat het geïntegreerde beheer op de duur zou leiden tot een hoger organische-stofgehalte van de grond. Omdat het echter zeer lang kan duren voordat dit meetbaar is, werd een voorschot op deze uitkomst genomen door een proefveld te kiezen waar door het voorgaande beheer zowel akkers met een 'hoog' (2.8%) als met een 'laag' (2.2%) organische-stofgehalte voorkwamen. De nieuwe proefvelden werden loodrecht op de oude gekozen,

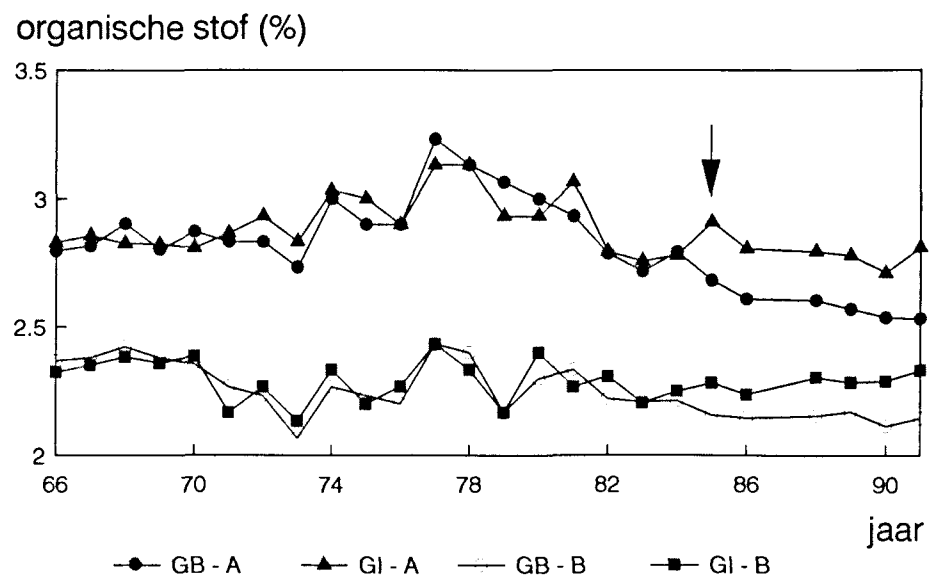
waardoor GB kon worden uitgeoefend op grond met 2.8% organische stof (akkers 10-13 A in figuur 8: GB-A), resp. 2.2% organische stof (akkers 10-13 B in figuur 8: GB-B); GI kon eveneens worden uitgeoefend op akkers met 2.8% organische stof (akkers 14-17 A in figuur 8: GI-A), resp. 2.2% organische stof (akkers 14-17 B in figuur 8: GI-B). GIM werd uitgeoefend op akkers 14-17 C (figuur 8) met een organische-stofgehalte van 2.3%.



akker-nummer	gewassen 1986
10	aardappelen
11	zomergerst
12	wintertarwe
13	suikerbieten
14	suikerbieten
15	aardappelen
16	wintertarwe
17	zomergerst

Figuur 8. Plattegrond van de proefvelden op de Dr. H.J. Lovinkhoeve te Marknesse. Het onderzoek was geconcentreerd op de akkers 12B en 16A. Naar: Lebbink et al. (1994).

De meeste resultaten die hieronder worden vermeld hebben betrekking op GB en GI; soms zijn, ter vergelijking, GIM of een akker elders op de Lovinkhoeve, waar al enkele tientallen jaren minimale grondbewerking wordt toegepast (GIM-oud), of een ander perceel met blijvend grasland (W) onderzocht. Uit figuur 9 blijkt dat, zoals verwacht, het organische-stofgehalte op GI-A op peil is gebleven, terwijl het op GB-B een licht dalende trend vertoont; op GB-A neemt het organische-stofgehalte duidelijk af, terwijl op GI-B een licht stijgende trend is waar te nemen. De meeste hieronder vermelde resultaten hebben betrekking op de extremen: GB-B en GI-A.



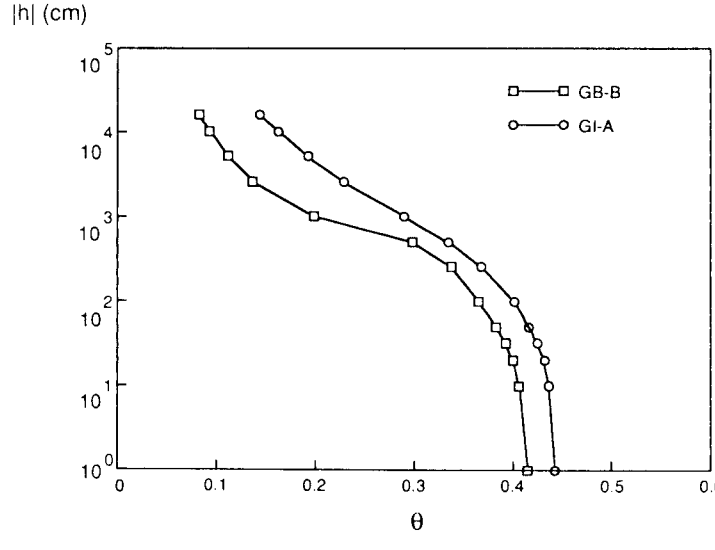
Figuur 9. Bodem-organische stof in de laag 0-25 cm. Elk punt is het gemiddelde van drie velden die sinds 1985 deel hebben uitgemaakt van de varianten GB-A (gangbaar op blok A), GI-A (geïntegreerd op blok A), GB-B (gangbaar op blok B) en GI-B (geïntegreerd op blok B). De pijl verwijst naar de overgang naar gangbaar en geïntegreerd beheer volgens de omschrijving in de tekst. Naar: Lebbink et al. (1994).

De economische haalbaarheid van GB en GI vormde geen onderwerp van onderzoek, ondermeer omdat de geringe grootte van de akkers (12 x ca. 90 m) een bedrijfsvoering vereiste die in termen van kosten niet is te vergelijken met een normaal beheer. Elders is gebleken dat bij een 10-20% lagere opbrengst van GI ten opzichte van GB het financieel resultaat op bedrijfsniveau op GI door kostenbesparing niet slechter is dan op GB (Vereijken, 1989; Wijnands en Vereijken, 1992). De gemiddelde opbrengsten van de proefvelden in de periode 1988-'91 bedroegen op GI 83-102% van die van GB; ze bleven daarmee binnen de genoemde marge (Lebbink et al., 1994). Ook de besparingen op kunstmest en bestrijdingsmiddelen

kwamen ongeveer overeen met die welke op bedrijfsniveau kunnen worden behaald (vergelijk Lebbink et al., 1994 en Wijnands en Vereijken, 1992).

Bodemstructuur en bodemfysische eigenschappen en processen

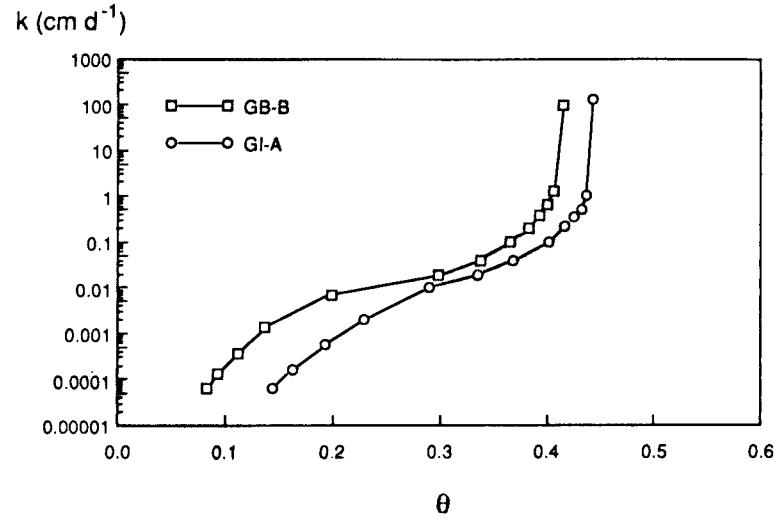
De waterretentie- en de waterdoorlatendheidskarakteristiek van de bovengrond kunnen van groot belang zijn voor de biologische activiteit, bijvoorbeeld voor de kans op het optreden van denitrificatie en voor de activiteit en interacties van bodemorganismen die aan de waterfase, resp. aan de luchtfase van de grond gebonden zijn. De in het laboratorium bepaalde gemiddelde waterretentiekarakteristieken van de bovengrond van GB-B en GI-A bleken duidelijk te verschillen: bij elke vochtspanning was het watergehalte op GI-A hoger dan op GB-B (figuur 10, De Vos et al., 1994). Dit hangt vermoedelijk samen met het hogere organische-stofgehalte op GI-A. In het veld bleek het watergehalte hoger dan in het laboratorium bij dezelfde vochtspanning, vermoedelijk als gevolg van luchtopsluiting en hysterese. Bij een bepaald vochtgehalte was de waterdoorlatendheid van de bovengrond op GB-B steeds groter dan op GI-A (figuur 11, De Vos et al., 1994). De variatie in de waterretentiegegevens maakt het onmogelijk te beoordelen hoe relevant de verschillen tussen de gemiddelde laboratorium- en veldwaarden zijn (figuur 12, De Vos et al., 1994). Voor interpretatie in termen van het risico op denitrificatie wordt aanbevolen de veldwaterretentiekarakteristiek te gebruiken.



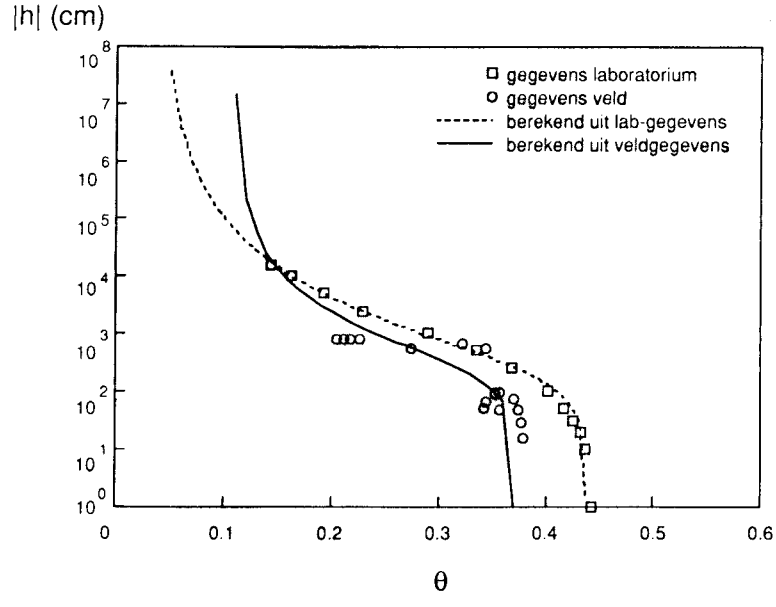
Figuur 10. Waterretentiekarakteristiek, bepaald in het laboratorium voor de laag 0-25 cm van GB-B en GI-A. Naar: De Vos et al. (1994).

Het frequent optreden van hoge grondwaterstanden en de daarbij optredende opbolling van het freatisch vlak tussen de drains wijst erop dat de effectieve doorlatendheid in de ondergrond een beperkende factor is in de afvoer van water naar de drains. Dit houdt in dat de bodemfysische eigenschappen van de ondergrond een directe invloed hebben op het optreden van bodemfysische condities in de bovengrond, hetgeen met name voor het optreden van denitrificatie van belang kan zijn. Hierdoor was toepassing van het eendimensionale waterbalansmodel SWATRE aan beperkingen onderhevig. Onderzoek op dit terrein wordt voortgezet op een speciaal daarvoor ingericht proefveld op de Lovinkhoeve.

De bodembiota bleek meetbaar van invloed te zijn op de bodemstructuur. Niet alleen is de porositeit op GI-A hoger dan op GB-B, wat deels rechtstreeks samenhangt met het hogere organische-stofgehalte, maar ook is het percentage macroporiën en het aandeel daarvan dat in contact staat met de atmosfeer op GI-A beduidend groter dan op GB-B (Boersma en Kooistra, 1994). In tegenstelling tot GI-A vertoonde GB-B twee lagen met een "angular blocky" structuur, hetgeen wijst op geringere structuurstabiliteit, wat vooral tot uiting komt bij grondbewerking onder natte omstandigheden. In tegenstelling tot GI-A komen op GB-B geen regenwormen voor. Regenwormen blijken een gunstige uitwerking te hebben op de aggregaatstabiliteit, met name van de grotere aggregaten; bij een hogere



Figuur 11. Waterdoorlatendheidskarakteristiek, bepaald in het laboratorium voor de laag 0-25 cm van GB-B en GI-A. Naar: De Vos et al. (1994).



Figuur 12. Analytische beschrijving van de in het laboratorium en het veld bepaalde waterretentiekarakteristieken. Naar: De Vos et al. (1994).

dichtheid van regenwormen bleek het percentage water-stabiele aggregaten in de grootteklasse 4.8-8 mm groter te zijn. De seizoensinvloed is overigens groot (Marinissen, 1994).

De betekenis van de door de biota in verschillende mate beïnvloede structuur voor de gevonden verschillen in waterretentiekarakteristieken en waterdoorlatendheden, en omgekeerd, is niet eenduidig af te leiden.

Dynamiek van koolstof en stikstof

De belangrijkste toevoerbronnen van koolstof en stikstof aan de bodem zijn gewasresten en organische meststoffen (tabel 3; Van Faassen en Lebbink, 1994), kunstmest (tabel 4; Van Faassen en Lebbink, 1994) en wortelafgeleid materiaal.

De afbraak van het toegevoerde organische materiaal en de mineralisatie van nutriënten komt op het conto van de bodemorganismen. Om inzicht te krijgen in de dynamiek van koolstof en stikstof in de bodem is onderzoek naar wortels en naar bodemorganismen dan ook essentieel.

Tabel 3. Experimentele toevoer aan koolstof en organische stikstof (kg ha^{-1}) met gewasresten, groenbemesters, champost en organische meststoffen gedurende een gewasrotatie, en hun ten behoeve van modellering geschatte verdeling over organische-stofvoorraden.

Jaar/datum van toevoer	Modelonderdeel DPM[1] C/N	RPM[2] C/N	POM[3] C/N	Totaal C/N-verhouding	Omschrijving
Gangbaar					
1 okt. 1	120/7	230/3	-	35	Gewasresten aardappelen
2 nov. 1	800/54	360/4	-	20	Id. w. tarwe + gele mosterd
3 nov. 1	2200/125	160/2	-	19	Id. suikerbieten
4 nov. 1	1315/83	735/9	-	22	Id. zomergerst + gras
Totaal	4435/269 + 1485/18 + 0			20.6 (5920/287)	
Geïntegreerd					
1 okt. 1	120/7	245/3	-	36	Gewasresten aardappelen
2 sept. 1	280/14	320/4	-	33	Id. wintertarwe
2 sept. 1	1000/72	680/8	1320/110	16	Champost
3 nov. 1	1970/113	160/2	-	19	Gewasresten suikerbieten
4 nov. 1	1260/68	1260/16	-	30	Id. zomergerst + gras
4 apr. 1	-	-	750/62	12	Organische mest
Totaal	4630/274 + 2660/33 +2070/172			19.6 (9360/479)	

Jaar 1 van het model begint op 1 september

[1] DPM = 'gemakkelijk' afbreekbare organische stof
[2] RPM = 'moeilijk' afbreekbare " "
[3] POM = fysisch beschermde " "

Tabel 4. Gemiddelde waarden van de hoeveelheden toegevoerde N in de periode 1988-1991.

	Variant			
	GB-A	GB-B	GI-A	GI-B
Minerale meststof				
Suikerbieten	118	153	70	89
Aardappelen	244	274	142	177
Wintertarwe	138	165	71	108
Zomergerst	95	120	47	71
Groenbemesters	70	70	25	25
Subtotaal	665	782	355	470
Champost	0	0	200	200
Organische mest	0	0	60	60
Depositie	70	70	70	70
Zaden	10	10	10	10
Totale toevoer	745	862	695	810

GB-A = gangbaar op blok A GI-A = geïntegreerd op blok A
GB-B = gangbaar op blok B GI-B = geïntegreerd op blok B

Wortelonderzoek

Onderzoek naar de toevoer van koolstof aan de bodem via de wortels is uitgevoerd aan wintertarwe met behulp van mini-rhizotrons en met behulp van ^{14}C-CO_2 pulse-labelling. Tabel 5 geeft informatie over de worteldrooggewichtproduktie aan de hand van mini-rhizotronwaarnemingen in 1989 en 1990 (Van Noordwijk et al., 1994). Het worteldrooggewicht in de bovenste 20 cm was halverwege het groeiseizoen op GI significant hoger dan op GB. Nieuwe wortelgroei daarna was op GB enigszins groter dan op GI, zoals blijkt uit de r_{ps}-waarden in tabel 5. Mogelijk wordt de wortelgroei op GB in de bovengrond belemmerd door de hogere dichtheid van de grond, wat tot uiting komt in een gemiddeld hoger wortel-grond contact op GB, waargenomen in slijpplaten (Schoonderbeek en Schoute, 1994). Per saldo was de jaarproduktie aan worteldrooggewicht op GB 21% lager dan op GI, terwijl het aandeel van de totale produktie dat bij de oogst nog aanwezig was op GB 31% lager lag dan op GI (tabel 5). Uit het onderzoek met behulp van ^{14}C-CO_2 pulse-labelling kwamen geen significante verschillen tussen GB en GI naar voren aangaande de wortelproduktie bij wintertarwe in 1990. In vergelijking met de resultaten van Van Noordwijk et al. (1994) was de schatting voor GB ongeveer gelijk, maar voor GI zo'n 25% lager (ca. 1450 kg ha^{-1} jr^{-1}; Swinnen, 1994). Een mogelijke verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de verschillen tussen GB en GI vooral in het begin van het groeiseizoen tot stand komen; deze periode is wel in de waarnemingen opgenomen in het onderzoek met de mini-rhizotrons (die in november van het voorafgaande jaar werden geïnstalleerd), maar niet in de waarnemingen met de pulse-labelling methode (pulse-labelling werd begin mei uitgevoerd en aangenomen werd dat gedurende de eerste drie weken geen wortelafbraak plaatsvindt). Ook het deel van de totale wortelproduktie dat bij de oogst nog aanwezig is, is verschillend op basis van de twee methoden: 63% op GB en 73% op GI volgens Van Noordwijk et al. (1994) en 57% op GB en GI volgens Swinnen (1994). Een mogelijke oorzaak hiervoor is het verschil in schattingen van worteldynamiek op wortellengte- (mini-rhizotrons) dan wel wortelgewichtsbasis (pulse-labelling).

Tabel 5. Produktie van fijne wortels (D_{rv}; drooggewicht) van wintertarwe in 1989 op GI-A en GB-B; D_{rv}-gegevens van 15 juni 1990; r_{ps} is het quotiënt van de wortellengte op die datum en de jaarproduktie aan wortellengte; N_{rp} is de jaarproduktie van structureel wortelmateriaal; R_h is de hoeveelheid wortels die bij de oogst nog aanwezig is. Verschillen tussen velden zijn aangegeven voor D_{rv} en r_{ps} (F-toets; * = $P < 0.05$; ** = $P < 0.01$; *** = $P < 0.001$). Uit: Van Noordwijk et al. (1994).

Diepte (cm)	D_{rv} (mg cm^{-3})			r_{ps}			N_{rp} (kg ha^{-1})		R_h (kg ha^{-1})	
	GB-B	GI-A		GB-B	GI-A		GB-B	GI-A	GB-B	GI-A
0 - 5	0.703	0.931	*	0.623	0.740	*	564	630	246	427
5 - 10	0.355	0.490	**	0.768	0.838	NS	232	292	144	209
10 - 20	0.174	0.241	*	0.849	0.888	NS	205	271	157	204
20 - 30	0.133	0.156	NS	0.897	0.853	NS	149	184	115	137
30 - 40	0.082	0.108	NS	0.866	0.830	NS	95	131	79	95
40 - 50	0.070	0.064	NS	0.888	0.858	NS	78	74	65	56
50 - 60	0.061	0.070	NS	0.916	0.913	NS	67	77	54	62
60 - 70	0.052	0.087	***	0.910	0.904	NS	56	98	44	77
70 - 80	0.036	0.074	***	0.885	0.912	NS	41	82	35	64
80 - 90	0.012	0.048	***	0.9[1]	0.9[1]	NS	13	53	11	44
90 - 100	0.005	0.013	***	0.9[1]	0.9[1]	NS	5	14	4	12
0 - 100	0.115	0.168	***				1505	1904	953	1388

[1] Geschatte waarde

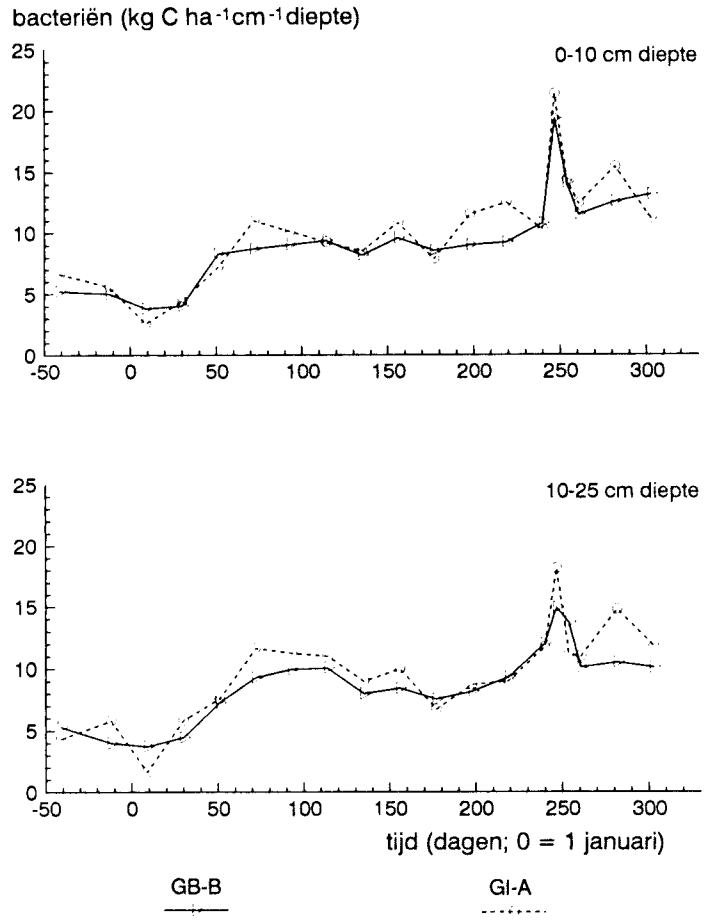
De rol van bodemorganismen

Bodemorganismen breken af wat aan de bodem als organisch materiaal wordt toegevoerd en mineraliseren daaruit voedingsstoffen die weer door de plant kunnen worden opgenomen; een deel van het organisch materiaal wordt gehumificeerd. Om de rol van bodemorganismen in deze processen te kwantificeren, ligt het voor de hand om uit te gaan van de hierboven aangegeven hoeveelheden organisch materiaal en de samenstelling daarvan. Daarbij doet zich het tot dusver niet opgeloste probleem voor dat de samenstelling daarvan lang niet altijd bekend is (wortelafgeleid materiaal) en, vooral, dat niet bekend is wat de 'voedselkeuze' van micro-organismen en saprofage dieren is in termen van kwaliteit en hoeveelheid. Bij het opstellen van balansen van koolstof en stikstof wordt dan ook uitgegaan van sterk versimpelde modellen. In deze modellen wordt het organische materiaal dat de bodem binnenkomt in enkele groepen verdeeld die op grond van hun chemische samenstelling schematisch worden verdeeld op afbreekbaarheid. Bij de beschrijving van de biologische afbraak en humificatie wordt geen onderscheid gemaakt tussen bodemorganismen. Afbraak en humificatie worden voor elk van de chemische groepen beschreven met empirische eerste-orde vergelijkingen.

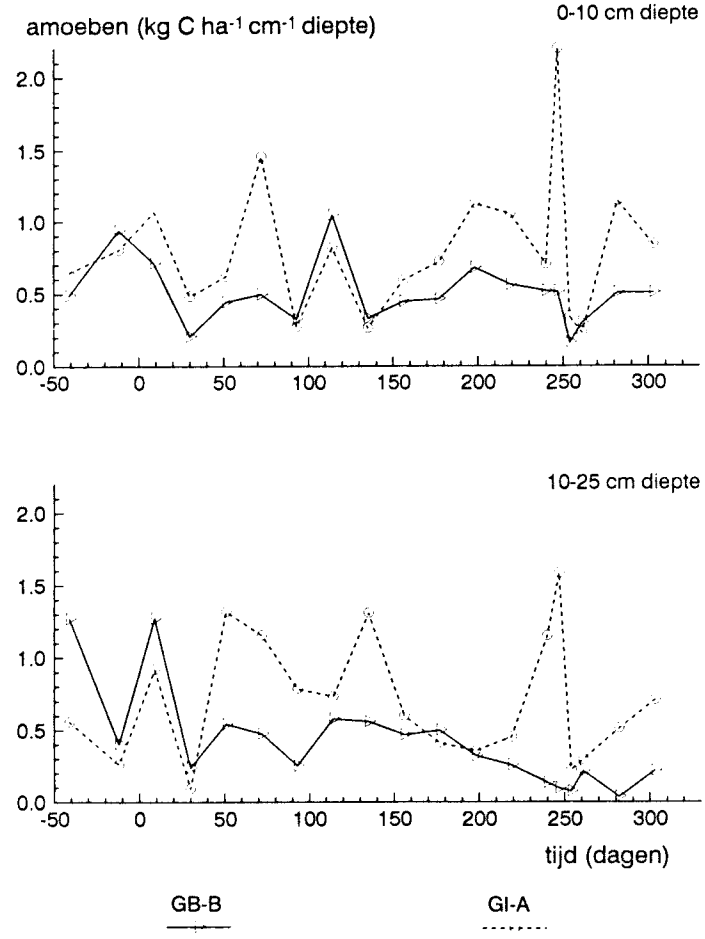
Voor de kwantificering van de rol van groepen bodemorganismen bij de transformatie van koolstof en stikstof moet dan ook van andere methoden gebruik worden gemaakt, die de consumptie van organisch materiaal omzeilen en waarvan dus op voorhand vast staat dat kwantitatieve koppeling met de bovengenoemde modellen nog niet mogelijk is. Twee methoden zijn in het Lovinkhoeveproject toegepast, nl. één op basis van interacties in het voedselweb van bodemorganismen en één zuiver produktie-ecologische benadering. In beide methoden speelt kwantificering van de biomassa van groepen bodemorganismen een belangrijke rol.

De biomassa van bacteriën bleek op de Lovinkhoeve die van schimmels 1 à 2 orden van grootte te overtreffen (tabel 6; Bloem et al., 1994). Het bodemecosysteem wordt dus zowel op GB als op GI gedomineerd door bacteriën. Van het jaar 1990 zijn de meest uitgebreide gegevens beschikbaar. In dat jaar waren de bodemomstandigheden wat betreft temperatuur en vocht nooit extreem en waarschijnlijk niet van invloed op de korte-termijn dynamiek van de bodemorganismen. Verschillen tussen GB en GI waren dan ook in hoofdzaak toe te schrijven aan verschillen in beheer en daaruit voortvloeiende effecten op de bodemorganismen. Hoewel de biomassa van (actieve) bacteriën en van schimmels op GI groter was dan op GB, waren de verschillen niet significant (tabel 6; figuur 13). De biomassa van bacterivoren, zoals amoeben (tabel 6, figuur 14) en bacterivore nematoden (tabel 6) en belangrijke (micro)biologische processen, zoals de *in situ* N-mineralisatie (tabel 6, figuur 15) waren op GI wel significant groter dan op GB, hetgeen kan wijzen op een hogere turnover van de bacteriële biomassa op GI. Vlak na de oogst en de grondontsmetting (alleen op GB), beide rond dag 230, is, waarschijnlijk als gevolg van het vrijkomen van gemakkelijk afbreekbaar substraat, een scherpe toename en, waarschijnlijk als gevolg van het snel opraken van dit substraat, een even snelle afname te zien in de biomassa van bacteriën op GB en GI (figuur 13). Bij de amoeben is die piek alleen op GI te zien (figuur 14). Hieruit blijkt niet alleen dat de amoeben door de grondontsmetting vrijwel werden uitgeschakeld, maar ook dat ze nauwelijks invloed hadden op het aantalsverloop van de bacteriën. Niettemin was de afname van de stikstofmineralisatie in deze periode op GI significant kleiner dan op GB, hetgeen kan wijzen op een betekenende rol van de fauna.

In micro-kosmosexperimenten is de potentieel belangrijke rol van de bodemfauna, in het bijzonder protozoën en bacterivore nematoden, in Lovinkhoevegrond aantoonbaar gebleken (Bouwman & Zwart, 1994). Microarthropoden hebben vooral een indirecte invloed doordat ze de aantalsdynamiek van nematoden en protozoën beïnvloeden (Brussaard et al., 1991, 1994). Voor een kwantitatief belangrijke bijdrage van de bodemfauna aan de stikstofmineralisatie in het veld, met name op GI, zijn eveneens verscheidene indicaties. De stikstofmineralisatie kon worden berekend op basis van een model waarin interacties in het voedselweb



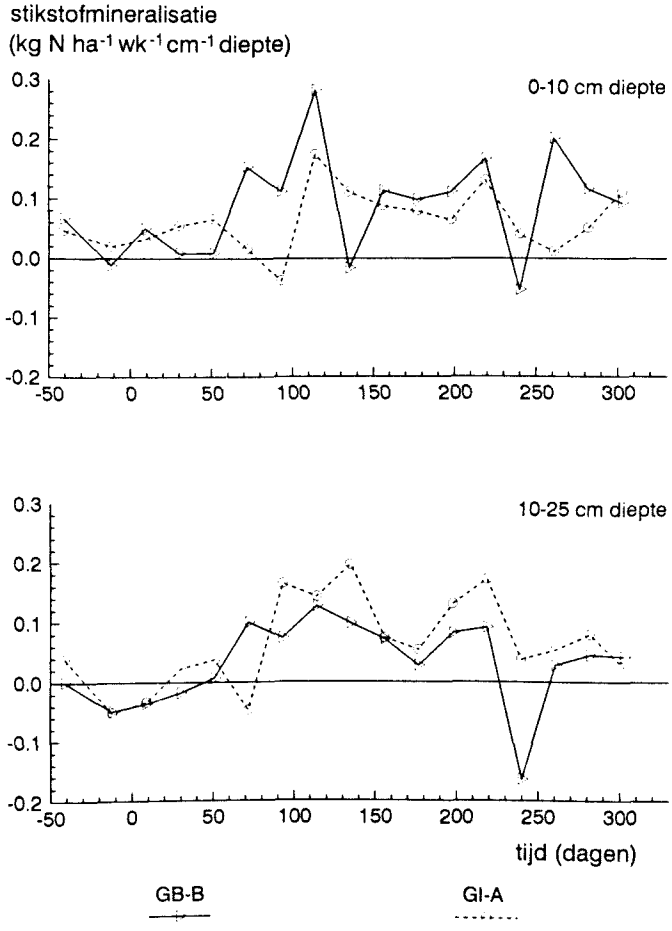
Figuur 13. Biomassa van bacteriën in GB-B en GI-A in de lagen 0-10 en 10-25 cm. $LSD_{diepte \times veld}$=2.45 kg C ha^{-1} cm^{-1} diepte. Naar: Bloem et al. (1994).



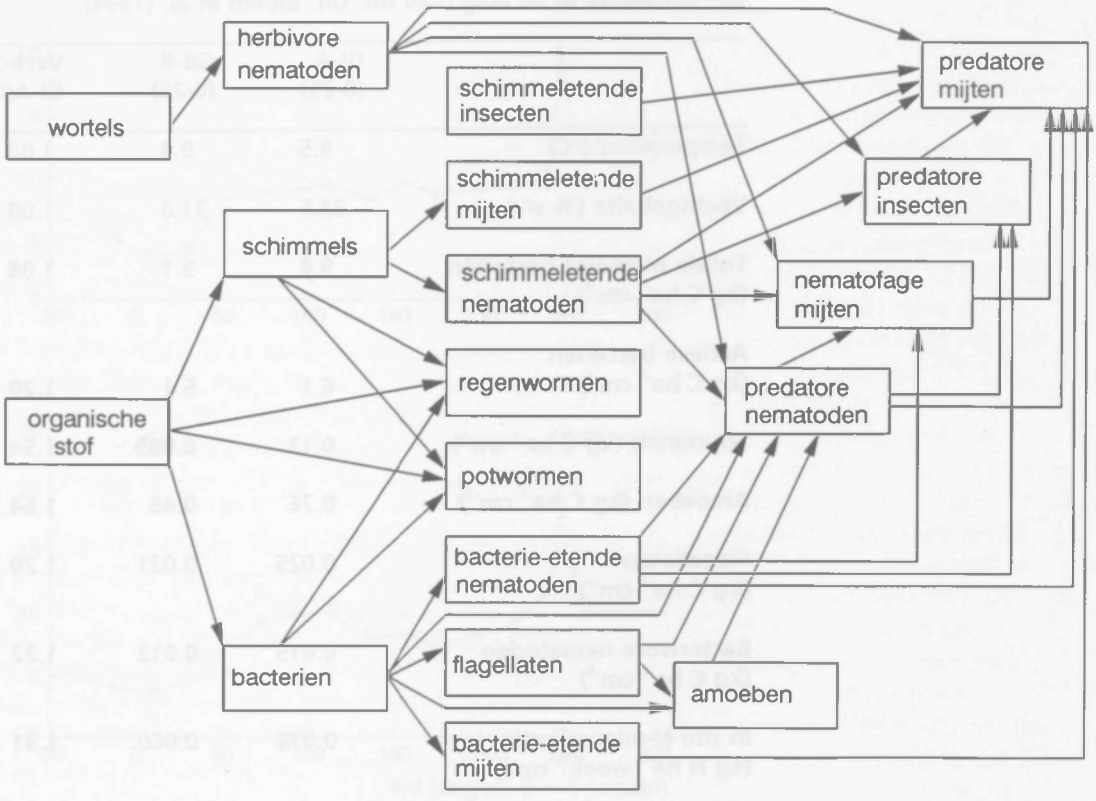
Figuur 14. Biomassa van amoeben in GB-B en GI-A in de lagen 0-10 cm en 10-25 cm diepte. $LSD_{diepte \times veld}$= 0.250 kg C ha^{-1} cm^{-1} diepte. Naar: Bloem et al. (1994).

Tabel 6. Samengevatte resultaten van variantie-analyse van effecten van het beheerssysteem (GI-A = geïntegreerd op blok A; GB-B = gangbaar op blok B). Gemiddelde waarden per ha per cm diepte in de laag 0-25 cm. Uit: Bloem et al. (1994).

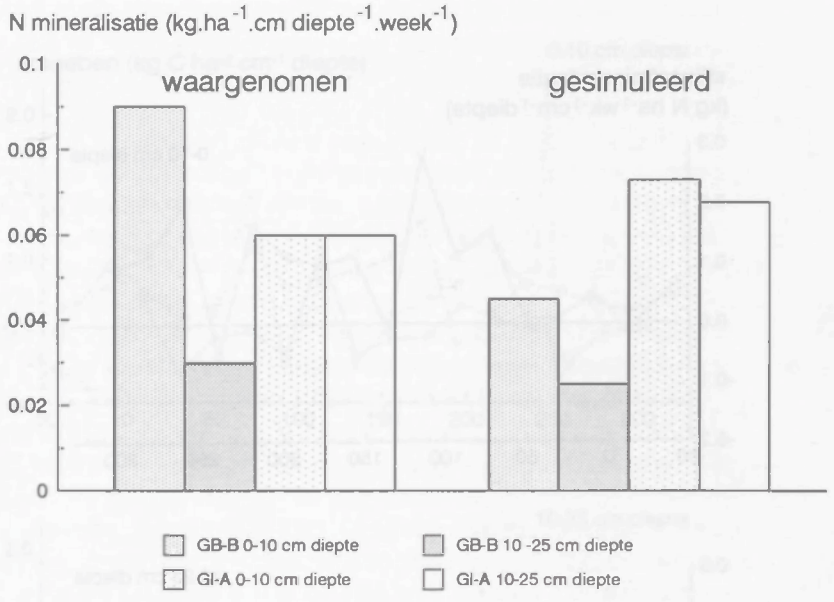
	GI-A (0-25)	GB-B (0-25)	Verhouding GI-A/GB-B	P
Temperatuur (°C)	9.5	9.4	1.00	0.960
Vochtgehalte (% v/v)	33.5	31.0	1.08	0.021
Totale biomassa bacteriën (kg C ha^{-1} cm^{-1})	9.8	9.1	1.08	0.396
Actieve bacteriën (kg C ha^{-1} cm^{-1})	6.1	5.1	1.20	0.181
Schimmels (kg C ha^{-1} cm^{-1})	0.13	0.085	1.54	0.196
Amoeben (kg C ha^{-1} cm^{-1})	0.76	0.46	1.64	0.001
Flagellaten (kg C ha^{-1} cm^{-1})	0.025	0.021	1.20	0.227
Bacterivore nematoden (kg C ha^{-1} cm^{-1})	0.015	0.012	1.22	0.004
In situ N-mineralisatie (kg N ha^{-1} $week^{-1}$ cm^{-1})	0.078	0.060	1.31	0.024



Figuur 15. Stikstofmineralisatiesnelheden in GB-B en GI-A in de lagen 0-10 en 10-25 cm diepte. Punten zijn gemiddelden van 10 boorkernen per veld die *in situ* zijn geïncubeerd gedurende 6 weken volgend op de aangegeven data. $LSD_{diepte \times veld}$= 0.0224 kg ha^{-1} $week^{-1}$ cm^{-1} diepte. Naar: Bloem et al. (1994).



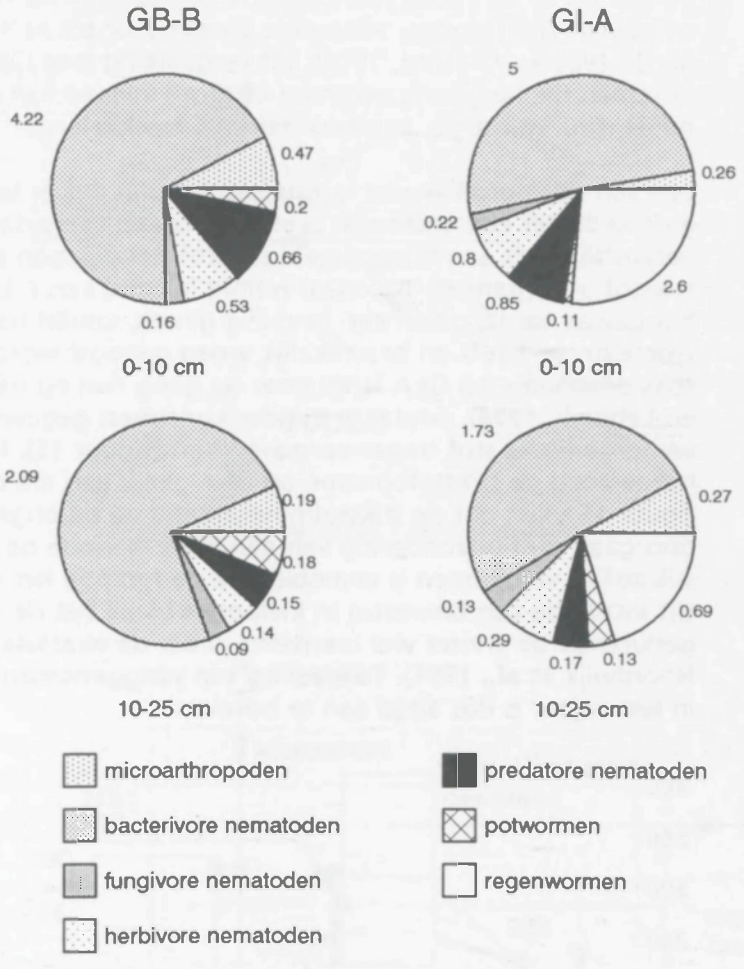
Figuur 16. Het Lovinkhoeve-voedselweb. Naar: De Ruiter et al. (1994).



Figuur 17. Gesimuleerde en waargenomen stikstofmineralisatie in GB-B en GI-A in de lagen 0-10 en 10-25 cm. Naar: De Ruiter et al. (1994).

(figuur 16; De Ruiter et al., 1994) worden gesimuleerd. Het model vereist schattingen van de biomassa, assimilatie-efficiëntie, produktie-efficiëntie, weegfactoren voor voedselvoorkeur, C:N-verhouding van consument en voedsel en specifieke sterftesnelheid van elke groep in het voedselweb. De keuze van de parameterwaarden impliceerde dat bacteriën netto stikstof immobiliseren en dat de mineralisatie dus hoofdzakelijk wordt verricht door de bodemfauna. Het resultaat van de simulatie is weergegeven voor het jaar 1990 in figuur 17. De overeenkomst tussen simulatie en waarneming was wat minder goed dan in 1986 (De Ruiter et al., 1993), met name voor de laag 0-10 cm in GB. De amoeben waren de belangrijkste

groep van bodemdieren, met bijdragen aan de N-mineralisatie variërend tussen 86 en 95%; de bijdragen van de overige fauna blijken uit figuur 18.



Figuur 18. Bijdragen van de fauna (m.u.v. protozoën) aan de stikstofmineralisatie in GB-B en GI-A in de lagen 0-10 en 10-25 cm (g N ha^{-1} cm^{-1} diepte week $^{-1}$). Naar: De Ruiter et al. (1994).

Ook een zuiver produktie-ecologische benadering leidde tot de conclusie dat de bodemfauna veel bijdraagt aan de stikstofmineralisatie, variërend van 49% in GB tot 87% in GI. Ook hier bleek het aandeel van de amoeben en de bacterivore nematoden het grootst, nl. 37% in GB en 49% in GI, maar de bijdrage van regenwormen, die alleen op GI voorkomen, werd hoger ingeschat dan in de voedselwebsimulatie, vooral door een andere aanname van de samenstelling van het voedsel (Didden et al., 1994). Overige verschillen met de voedselwebsimulatie zijn eveneens terug te voeren op de schattingen van de ecologische parameters en de gevolgen van onzekerheden daarin voor de berekeningen. Microarthropoden blijken in geen van de berekeningen kwantitatief van veel belang te zijn. Ze bestaan hoofdzakelijk uit omnivoren, die in staat zijn snel te reageren op het beheer in beide teeltsystemen (Vreeken-Buijs et al., 1994).

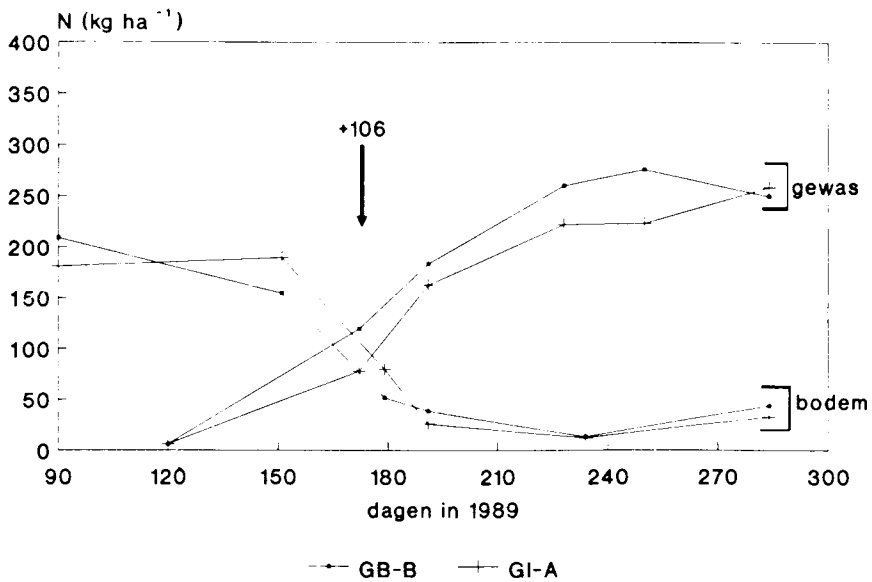
De verhouding GI/GB voor de biomassa van de meso- en macrofauna was 58 en voor de ademhaling 6, hetgeen het relatief grotere belang van de fauna op GI onderstreept (Didden et al., 1994). Canonische correspondentie-analyse van de resultaten liet een patroon van trofische relaties in GI zien dat, meer dan in GB, overeenkomt met dat in een natuurlijk systeem (Didden et al., 1994).

Synthese

De onderzoeksresultaten zijn gebruikt voor berekeningen die op praktijkschaal van belang kunnen zijn voor de bedrijfsvoering en voor het milieu. Met behulp van het eendimensionale model SWACROP werden de resultaten met betrekking tot

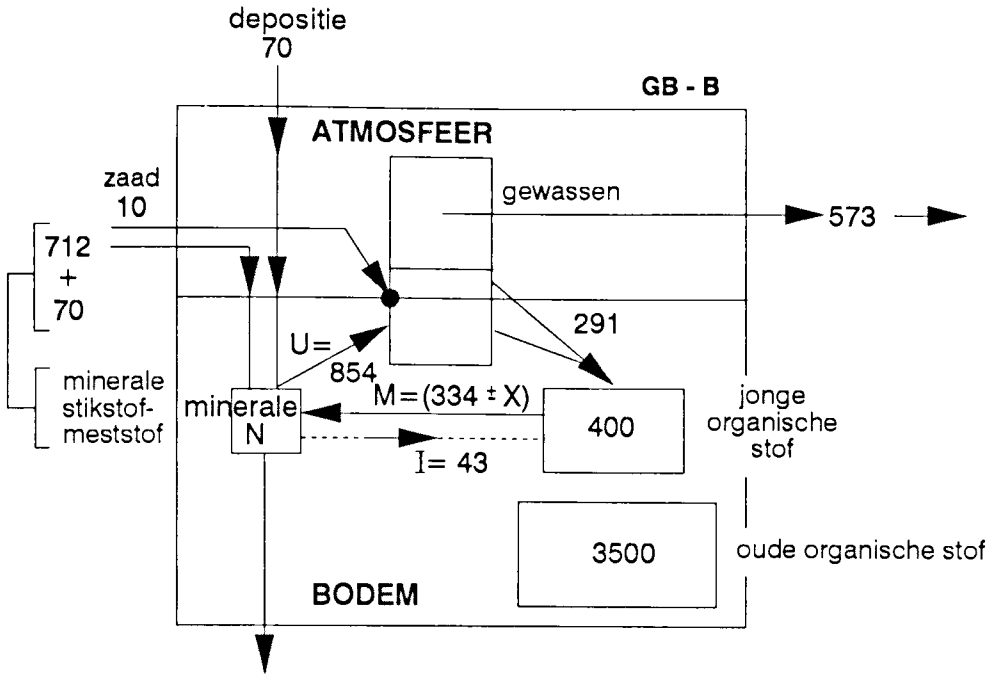
bodemstructuur en bodemfysische eigenschappen vertaald naar 'landkwaliteiten', met name het aantal werkbare dagen en het optreden van (bijna) anaërobe omstandigheden (luchtfractie < 9%), uitgaande van het gewas dat wat dit betreft het meest veeleisend is, nl. aardappelen. Wat betreft het aantal werkbare dagen bleken GB en GI elkaar nauwelijks te ontlopen in de kritieke perioden, nl. het voor- en najaar. Het risico op anaërobie bleek op GI tot half juni wat groter te zijn dan op GB (Vos en Kooistra, 1994). Uit vergelijking met GIM-oud en W bleek dat de systemen die langdurig een relatief grote invloed van de bodembiota ondergaan, op de duur gunstiger landkwaliteiten ontwikkelen.

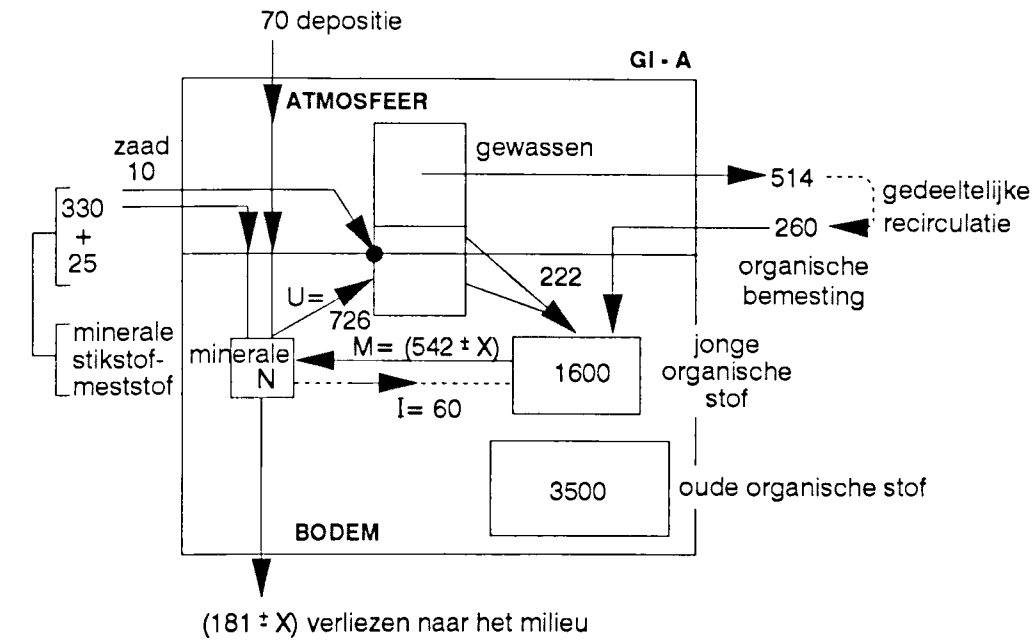
Een van de voordelen van kunstmest zou zijn dat er beter mee kan worden gestuurd. Het kan immers in principe worden toegediend wanneer het gewas behoefte heeft aan bijvoorbeeld stikstof, terwijl men op de mineralisatie van stikstof uit organisch materiaal weinig invloed kan uitoefenen. Ook in dit opzicht is het gewas aardappelen een gevoelig gewas, omdat het een zwak ontwikkeld wortelstelsel heeft en betrekkelijk vroeg geoogst wordt. Inderdaad komt de stikstofopname op GI-A langzamer op gang dan op GB-B (figuur 19; Van Faassen en Lebbink, 1994), omdat er minder kunstmest gegeven wordt en de mineralisatie van organische stof trager op gang komt (figuur 15). Niettemin is aan het eind van het seizoen de stikstofopname op GI-A gelijk aan die op GB-B (figuur 19). Uit figuur 15 blijkt dat de stikstofmineralisatie na de oogst in het najaar gewoon doorgaat, met uitzondering van een korte periode op GB. Om uitspoeling van deze stikstof te voorkomen is immobilisatie gedurende het winterhalfjaar noodzakelijk. Uit incubatie van tarwestro in kleipotjes bleek dat de concentratie van stikstof gedurende de winter wel toeneemt, maar de absolute hoeveelheid niet (Van Noordwijk et al., 1994). Toepassing van vanggewassen waar mogelijk na de oogst in het najaar is dus altijd aan te bevelen.



Figuur 19. Minerale N in de bodem (laag 0-60 cm) en N opgenomen door het gewas aardappel in GB-B en GI-A gedurende het groeiseizoen 1989. De pijl verwijst naar de tweede toediening van minerale stikstof in GB. Naar: Van Faassen en Lebbink (1994).

Met gebruikmaking van de eerder genoemde balansmodellen kon worden berekend dat van de hoeveelheid stikstof die in omloop was 28% verloren ging in GB-B en 18% in GI-A, dat is respectievelijk 289 en 181 kg ha^{-1} gedurende de vierjarige rotatie (figuur 20; Van Faassen en Lebbink, 1994). Hoewel het risico op anaërobie op GI door Vos en Kooistra (1994) als hoger werd berekend, bleek uit metingen dat op zowel GB als GI bodemfysische omstandigheden die gunstig zijn voor het optreden van denitrificatie voor en na de teelt van alle gewassen voorkomen (Lebbink et al., 1994). Hoge concentraties van minerale stikstof kwamen op GB-B echter vaker en in sterkere mate voor dan op GI-A als gevolg van de toediening van kunstmest. Mogelijk daardoor was de efficiëntie van stikstof er lager, maar betrouwbare metingen van stikstofverliezen door denitrificatie zijn, zoals bekend, in het veld onder akkerbouwomstandigheden nauwelijks te realiseren. De verliezen van stikstof op GB-B zullen ten naaste bij juist zijn ingeschat omdat de jonge humusvoorraad niet veel meer zal kunnen slinken ($X \approx 0$); de verliezen op GI-A





Figuur 20. Stikstofbalans van de vierjarige rotatie van GB-B en GI-A over de periode 1988-'91.
U = opname door gewassen en groenbemesters; M = bruto N-mineralisatie; I = bruto N-immobilisatie; X = verandering in voorraad N in jonge organische stof. Naar: Van Faassen en Lebbink (1994).

kunnen echter te groot zijn ingeschat omdat de jonge humusvoorraad er mogelijk nog toeneemt (figuur 9). In beide gevallen moeten de getallen over verliezen voorzichtig worden gehanteerd omdat 1% meer of minder bodemorganische stof equivalent is met 40-50 kg minder of meer stikstofverlies.

Ten slotte rijst de vraag in hoeverre de geringere stikstofverliezen op GI, voorzover aangetoond, samenhangen met een efficiënter functioneren van het bodemecosysteem dan op GB. Behalve bij de denitrificeerders, die op GI mogelijk minder begunstigd zijn door beperking van de kunstmestgift, kan de verklaring voor de geringere verliezen op GI in de eerste plaats worden gezocht bij het gewas. Het is aannemelijk dat de toedieningsefficiëntie van stikstof (dat is de relatie tussen bemesting en beschikbaarheid voor het gewas) op GI eerder lager dan hoger was dan op GB (relatief veel organische mest op GI, meer kunstmest op GB). Daarnaast waren er

geen verschillen tussen GB en GI in de opname-efficiëntie en de benuttingsefficiëntie van stikstof (zowel op GB als GI werden dezelfde rassen gebruikt). Onder die omstandigheden zal de, zoals bekend, afnemende efficiëntie van het stikstofgebruik bij toenemende bemesting ertoe hebben geleid dat de geringere bemesting op GI leidde tot absoluut en relatief geringere verliezen dan op GB. Op GI was de biomassa van vrijwel alle groepen bodemorganismen hoger dan op GB: er was een sterkere clustering tussen groepen die trofische interacties vertonen en de bodemfauna nam een groter aandeel van de stikstofmineralisatie voor zijn rekening. Deze verschillen hangen samen met het hogere organische-stofgehalte op GI als gevolg van het vroegere en huidige beheer en de geringere mechanische en chemische verstoring die vooral de bodemfauna ten goede komt. Het bodemecosysteem functioneerde daardoor anders ten aanzien van de recirculatie van nutriënten; om te bereiken dat het ook efficiënter zal functioneren, is voortgaand onderzoek naar de relatie tussen hoeveelheid en kwaliteit van het toegevoerde organisch materiaal en de consumptie daarvan door micro-organismen en de saprofage fauna, alsmede naar de wijze en de tijdstippen van toediening van groot belang. Zulk onderzoek zal ook dienen uit te wijzen of de aard van de organische stof die wordt gevormd door humificatie in de geïntegreerde landbouw aan hogere eisen kan voldoen ten aanzien van de bodemvruchtbaarheid op lange termijn.

Literatuur

Bloem, J., G. Lebbink, K.B. Zwart, L.A. Bouwman, S.L.G.E. Burgers, J.A. de Vos, P.C. de Ruiter, 1994. Dynamics of microorganisms, microbivores and nitrogen mineralization in winter wheat fields under conventional and integrated management. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Boersma, O.H. and M.J. Kooistra, 1994. Differences in soil structure of silt loam typic fluvaquents under various agricultural management practices. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Bouwman, L.A. and K.B. Zwart, 1994. The ecology of bacterivorous protozoa and nematodes in arable soil. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Brussaard, L., J. Kools, L.A. Bouwman, P.C. de Ruiter, 1991. Population dynamics and nitrogen mineralization rates in soil as influenced by bacterial grazing nematodes and mites. In: G.K. Veeresh, D. Rajagopal and C.A. Viraktamath (eds.), Advances in management and conservation of soil fauna. Proc Xth Int. Soil Zoology Coll., Bangalore, India, 7-13 August 1988, pp. 517-523.

Brussaard, L., R. Noordhuis, M. Geurs and L.A. Bouwman, 1994. Nitrogen mineralization in soil in microcosms with or without bacterivorous nematodes and mites. Acta Zool. Fenn. (accepted).

Didden, W.A.M., J.C.Y. Marinissen, M.J. Vreeken-Buijs, S.L.G.E. Burgers, R. de Fluiter, M. Geurs and L. Brussaard, 1994. Soil meso- and macrofauna in two agricultural systems: factors affecting population dynamics and evaluation of their role in carbon and nitrogen dynamics. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Faassen, H.G. van and G. Lebbink, 1994. Organic matter and nitrogen dynamics in conventional versus integrated arable farming. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Lebbink, G., H.G. van Faassen, C. van Ouwerkerk and L. Brussaard, 1994. The Dutch programme on soil ecology of arable farming systems: farm management, monitoring programme and general results. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Marinissen, J.C.Y., 1994. Earthworms and stability of soil structure in a silt loam soil in a young Dutch polder. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

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.

Noordwijk, M. van, G. Brouwer, H. Koning, F.W. Meijboom and W. Grzebisz, 1994. Production and decay of structural root material of winter wheat and sugar beet in conventional and integrated cropping systems. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Ruiter, P.C. de, J.C. Moore, K.B. Zwart, L.A. Bouwman, J. Hassink, J. Bloem, J.A. de Vos, J.C.Y. Marinissen, W.A.M. Didden, G. Lebbink and L. Brussaard, 1993. Simulation of nitrogen mineralization in the belowground food webs of two winter wheat fields. J. Appl. Ecol. 30: 95-106.

Ruiter, P.C. de, J. Bloem, L.A. Bouwman, W.A.M. Didden, G. Lebbink, J.C.Y. Marinissen, J.A. de Vos, M.J. Vreeken-Buijs, K.B. Zwart and L. Brussaard, 1994. Simulation of dynamics in nitrogen mineralization in

the belowground food webs of two arable farming systems. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Schoonderbeek, D. and J.F.T. Schoute, 1994. Root and root-soil contact of winter wheat in relation to soil macroporosity. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Swinnen, J., 1994. Rhizodeposition and turnover of root-derived material in barley and wheat under conventional and integrated management. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Vereijken, P., 1989. Research on integrated arable farming and organic mixed farming in The Netherlands. In: P. Vereijken and D.J. Royle (eds.), Current status of integrated arable farming systems research in Western Europe. IOBC/WPRS Bull 1989/XII/5, pp. 41-50.

Vos, E.C. and M.J. Kooistra, 1994. The effect of soil structure differences in a silt loam soil under various agricultural management practices on soil physical properties and some simulated land qualities. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Vos, J.A. de, P.A.C. Raats and E.C. Vos, 1994. Macroscopic soil physical processes considered within an agronomical and a soil biological context. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Vreeken-Buijs, M.J., M. Geurs, P.C. de Ruiter and L. Brussaard, 1994. Microarthropod biomass-C dynamics in the belowground food webs of two arable farming systems. Agric. Ecosyst. Environ. (submitted).

Wijnands, F.C. and P. Vereijken, 1992. Region-wise development of prototypes of integrated arable farming and outdoor horticulture. Neth. J. Agric. Sci. 40: 225-238.