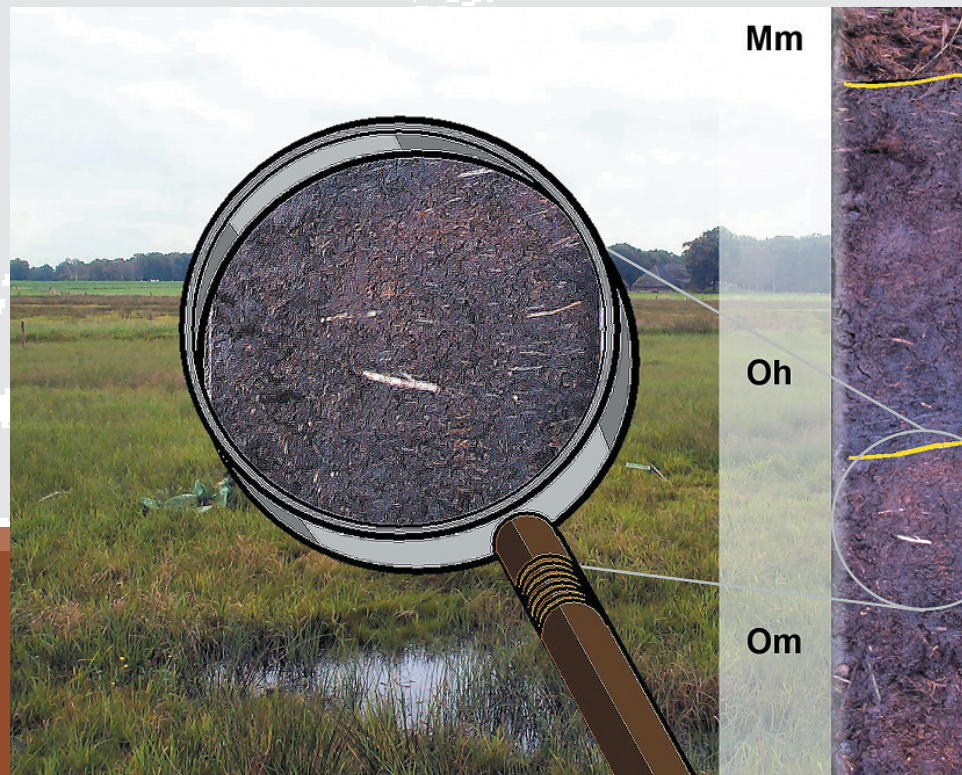




Bodemkwaliteit en bodembiodiversiteit bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden

R.H. Kemmers
J. Bloem
J.H. Faber
G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis



Bodemkwaliteit en bodembiodiversiteit bij natuurontwikkeling op voormalige
landbouwgronden

Het onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van het Ministerie LNV, Directie Plattelandsontwikkeling in het kader van het Beleidsondersteunend Onderzoekscluster Vitaal Landelijk Gebied, thema Bodem. Het onderzoek was een onderdeel van het koepelproject European Soil Strategy

**Bodemkwaliteit en bodembiodiversiteit bij natuurontwikkeling op
voormalige landbouwgronden**

**R.H. Kemmers
J. Bloem
J.H. Faber
G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis**

Alterra-Rapport 1523

Alterra, Wageningen, 2007

REFERAAT

Kemmers, R.H., J. Bloem, J.H. Faber en G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, 2007. *Bodemkwaliteit en bodembiodiversiteit bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden*. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 1523. 50 blz.; 21 fig.; 4 tab.; 19 ref.

Doel van het onderzoek was inzicht te verkrijgen in de ontwikkelingen van het organische stofgehalte en in het herstel van bodembiodiversiteit na transitie van landbouw naar natuur. Van enkele transitiegebieden werden met beschikbare bodemkundige gegevens over een 30-jarige periode verbanden gelegd tussen organische stof en de bodemzuurgraad en parameters die de kwaliteit van de organische stof typeren. Aanvullend werd bodembologisch onderzoek uitgevoerd aan organismen uit verschillende trofische niveaus van het bodemvoedselweb. De reeksen werden vergeleken met referenties in bestaande natuurgebieden. De bodemontwikkeling wijst op een afname van organische stofvoorraden door decompositie in combinatie met zuurder wordende omstandigheden en een toegenomen netto stikstofmineralisatie die voor de gewenste vegetatieontwikkeling te hoog is. 'Natuurgerichte' bodemkwaliteit blijkt in sterke mate te worden gecontroleerd door een balans tussen de bodemorganismen uit de verschillende trofische niveaus. Een verstoring van deze balans kan leiden tot een verstoorde stikstofkringloop, die voor de vegetatie tot een te groot stikstofaanbod leidt.

Trefwoorden: Natuurontwikkeling, Bodembiodiversiteit, Bodemkwaliteit, Stikstofhuishouding, Organische stof.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice

© 2007 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Karakterisering onderzoeksgebieden	15
3 Interpretatie resultaten microbiologisch onderzoek	19
3.1 Procesidentificatie	19
3.1.1 Methoden	19
3.1.2 Resultaten	20
3.2 Vergelijking van standplaatsen	21
3.2.1 Methode	21
3.2.2 Resultaten	21
3.2.3 Discussie	27
3.2.4 Conclusies	30
4 Relatie microbiologische parameters en arthropoden	33
4.1 Methode	33
4.2 Resultaten	34
4.3 Discussie	36
4.4 Conclusies	37
5 Relatie met (pot)wormen	39
6 Synthese	41
7 Gevolgen voor praktijk	45
Literatuur	49

Woord vooraf

In 2006 is een eerste versie van de European Soil Framework Directive gereed gekomen. Het betreft een “Lichte Richtlijn” waarbij de lidstaten gebieden aanwijzen waar bepaalde bodemdreigingen aanwezig zijn. Ook wordt verwacht dat de lidstaten doelstellingen ten aanzien van verbetering van bodembedreigingen in kwantitatieve zin formuleren. Actieplannen zullen vervolgens door de lidstaten moeten worden ontwikkeld om de doelstellingen te realiseren. De rol van de EU is dat gerapporteerd wordt over “areas at risk”, over doelstellingen en voortgang van de doelrealisatie. In 2004 is door Alterra een eerste verkenning uitgevoerd van parameters die in de EU-bodemstrategie zijn benoemd: organische stof, bodembiodiversiteit, bodemerosie, bodemverdichting en verzilting. Er wordt in Nederland nog geen systematische monitoring van deze bodemkwaliteitsparameters uitgevoerd in relatie tot landbouwproductie(omstandigheden) en de ecologische functie van landbouwgronden. De Bodembiologische Indicator en het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit hebben wel deze ambitie, voor wat betreft bodembiodiversiteit en bodemchemie.

Het voorliggende rapport geeft verslag van verkennend onderzoek van bodemkwaliteitsparameters in relatie tot natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden. Het onderzoek werd uitgevoerd door medewerkers van verschillende teams en verschillende Centra van Alterra:

Centrum Ecosystemen

Team Ecotoxicologie:	Jack Faber Guido Heijmans Jos Bodt
Team Functionele Biodiversiteit	Gerard Jagers op Akkerhuis Wim Dimmers

Centrum Bodem

Team Bodemkwaliteit en nutriënten	Jaap Bloem An Vos Meint Veninga
Team Bodemchemie en Natuur	Rolf Kemmers Popko Bolhuis

Alle medewerkers worden bedankt voor hun enthousiasme en inzet.

Samenvatting

Probleem en vraagstelling

In de komende tien jaren komen naar verwachting grote oppervlakten landbouwgrond beschikbaar voor natuurontwikkeling. Tegen de achtergrond van de komende EU-soil strategy kan de vraag gesteld worden of de kwaliteit van de bodem toereikend zal zijn voor de functievervulling natuur en of natuurbeheer tot een duurzame vorm van bodemgebruik leidt, zodat ook voor komende generaties de bodem draagkracht behoudt voor 'ecosystem services'. Het is moeilijk om criteria te formuleren waarmee gebieden getoetst kunnen worden op geschiktheid voor natuurontwikkeling. Natuur past zich immers aan de 'natuurlijke' omstandigheden aan. Dientengevolge komen natuurgebieden over een brede range van bodemomstandigheden (gradiënten) voor en is het moeilijk risk areas aan te geven. Niettemin stelt natuur ook grenzen aan condities, voorbij welke de levenskansen voor organismen beperkt zijn. Belangrijke bodemvariabelen waaraan daarbij gedacht kan worden zijn:

- bodemzuurgraad in relatie tot beschikbaarheid van (toxische) zware metalen
- organische stofgehalte en 'producerend vermogen' van de bodem in relatie tot natuur
- kwaliteit/diversiteit van bodemleven in relatie tot nutriëntenkringlopen en voedingsstoffen beschikbaarheid voor natuurlijke ecosystemen

Doel

Doel van het onderzoek was kwantitatieve kennis te verwerven over (i) de ontwikkeling van de voorraad en eigenschappen van de organische stof in de bodem, (ii) het herstel van bodembiodiversiteit en de invloed daarvan op de aard van de organische stof(huishouding), nadat gronden uit landbouwkundig beheer zijn genomen en voor natuurontwikkeling worden bestemd. Het onderzoek moet een bijdrage leveren aan inzicht in de ontwikkelingen in organische stofgehalte en herstel van bodembiodiversiteit bij omvormingsbeheer landbouw-natuur onder verschillende bodemkundige condities en vormen van natuurbeheer.

Werkwijze

Beschikbare bodemkundige gegevens werden bewerkt tot enkele 30-jarige reeksen. Er zijn verbanden gelegd tussen organische stof en de bodemzuurgraad en parameters die de kwaliteit van de organische stof (o.a N- en P-gehalte) typeren. De ontwikkeling werd geanalyseerd onder invloed van verschillende vegetatiebeheersvormen (grazen, maaien) en verschillende bodemkundige condities (zandig, venig). Aanvullend werd bodembologisch onderzoek uitgevoerd aan organismen uit verschillende trofische niveaus van het bodemvoedselweb: 1) Microbieel onderzoek (bacteriën en schimmels); 2) Fungivore en bacterivore mijten (grazers); 3) Predatore mijten en (pot)wormen

Bij het bodembioologisch onderzoek werden eveneens standplaatsen in natuurgebieden betrokken die als referentie zouden kunnen dienen voor de natuurontwikkeling op de voormalige landbouwgronden.

Bodemdegradatie en natuurontwikkeling

Er blijken duidelijke veranderingen op te treden in de bodem na transitie van landbouw naar natuurbeheer. De bodemontwikkeling wijst op een afname van organische stofvoorraden door organische stofdecompositie in combinatie met zuurder wordende omstandigheden. Met het verdwijnen van organische stof wordt tevens een stijging van de stikstofvoorraden in de bodem geconstateerd, waarschijnlijk door vastlegging van atmosferisch stikstof in microbiologische biomassa. Voor een gewenste vegetatie-ontwikkeling blijkt echter nog steeds een te grote stikstofbeschikbaarheid aanwezig te zijn, zodat het wenselijk is dat de stikstofbalans opschuift in de richting van een verminderde stikstofbeschikbaarheid. Het lijkt erop dat de afwezigheid van actieve schimmel- en/of bacteriepopulaties in de bodem deze ontwikkeling verhindert. Een actieve schimmel- of bacteriepopulatie is in staat grote hoeveelheden stikstof in de bodem vast te leggen in een organische vorm, die slechts langzaam mineraliseert. De omvang van deze microbenpopulaties wordt sterk gecontroleerd door bacterie- en schimmelende organismen zoals mijten of wormen, die op hun beurt weer in omvang worden gereguleerd door predatoren.

Uit het onderzoek kan worden geconcludeerd dat er belangrijke aanwijzingen zijn verkregen dat 'natuurgerichte' bodemkwaliteit in sterke mate wordt gecontroleerd door de balans tussen de bodemorganismen uit de verschillende trofische niveaus. Met name een actief microbiologisch bodemleven lijkt een belangrijke randvoorwaarde te vormen voor het herstel van floristische natuurwaarden. Een verstoring van deze balans kan leiden tot een verstoorde stikstofkringloop, die voor de vegetatie tot een te groot stikstofaanbod leidt. Hiermee zijn belangrijke indicaties verkregen dat functionele bodemdiversiteit een randvoorwaarde is voor floristische diversiteit.

Consequenties voor beleid en praktijk

Wat is de consequentie van deze verworven kennis voor natuurontwikkeling?

Het in de praktijk soms tegenvallende resultaat van effectgerichte maatregelen voor natuurherstel (OBN-regeling) komt met de resultaten van dit onderzoek in een nieuw daglicht te staan. Wij denken dat het soms uitblijven van effecten na uitvoering van abiotische maatregelen kan worden verklaard vanuit het disfunctioneren van het bodemvoedselweb. Mogelijk dat bepaalde schakels daarin ontbreken of sterk in vitaliteit zijn aangetast door milieustress met als gevolg een verstoring van de stikstofkringloop. De vraag is gerechtvaardigd of en hoe de relaties in het voedselweb van de bodem zijn te manipuleren om de stikstofbalans te herstellen in een gewenste richting met een versterkte N-vastlegging. Praktische ervaringen hiermee ontbreken. Het verdient daarom aanbeveling het onderzoek naar relaties tussen ondergrondse (bodem) en bovengrondse (floristisch) diversiteit voort te zetten. Inzichten die hieruit voortkomen kunnen worden aangewend om beleidsopgaven (Natura 2000, Vogel- en Habitatrichtlijn, OBN) te vertalen naar praktijkgerichte maatregelen.

1 Inleiding

Aanleiding

In de komende tien jaren komen naar verwachting grote oppervlakten landbouwgrond beschikbaar voor natuurontwikkeling. Tegen de achtergrond van de komende EU-soil strategy kan de vraag gesteld worden of de kwaliteit van de bodem toereikend zal zijn voor de functievervulling natuur en of natuurbeheer tot een duurzame vorm van bodemgebruik leidt, zodat ook voor komende generaties de bodem draagkracht behoudt voor ‘ecosystem services’. Een vervolgvraag is of er criteria geformuleerd kunnen worden waarmee de kwaliteit van bodem voor de functie natuur kan worden beoordeeld. Anders dan voor bijvoorbeeld de sector landbouw is het moeilijk voor natuur criteria aan bodemkwaliteit als randvoorwaarde te stellen. Om deze zelfde reden is het ook moeilijk om met criteria gebieden te toetsen op geschiktheid voor natuurontwikkeling en eventueel natural risk areas vast te stellen. Natuur past zich immers aan de ‘natuurlijke’ omstandigheden aan. Dientengevolge komen natuurgebieden over een brede range van bodemomstandigheden (gradiënten) voor. Niettemin kent ook natuur zijn grenzen, voorbij welke de levenskansen voor organismen die tot een bepaald natuurype behoren beperkt zijn. Belangrijke bodemvariabelen waaraan daarbij gedacht kan worden zijn:

- bodemzuurgraad in relatie tot beschikbaarheid van (toxische) zware metalen
- organische stofgehalte en ‘producerend vermogen’ van de bodem in relatie tot natuur
- kwaliteit/diversiteit van bodemleven in relatie tot nutriëntenkringlopen en voedingsstoffen beschikbaarheid voor natuurlijke ecosystemen

Doel

Omdat voor andere beleidssectoren soortgelijke vragen gesteld worden en daar o.a. organische stof als belangrijke indicator voor kwaliteit en duurzaamheid wordt beschouwd, werd besloten ook voor de sector natuur het onderzoek te richten op de organische stof dynamiek.

Doel van het onderzoek is kwantitatieve kennis te verwerven over (i) de ontwikkeling van de voorraad en eigenschappen van de organische stof in de bodem, (ii) het herstel van bodembiodiversiteit en de invloed daarvan op de aard van de organische stof(huishouding) nadat gronden uit landbouwkundig beheer zijn genomen en voor natuurontwikkeling worden bestemd. Het onderzoek moet een bijdrage leveren aan inzicht in de snelheid van de ontwikkelingen in de organische stofhuishouding en van het herstel van bodembiodiversiteit bij omvormingsbeheer landbouw-natuur onder verschillende bodemkundige condities en vormen van natuurbeheer.

Achtergrond

In de 70-er jaren van de vorige eeuw werden in Brabant (De Baronie Cranendonck) en Drenthe (Loefvledder) de eerste studies gestart naar mogelijkheden voor natuurontwikkeling op landbouwkundig gebruikte bouwlanden en graslanden. In

beide gebieden werd verschraling van de bouwvoor als een van de belangrijkste mogelijkheden gezien om waardevolle natuur te ontwikkelen. In geen van de gebieden werden nog meststoffen toegevoegd (kunstmest, stalmest, gier, kalk) nadat de landbouwactiviteiten waren stopgezet. De uitgangssituaties zijn zowel bodemkundig als vegetatiekundig uitstekend gedocumenteerd (van de Laar en Slim 1979, van de Laar en Slim 1981, Bakker 1989). Als beheersvorm werd zowel begrazing (Baronie Cranendonck) als hooilandbeheer (Loefvledder) toegepast. De ontwikkelingen werden gedurende ca. 10 jaar intensief gevolgd, waarna het onderzoek werd geëxtensiveerd. In de 80-er jaren werd de bodemfauna van de Baronie geanalyseerd en vergeleken met enkele 'natuurlijke' referenties (Siepel, 1991). De proefvelden zijn tot op heden in stand gehouden en op dezelfde wijze beheerd. In 2005, ca. 30 jaar na de start van het ontwikkelingstraject (Kemmers et al., 2005), werden de terreinen opnieuw geïnventariseerd, waarbij het humusprofiel van de bodem uitvoerig werd beschreven en geanalyseerd op o.a. organisch stofvoorraad en -type. Verwacht werd dat er na de transitie landbouw-natuur dynamische processen op gang zouden komen die uiteindelijk zouden leiden tot een daling van de pH en het organische stofgehalte met daaraan gebonden voedingsstoffen in de bodem.

Uit recent ecopedologisch onderzoek in natuurlijke graslanden (Kemmers & van Delft. subm.) komen aanwijzingen naar voren dat het wegvallen door verzuring van bepaalde bodemorganismen (o.a. regenwormen en bacteriën, Eijsackers, 1983) tot een verschuiving in de stikstofbalans van stikstoffimmobilisatie naar netto mobilisatie lijkt te leiden, waardoor de kwaliteit van de organische stof verandert van een stabiele naar een labiele aard. Het gevolg daarvan is dat het stikstofaanbod voor de vegetatie toeneemt en eutrofiering tot gevolg kan hebben.

Werkwijze

De beschikbare bodemkundige gegevens werden bewerkt tot enkele 30-jarige reeksen met ontwikkeling van het gehalte en de aard van de organische stof. Er zijn verbanden gelegd met de bodemzuurgraad en parameters die de kwaliteit van de organische stof (o.a. N- en P-gehalte) typeren. De ontwikkeling werd geanalyseerd onder invloed van zowel verschillende vegetatiebeheersvormen (grazen, maaien) als verschillende bodemkundige condities (zandig, venig).

Daarnaast werd in beide gebieden aanvullend bodembologisch onderzoek uitgevoerd om de huidige bodembologische 'kwaliteit' te bepalen en de ontwikkeling daarvan vast te stellen door resultaten te vergelijken met die van vroeger bodembologisch onderzoek aan mijten (Siepel, 1991) en aan wormen (Eijsackers, 1983). Bodembologisch onderzoek werd uitgevoerd aan voedselgildes uit verschillende trofische niveaus (Faber 1991, Brussaard 1997) van het bodemvoedselweb:

- Microbieel onderzoek (bacteriën en schimmels)
- Fungivore en herbivore mijten (grazers)
- Predatore mijten
- (Pot)wormen

Bij het bodembologisch onderzoek werden eveneens standplaatsen in natuurgebieden betrokken die als referentie zouden kunnen dienen voor de natuurontwikkeling op de voormalige landbouwgronden.

Tenslotte werd er een verband gelegd tussen de veranderingen in organische stofgehalten en nutriëntvoorraden van de natuurontwikkelingsgebieden en mogelijke processen zoals die konden worden afgeleid uit het bodembologisch onderzoek.

Hypothesen

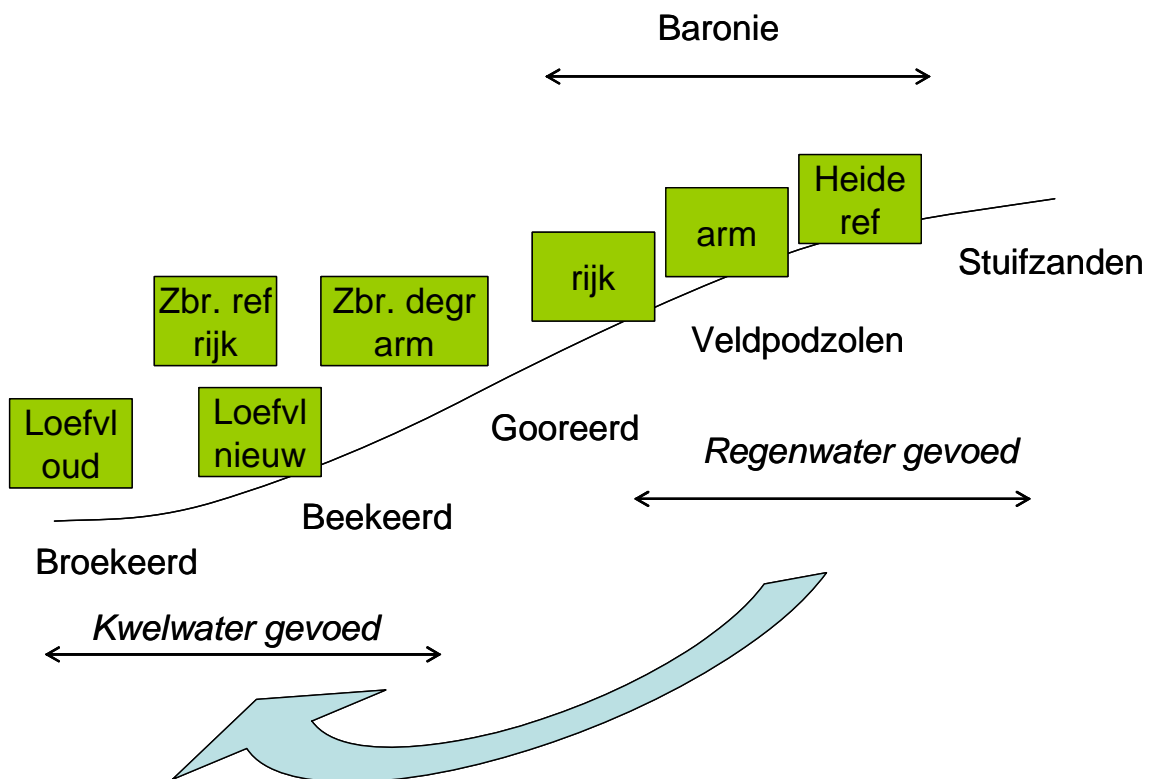
Verondersteld wordt dat de bodem draagkracht voor 'ecosystem services' (ecologische diensten) ontleend aan bodemcondities die bepalend zijn voor de activiteit van het bodemleven waardoor nutriëntenkringlopen worden gecontroleerd en waarvan de primaire productie afhankelijk is.

De nutriëntenkringlopen worden gecontroleerd door bodemorganismen in verschillende trofische niveaus van het bodemvoedselweb. De stikstofkringloop en de beschikbaarheid van stikstof voor primaire productie zijn in dit onderzoek centraal gesteld. Verondersteld is dat de relatie tussen primaire productie en stikstofbeschikbaarheid een optimum heeft via een zgn. hump back relatie (Grime 1973), waarbij de floristische diversiteit het hoogst is bij niet te hoge en niet te lage stikstofbeschikbaarheid (mesotrofe omstandigheden).

Als hypothese is gesteld dat de stikstofbeschikbaarheid voor primaire productie wordt gecontroleerd door top-down relaties tussen organismen in de verschillende trofische niveaus in het bodemvoedselweb. Veel predatoren leiden tot weinig fungi- en bacterivoren en veel schimmels en bacteriën, een hoge bruto- maar een lage netto stikstofmineralisatie. Voor floristische diversiteit zou dan een lage stikstofbeschikbaarheid wenselijk zijn, wat impliceert dat veel micro-organismen, weinig bacteri- en fungivoren en veel predatoren aanwezig moeten zijn. Het ontbreken of minder goed functioneren van een van de schakels in het bodemvoedselweb zal derhalve consequenties hebben voor de nutriëntenkringloop. Een divers bodemleven, gekenmerkt door evenwichtige relaties tussen voedselgildes uit de verschillende trofische niveaus (i.e. functionele biodiversiteit, Faber 1991) zou aldus een randvoorwaarde voor floristische diversiteit zijn.

2 Karakterisering onderzoeksgebieden

Het onderzoek is uitgevoerd op zeven percelen, die in een landschappelijk hydrologische gradiënt zijn te plaatsen van hogere droge stuifzand- en podzolgronden naar lager gelegen vochtige beekerd- en broekeerdgronden (Fig. 1). De percelen hebben elk een eigen historie. De percelen in Baronie–Cranendonck zijn tot 1973 landbouwkundig als bouwland gebruikt (van de Laar en Slim, 1981) en daarna verlaten en beheerd als natuurgebied. Het complex arme percelen heeft wat meer stuifzandinvoed, terwijl de rijke percelen uit veldpodzolen in dekzand bestaan. De percelen werden daarbij jaarrond begraasd met paarden. Doelstelling van het beheer is de ontwikkeling van heischrale (zure en droge) graslanden. Als referentie voor de huidige bodemecologische toestand van de arme en rijke percelen is een nabijgelegen heideterrein in het zelfde complex gekozen.



Figuur 1 Overzicht van de landschappelijk hydrologische positie van de verschillende onderzochte percelen

Het natuurreservaat Loefvleder is gelegen in het beekdal van het Anloërdiepje in Drente (Bakker, 1989). In het oude gedeelte is tot 1967 een landbouwkundig graslandbeheer gevoerd en in het nieuwe reservaatdeel tot 1973. Daarna zijn beide delen als hooiland beheerd met als doel de ontwikkeling van natte kwelafhankelijke en vochtige schraalgraslanden. De beide delen behoren bodemgenetisch tot bodems

die onder invloed van basenrijke kwel tot ontwikkeling zijn gekomen. De laatste decennia zijn echter beide delen door drainage ontwaterd en verzuurd. Het oude perceel is sterker verzuurd dan het nieuwe. Het nieuwe reservaat heeft een iets droger karakter gekend en is bodemkundig te typeren als een beekerdgrond. De bodem van het oude reservaat is onder nattere omstandigheden tot ontwikkeling gekomen en te typeren als een broekerdgrond met hogere gehalten organische stof dan in het nieuwe gedeelte.

Als referentie voor de schraalgraslanden van Loefvledder is een blauwgrasland in het natuurterrein Groot-Zandbrink gekozen (Delft et al., 2004). Dit grasland is bodemkundig hydrologisch vergelijkbaar met het nieuwe reservaat van Loefvledder en bestaat uit nauwelijks verzuurde beekerdgronden met een mull karakter. Het is altijd als natuurterrein in beheer geweest. Botanisch behoort dit terrein nog steeds tot een van de betere blauwgraslanden van Nederland. Een ander terreingedeelte van Groot Zandbrink is sterk beïnvloed door drainage en verzuurd. Bodemkundig kan dit gedeelte als een 'fossiele' beekerdgrond worden getypeerd. Bodemgenetisch ontwikkelt de bodem zich momenteel tot een gooreerd/veldpodzol met een moderkarakter (Van Delft et al. 2007). De vegetatie van het verzuurde gedeelte is floristisch sterk verarmd.

Van de onderzochte percelen zijn in tabel 1 enkele algemene bodemkenmerken weergegeven (Kemmers et al. 2005, 2006). Hiertoe werden steeds 10 deelmonsters verzameld (0-10cm) en samengevoegd tot een mengmonster en vervolgens geanalyseerd. Tabel 2 en 3 geven een overzicht van de veranderingen in enkele bodemeigenschappen sinds de percelen uit productie zijn genomen. De verandering in organische stof is voor Loefvledder niet bekend. In de Baronie Cranendonck is het organische stofgehalte met ca. 0,5% gedaald wat overeenkomt met een afname van de organische stofvoorraad tussen 100 en 140 kg per hectare per jaar. Het blijkt dat stikstofgehalten in de Baronie Cranendonck en Loefvledder met enkele tientallen kilogrammen stikstof per hectare per jaar zijn toegenomen. In Cranendonck is dit gepaard gegaan met een daling van de C/N verhouding, wat een aanwijzing is voor een toegenomen stikstofimmobilisatie door humificatie. In het oude reservaat van Loefvledder is de C/N verhouding iets gedaald maar in het nieuwe reservaat sterk gestegen (Kemmers et al., 2005, 2006).

Uit tabel 1 blijkt dat in het degradeerde blauwgrasland van Groot-Zandbrink een lagere zuurgraad maar een hoger organisch stofgehalte heeft dan de referentie. Hieruit kan worden afgeleid dat bodemdegradatie door verzuring juist leidt tot een accumulatie van organische stof met hoge waarden van de C/N verhouding.

Tabel 1 Enkele recente eigenschappen van de bodem op de onderzochte standplaatsen van de verschillende terreinen

Terrein	Perceel	pH-KCl	Org.stof	N-tot
		-	g/100g droge grond	
De Baronie Cranendonck	B-ref	3,17	4,23	0,11
	B-arm	4,13	1,55	0,07
	B-rijk	4,17	3,21	0,12
Loefvledder	Lvl-N	4,17	21,60	0,62
	Lvl-O	3,27	56,55	2,25
Groot Zandbrink	ZB degr	3,49	33,83	0,68
	ZB ref	4,61	9,42	2,66

Tabel 2 Veranderingen in organische stof, stikstof en C/N verhouding en pH in de arme en rijke percelen van de Baronie Cranendonck sinds 1979. Grijsje arcering is een significante verandering ($T_{prob} < 0,05$).

Perceel	Jaar	Organisch stof			N-totaal			C/N	pH-KCl
		%	kg/ha	kg/ha.jr	%	kg/ha	kg/ha.jr		
B-arm	1979	1,90	24806,2		0,047	1220,8		20,6	4,50
	2004	1,55	21270,6		0,075	2041,9		10,5	4,13
	afname			141			-33		0,37
B-rijk	1979	3,40	38220,1		0,080	1802,0		21,5	4,53
	2004	3,09	35638,5		0,127	2925,7		12,3	4,03
	afname			103			-45		0,50

Tabel 3 Veranderingen in stikstof en C/N verhouding en pH in het oude en nieuwe reservaat van Loefvledder sinds 1974.

Reservaat Loefvledder	Jaar	N-totaal			C/N	pH-KCl
		%	kg/ha	kg/ha.jr		
Oud	1974	1,13	3455		19,8	3,96
	2004	1,27	4120		17,8	3,13
	Afname			-22		
Nieuw	1974	0,64	2272		13,4	5,00
	2004	0,49	3256		17,6	4,20
	Afname			-33		

3 Interpretatie resultaten microbiologisch onderzoek

3.1 Procesidentificatie

3.1.1 Methoden

In het laboratorium zijn bodemonsters onderzocht op een drietal voedselleagues van verschillende trofische niveaus, microben (schimmels en bacteriën), mesofauna (arthropoden) en (pot)wormen. Voor microbiologische typering zijn metingen mogelijk aan biomassa, activiteit en diversiteit. De volgende variabelen werden gemeten (Bloem et al. 2004):

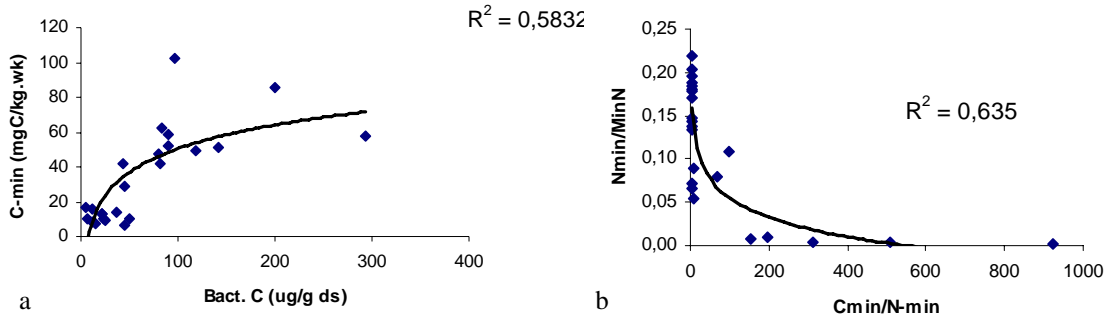
C-min: koolstofmineralisatie (decompositie):	(mgC/kg grond per week)
N-min: N mineralisatie:	(mgN/kg grond per week, aërobe mineralisatie gedurende 6 weken 20 °C.)
Min-N: mineraliseerbare N:	(mgN/kg grond), anaërobe mineralisatie gedurende een week bij 40 °C)
Leucine inbouw (C ¹⁴) in bacterieel eiwit:	(pmolC/g per uur)
Bact-C: bacterigeen C:	(µgC/g ds)
Fung-C: fungigeen C:	(µgC/g ds)

N-min is een maat voor potentiële netto stikstofmineralisatie die bij incubatie beschikbaar komt (Bloem et al. 1994). De hoeveelheid minerale stikstof die tijdens deze incubatieperiode weer verdwijnt door denitrificatie of immobilisatie blijft onbekend. Bruto wordt dus meer stikstof gemineraliseerd dan er netto beschikbaar komt. Omdat mineraliseerbaar N (Min-N) onder anaërobe omstandigheden wordt gemeten, kan alleen ammonificatie optreden. De vorming van nitraat wordt verhinderd zodat ook geen denitrificatie of stikstofimmobilisatie (microbiële opname van nitraat voor synthese van bacterieel eiwit) kan optreden. Bovendien overleven bacterievore protozoa en nematoden niet onder anaërobe omstandigheden. Met grazers is de netto mineralisatie hoger (Keeny and Nelson 1982, Bloem e.a. 1988, Bloem e.a. 1989, Canali and Benedetti 2006). Door de anaërobe omstandigheden bij de Min-N bepaling vindt er dus nauwelijks N-immobilisatie plaats, waardoor de bruto N-mineralisatie dicht wordt benaderd. De verhouding tussen netto (N-min) en bruto (Min-N) mineralisatie geeft dus een indicatie van de stikstofvastlegging door microben (N-immobilisatie). Bij een lage N-min/Min-N verhouding zal er veel stikstofimmobilisatie optreden, bij een hoge verhouding juist weinig.

Via empirisch correlatief onderzoek zijn verbanden afgeleid tussen de verschillende variabelen die aanwijzingen kunnen geven voor het optreden van bepaalde processen.

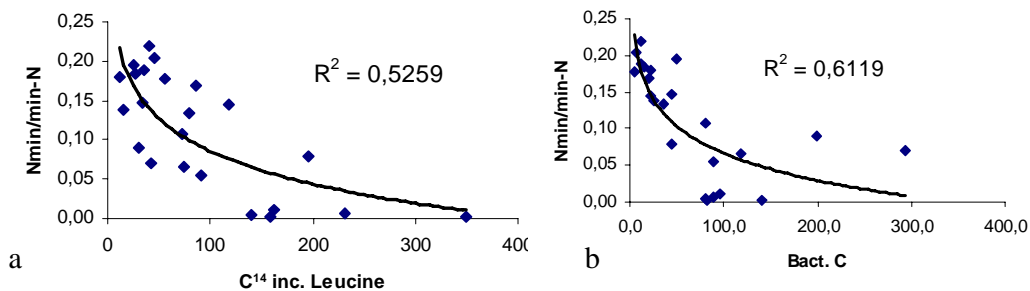
3.1.2 Resultaten

Er blijkt een positieve correlatie ($r=0,76$) te bestaan tussen C mineralisatie en de bacteriële koolstofmassa (Bact-C). Als er veel bacterieel C is, vindt er veel C mineralisatie plaats (Fig 2a).



Figuur 2 a) Verband tussen de bacteriële biomassa (Bact-C) en koolstofmineralisatie en b) de verhouding tussen netto- en bruto stikstofmineralisatie (Nmin/MinN) en koolstof en stikstofmineralisatie (Cmin/Nmin)

Als er veel bacteriën zijn is de bodemademhaling en dus de C mineralisatie hoger. De relatie van C-min met de koolstofmassa die afkomstig is van schimmels en bacteriën (Fungal + Bact. C) is nog sterker ($r=0,78$). Bodemademhaling wordt kennelijk grotendeels door schimmels en bacteriën bepaald. Bij een hoge waarde van Cmin/Nmin (Fig 2b) vindt wel veel decompositie plaats maar weinig netto N-mineralisatie, en komt weinig van het potentieel mineraliseerbare stikstof beschikbaar (figuur 2b; $r=0,80$); Dit zou kunnen betekenen dat er dan veel N wordt geïmmobiliseerd door inbouw in bacteriële eiwitten. Dan zou er dus een relatie moeten bestaan met Leucine (inbouw van C in proteïnen), hetgeen klopt (figuur 3a; $r=0,73$). Een lage Nmin/MinN wijst daarom op een sterke N-immobilisatie. Er bestaat dan ook een verband tussen bacterieel C en de verhouding Nmin/MinN (figuur 3b $r=0,79$). Bij een actieve bacteriële groei is dus weinig N beschikbaar (= netto N-mineralisatie is laag) omdat N wordt ingebouwd in eiwit van bacteriën.



Figuur 3 a) Verband tussen Leucine inbouw en de verhouding tussen netto- en bruto stikstofmineralisatie en b) de hoeveelheid bacterieel koolstof en de verhouding Nmin/MinN.

3.2 Vergelijking van standplaatsen

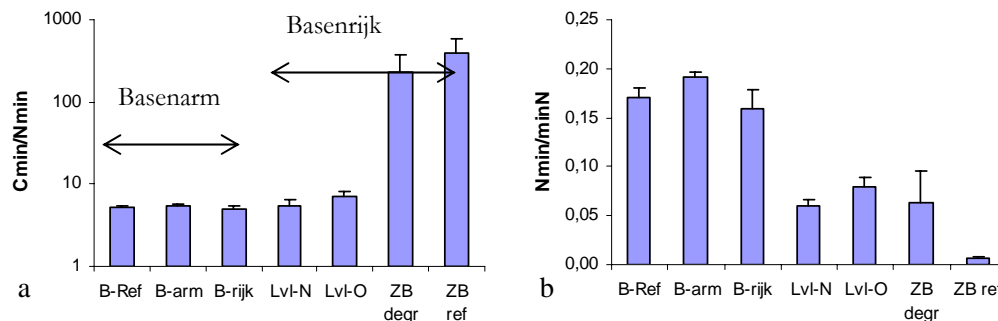
3.2.1 Methode

De onderzochte standplaatsen zijn in een landschappelijke gradiënt te plaatsen (zie Fig. 1). De verschillende microbiologische parameters zijn per perceel ($n=4$, soms $n=2$) weergegeven en gerangschikt naar hun ligging in de gradiënt. In eerste instantie wordt een analyse gemaakt van de onderlinge verschillen binnen de gradiënt. Vervolgens wordt er in meer detail gekeken naar de verschillen binnen twee grotere groepen. Grofweg is daarbij sprake van een droge 'basenarme' groep (De Baronie Cranendonck) als voorbeeld voor natuurontwikkeling op arme zandgronden en een vochtige 'basenrijke' groep (Loefvledder) als voorbeeld voor natuurontwikkeling op rijke zandgronden. In elk van deze groepen wordt de huidige toestand van verlaten landbouwgronden vergeleken met een 'natuurlijke' referentie. Per groep worden dan de verschillen met de referentie besproken. Bij de vergelijking binnen de groep zijn in een aantal gevallen de gehalten van de diverse microbiologische variabelen via bulkgewichten omgerekend naar voorraden of fluxen in de bovenste 10 cm per hectare.

3.2.2 Resultaten

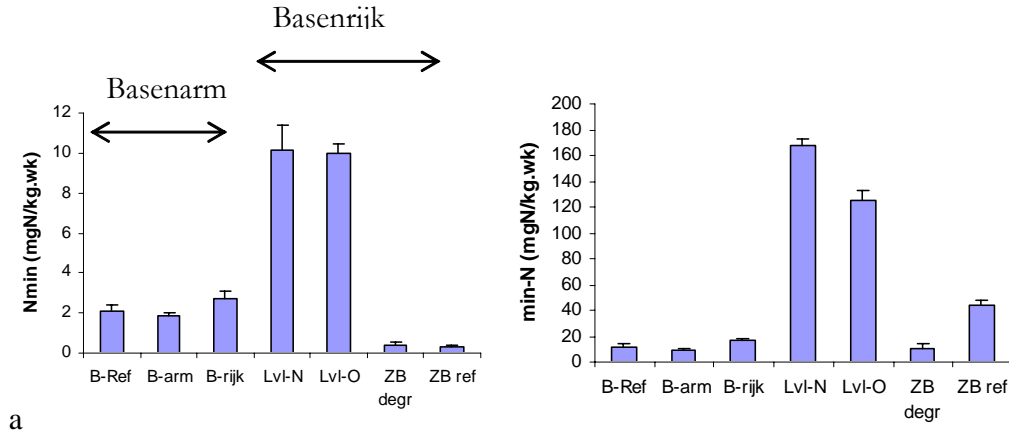
Gradiëntanalyse

De Zandbrink monsters (figuur 4 a en b) geven de hoogste Cmin/Nmin waarden van alle graslanden. In deze blauwgraslanden is sprake van een hoge koolstofassimilatie en een lage netto stikstofmineralisatie. In de 'basenrijke' graslandengroep is de verhouding tussen N-mineralisatie en mineraliseerbaar N het kleinst. Slechts een relatief klein deel van het mineraliseerbare stikstof komt netto beschikbaar. In de referentie van Zandbrink komt maar een zeer geringe fractie van het mineraliseerbare stikstof beschikbaar (Nmin/MinN) en in de 'basenarme' groep van de Baronie komt een relatief grote fractie netto beschikbaar. De graslanden van Loefvledder hebben een vergelijkbare N-min/Min-N verhouding als het gedegradeerde grasland van Zandbrink, maar een aanzienlijk lagere Cmin/Nmin. Dit impliceert dat in Loefvledder een hoge C-mineralisatie samengaat met een hoge netto N-mineralisatie en in het gedegradeerde perceel van Zandbrink met een lage netto N-mineralisatie.



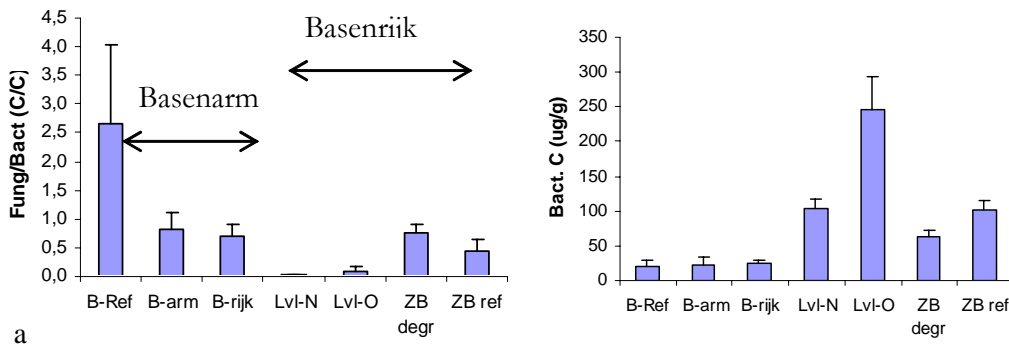
Figuur 4 a) Verhouding tussen koolstof- en stikstofmineralisatie en b) de fractie van het mineraliseerbare stikstof die netto beschikbaar komt (Nmin/MinN)

De netto N-mineralisatie is evenals potentieel mineraliseerbaar N in de Loefvledder graslanden het hoogst van alle groepen en dus ook hoger dan in de referentiegraslanden van Zandbrink (Fig. 5a, b). In de arme Baronie groep is de netto mineralisatie iets groter dan in Zandbrink.



Figuur 5 a) Netto stikstofmineralisatie en b) mineraliseerbaar N (bruto N mineralisatie)

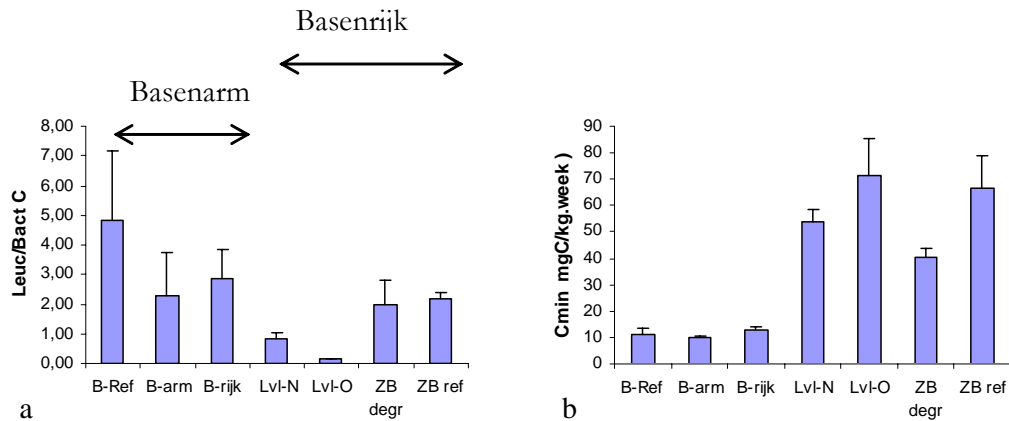
In de Baronie en Zandbrink is de verhouding tussen bacterieel en fungieel C vergelijkbaar (Fig 6a). Bacterieel koolstof is daarbij in iets grotere mate aanwezig dan koolstof afkomstig van schimmels. In Loefvledder zijn nog nauwelijks schimmels aanwezig en zijn bacteriën dominant en in hoge mate aanwezig (Fig 6b). De referentie van de groep 'arme' graslanden (B-ref) wordt gedomineerd door schimmels. Voor zowel de basenarme als de basenrijke groep geldt dat de referenties relatief rijker zijn aan schimmels dan de voormalig landbouwkundige percelen.



Figuur 6 a) Verhouding tussen koolstof afkomstig van schimmels en bacteriën en b) de bacteriële koolstof biomassa

Dankzij de grote hoeveelheid bacterieel koolstof is de verhouding leucine/bact-C (specifieke groeisnelheid) in de Loefvleddergroep het laagste van alle groepen (Fig. 7a). Tegelijkertijd is de koolstofmineralisatie in de Loefvleddergroep toch vrij hoog (Fig. 7b). De specifieke groeisnelheid in de Baronie is vergelijkbaar met Zandbrink,

terwijl de hoeveelheid bacterieel koolstof en de koolstofmineralisatie in de Baronie lager is. Er is in de Baroniegroep kennelijk een kleine bacteriële populatie die wel vrij actief is, terwijl in de Loefvleddergroep een zeer omvangrijke maar weinig actieve bacteriële populatie aanwezig is.



Figuur 7 De specifieke groeisnelheid van bacteriën (a) en de koolstofmineralisatie (b)

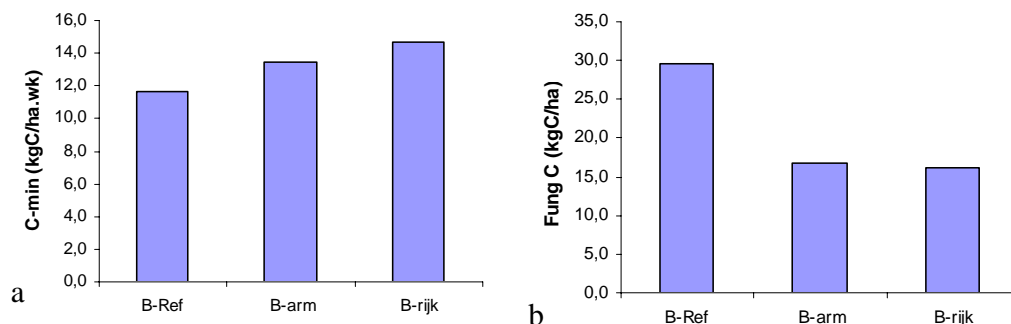
In Loefvledder kan dit wijzen op een geringe graasdruk op bacteriën (of afwezigheid van) door nematoden, protozoa of mijten. In Zandbrink wijst de combinatie van een vrij hoge specifieke groeisnelheid en een relatief geringe bacteriële biomassa op een sterke graasdruk wat zich uit een in hoge koolstofmineralisatie.

De Baroniegroep met zijn referentie heeft een hoge Nmin/MinN en een lage bacteriële C-massa met een vrij hoge specifieke groeisnelheid (Leuc/Bact-C). Dit suggereert een grote graasdruk door nematoden, protozoa of mijten. De bacteriën zijn zeer actief en zouden dan stikstof moeten immobiliseren. De hoge Nmin/MinN verhouding kan daarom alleen verklaard worden uit een versterkte stikstofuitscheiding door protozoa, nematoden of mijten door vertering van de stikstofrijke bacteriën. Immers de bacteriën (incl N) worden opgevreten en het geïmmobiliseerde stikstof wordt door protozoa, nematoden of mijten weer als mineraal N uitgescheiden.

Ontwikkeling binnen basenarme groep (Baronie)

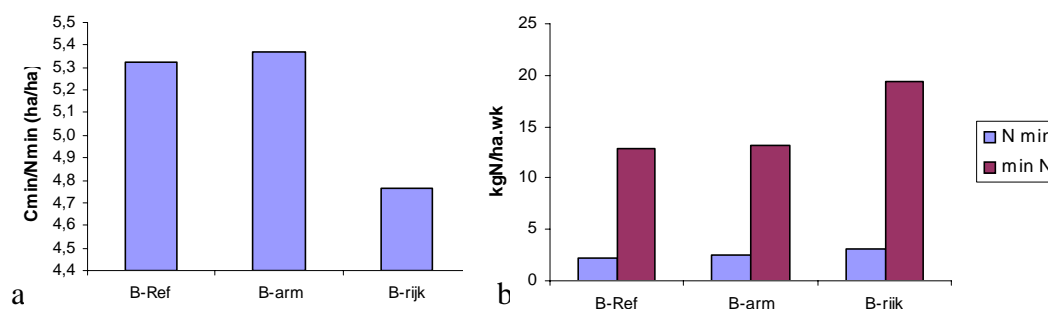
In de arme en rijke percelen van de Baronie is op hectare basis de bodemademhaling (C mineralisatie) laag en vergelijkbaar met de referentieheide (Fig 8a). In de referentie domineren schimmels over bacteriën en in de voormalige landbouwpercelen bacteriën over schimmels. Op hectare basis is de hoeveelheid fungigeen C in de referentie ongeveer een factor 2 groter dan in de graslanden. In de referentie is de specifieke groeisnelheid (zie Fig. 7a) het hoogst van alle standplaatsen gevolgd door het arme perceel. De omvang van de bacteriële populatie in de referentie is dus gering maar de bacteriën zijn wel zeer actief (hoge specifieke groeisnelheid), wat zou kunnen wijzen op een grote activiteit van bacterivoren. Kennelijk is het microbiologisch bodemleven nog niet goed ontwikkeld op de voormalige akkers en is met name de schimmelactiviteit nog laag vergeleken met de heide referentie.

De N-efficiëntie, gemeten als de verhouding tussen koolstof- en stikstofmineralisatie is laag in de Baroniegroep (Fig. 9a, zie ook Fig 4a en b). Er wordt relatief weinig N geïmmobiliseerd en netto komt er relatief veel stikstof beschikbaar. In het rijke perceel is deze N-efficiëntie het laagst. Op hectare basis is de stikstofimmobilisatie in het rijke perceel nog het grootst, zoals blijkt uit de verhouding tussen stikstofmineralisatie en mineraliseerbaar stikstof (Fig.9b). Dit stemt overeen met de iets hogere specifieke bacteriële groeisnelheid in het rijke perceel (zie Fig7a). De hoge thymidine inbouw wijst op een grote DNA synthese activiteit in het rijke perceel (Fig 10).

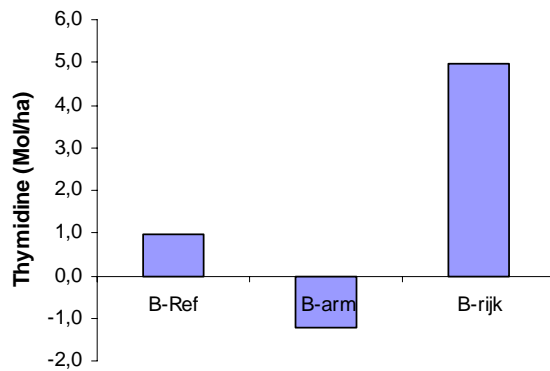


Figuur 8 Koolstofmineralisatie (a) en koolstofvoorraad afkomstig van schimmels (b) in de bodemlaag 0-10 cm van de percelen van de Baroniegroep.

De relatief hoge specifieke groeisnelheid in het rijke perceel kan betekenen dat er een vrij grote graasdruk is van bacterivore protozoa of nematoden. De lage bacteriële C-biomassa zou ook kunnen samenhangen met afwezigheid van een (pot)wormen populatie, die de organische stof zouden moeten inoculeren met bacteriën en daarmee de bacteriën door het profiel zouden moeten verspreiden via bioturbatie.



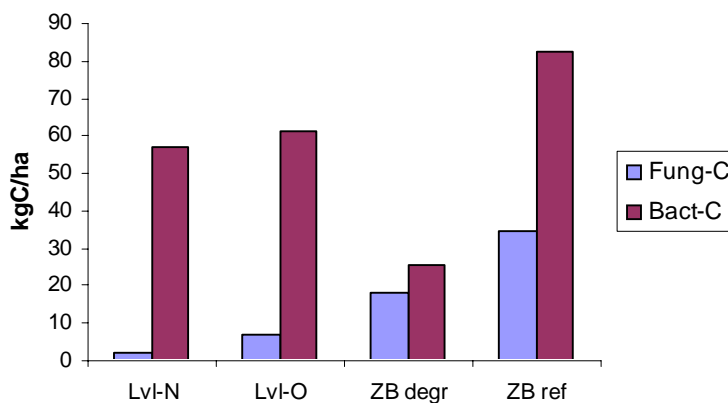
Figuur 9 a) Verhouding tussen koolstof- en stikstofmineralisatie en b) netto $-(N \text{ min})$ en bruto stikstofmineralisatie van de Baroniegroep op hectare basis



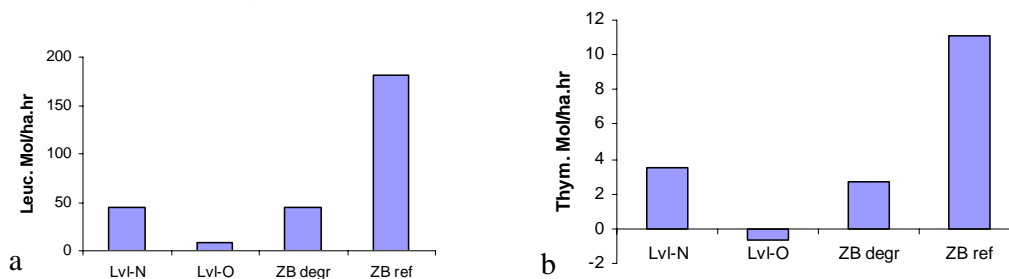
Figuur 10 Thymidine inbouw in de bacteriële biomassa van de verschillende percelen in de Baroniegroep.

Ontwikkeling binnen basenrijke groep (Loefvledder)

In de referentie (ZB ref) komt de grootste voorraad koolstof voor die afkomstig is van schimmels (Fung-C) en in Loefvledder de kleinste (Fig. 11). In alle percelen domineert de bacteriële koolstofvoorraad over die van de schimmels. In het gedegreerde perceel van Zandbrink is ten opzichte van de referentie de bacteriële koolstof sterker gedaald dan fung-C. Dit is een aanwijzing dat verzuring vooral de bacteriële activiteit negatief beïnvloedt. In Loefvledder-oud komt iets meer fung-C voor dan in Loefvledder-nieuw. In het nieuwe perceel is een opvallende lage voorraad biomassa afkomstig van schimmels aanwezig.



Figuur 11 Voorraden koolstof afkomstig van bacteriën (Bact-C) en schimmels (Fung-C) in de bodemlaag 0-10 cm in de Loefvleddergroep

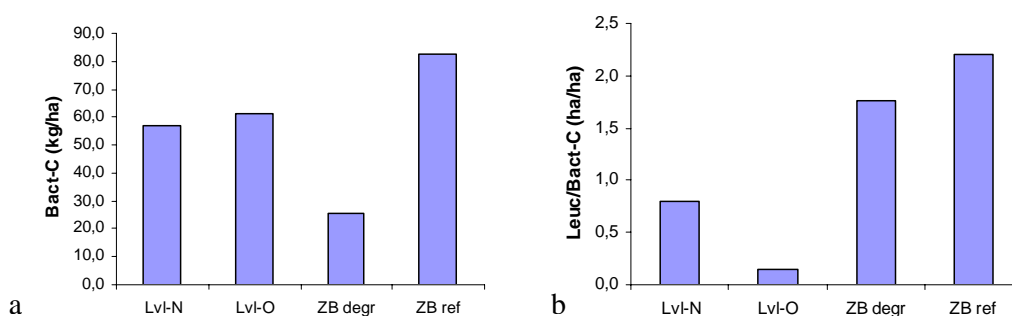


Figuur 12 Leucine en thymidine inbouwsnelheid in de percelen van de Loefvleddergroep

De leucine en de thymidine inbouwsnelheid is het hoogst in de referentie van de groep (Fig12a en b). Een hoge thymidine inbouw wijst op versterkte aanmaak van DNA, wat een indicatie is voor celdeling en dus bacteriële groei.

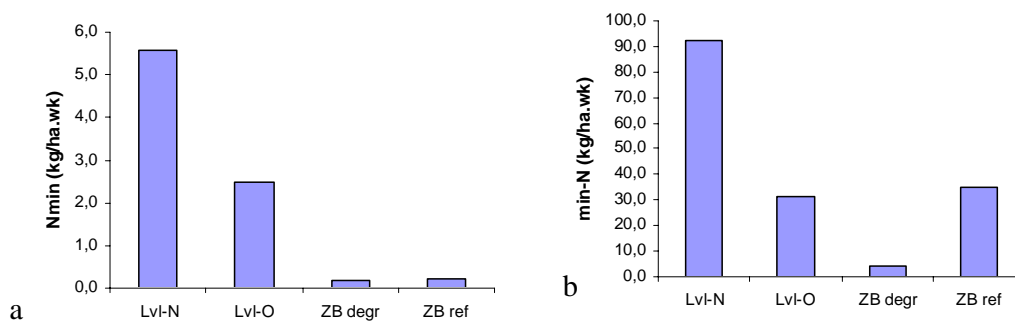
De leucine inbouw in de referentie is een veelvoud groter dan in het gedegradeerde perceel. In Loefvledder-N is de inbouw groter dan in Loefvledder-O. De hoeveelheid bacterieel koolstof is in de referentie groter dan in het gedegradeerde perceel van Zandbrink, terwijl de specifieke bacteriële groeisnelheid vergelijkbaar is. Dit wijst op een grote eiwitsynthese activiteit in de graslanden van Zandbrink. Er is een sterke bacteriële groei, maar de populatie in het gedegradeerde perceel heeft zich niet kunnen handhaven op het niveau van de referentie. In de referentie is meer potentieel mineraliseerbaar N aanwezig dan in het gedegradeerde perceel.

In de percelen van Loefvledder is een grote bacteriële koolstofmassa met een lage specifieke groeisnelheid. In deze voormalige landbouwpercelen is de aanwezige bacteriële biomassa weinig actief. In Loefvledder oud is weliswaar iets meer bact-C (fig 13a) dan in het nieuwe, maar is de specifieke groeisnelheid lager (Fig 13b). Een verklaring voor het verschil tussen het oude en nieuwe perceel kan zijn dat de bacteriologische activiteit in het oude en sterk verzuurde perceel laag is door het ontbreken van graasdruk door nematoden of protozoa. In Loefvledder nieuw zou dan een hogere graasdruk zijn.

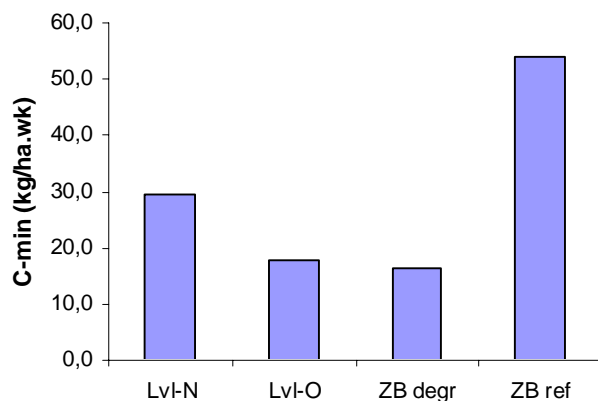


Figuur 13 a) Bacteriële biomassa en b) de specifieke bacteriële groeisnelheid in de percelen van de Loefvleddergroep in de laag 0-10 cm.

De inactieve bacteriële biomassa van Loefvledder vertaalt zich met name in het nieuwe deel in een grote hoeveelheid potentieel mineraliseerbaar N (Fig 14b) en een ruime N-beschikbaarheid (Fig. 14a). De fractie van het potentieel mineraliseerbare N dat er daadwerkelijk mineraliseert bedraagt 6% en in het oude deel 8% (zie Fig 4b). Omdat in de graslanden van Loefvledder de bacteriële activiteit gering is (Fig 13b), wordt er weinig stikstof geïmmobiliseerd en treedt relatief veel netto-mineralisatie op. De ratio $N_{min}/MinN$ is in ZB-ref aanmerkelijk lager (1%) dan in Loefvledder en er komt maar zeer weinig N beschikbaar. Er wordt in de referentie kennelijk meer stikstof geïmmobiliseerd door de actieve bacteriën dan in het gedegradeerde grasland. Dit weerspiegelt zich in de koolstofmineralisatie die in de referentie het hoogst is (Fig. 15).



Figuur 14 a) Netto stikstofmineralisatie en b) mineraliseerbaar stikstof (bruto mineralisatie) van de percelen in de Loefvleddergroep



Figuur 15 Koolstofmineralisatie in de percelen van de Loefvleddergroep

3.2.3 Discussie

Uit onderzoek van Kemmers et al. (2005) blijkt dat de stikstofvoorraad in de bouwvoor van de Baronie (0-20 cm) significant is gestegen in de orde van grootte van 30 tot 45 kgN per hectare per jaar over de afgelopen 25 jaar in zowel de arme als de rijke percelen. Bovendien is de C/N verhouding van de organische stof gedaald. Dit zou dan vooral moeten worden toegeschreven aan N-immobilisatie door bacteriële activiteit. De bacteriële biomassa heeft een omvang van ca. 30 kgC/ha in de bodemlaag 0-10cm. Voor de bouwvoor (ca. 20 cm) zou dat dan ca. 60 kgC/ha zijn. Dat lijkt te weinig bacteriële biomassa om 15 tot 35 kgN per jaar vast te leggen, tenzij er een grote graasdruk is door nematoden/protozoa en bacterieel koolstof wordt geconsumeerd door hogere trofische niveaus, met als gevolg een hoge verhouding Nmin/MinN middels N-uitscheiding (mineralisatie) door grazers. Dit laatste lijkt niet uitgesloten (zie hierboven). Onverteerd en uitgescheiden celmateriaal kan ook nog bijdragen aan de organische stikstofvoorraad. Verder zijn grote

bacteriecellen ($>2 \mu\text{m}$) niet meegeteld omdat ze in relatief erg lage aantallen voorkomen. Door het grote volume kan de bijdrage aan de biomassa wel aanzienlijk zijn. Uit onderzoek van Kemmers en van Delft (subm.) blijkt dat de primaire productie van het gewas en de stikstofopbrengst van het gewas in het referentiegrasland van Zandbrink groter zijn dan in die van het gedegradeerde grasland.

In het oude en nieuwe reservaat van Loefvledder blijkt over een periode van 30 jaar stikstof in de bouwvoor te zijn geaccumuleerd (Kemmers et al 2005, 2006), ondanks een hooilandbeheer. In het oude en organische stofrijke perceel is dit gepaard gegaan met een nauwelijks gedaalde C/N verhouding en in het nieuwe organische stofarme perceel met een gestegen C/N verhouding. Hieruit moet worden afgeleid dat in het nieuwe reservaat de decompositie-activiteit (humificatie) is verminderd en koolstof moet zijn geaccumuleerd. In het nieuwe reservaat komt een iets grotere specifieke groeisnelheid voor, wat wijst op een grotere graasdruk (of wormenactiviteit?) dan in het oude perceel (Fig. 13b). Bacterivorie (N-rijk voedsel) leidt echter weer tot een verhoogde uitscheiding van minerale stikstof. Dit zou dan betekenen dat in het nieuwe reservaat in de loop van 30 jaar natuurontwikkeling tevens stikstofverlies uit de bouwvoor moet zijn opgetreden. In het oude reservaat met minder graasdruk wordt de bacteriële biomassa minder geconsumeerd, zodat per saldo dus meer stikstof wordt geïmmobiliseerd en minder wordt uitgescheiden. In het oude reservaat zouden daardoor minder stikstofverliezen uit de bouwvoor kunnen zijn opgetreden.

Ontwikkeling van een bacteriële C massa lijkt in Baronie te worden geremd. Dit zou kunnen samenhangen met een hoge graasdruk of met afwezigheid/geringe aanwezigheid van een vitale wormenpopulatie, die als multiplier/inoculator van bacteriële biomassa kan worden gezien. De weinige bacteriën die er zijn, zijn wel zeer actief wat een aanwijzing is voor een grote graasdruk. Het lijkt erop dat schimmels de rol van belangrijkste decomposer aan het overnemen zijn van bacteriën, maar de ontwikkeling van fungigene C massa gaat kennelijk zeer langzaam. De shift van een bacterieel naar een schimmel gedomineerd bodemleven gaat samen met bodemverzuring.

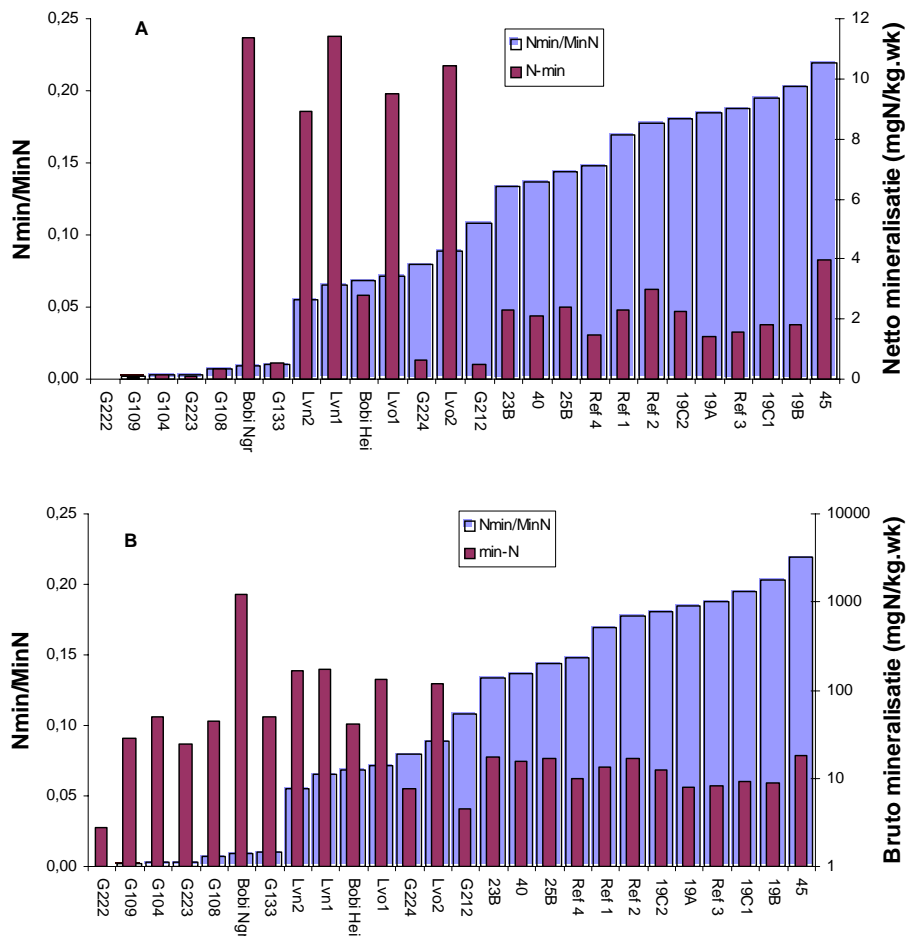
In het landelijk meetnet bodemkwaliteit (bobi-groep) wordt o.a. een groep 'natuurlijke graslanden' en een groep 'heide' onderscheiden (mond. mededeling J. Bloem Alterra). In figuur 16 zijn alle standplaatsen inclusief de beide bobi-groepen gerangschikt naar oplopende verhouding tussen netto en bruto N-mineralisatie ($N_{\text{min}}/\text{minN}$). De bobi-graslanden hebben, evenals de groep rijke graslanden uit ons onderzoek, een lage $N_{\text{min}}/\text{minN}$, wat wijst op een relatief grote stikstofimmobilisatie. De bobi-heide heeft een aanzienlijk hoger $N_{\text{min}}/\text{minN}$ ratio, wat evenals de heide referentie uit ons onderzoek wijst op een mindere mate van stikstofimmobilisatie.

De ratio $N_{\text{min}}/\text{minN}$ is een relatieve maat en zegt nog niets over de feitelijke netto stikstofmineralisatie op een standplaats die voor een vegetatie van belang is. Bij een lage $N_{\text{min}}/\text{minN}$, wat wijst op een relatief sterke immobilisatie, kan niettemin in absolute zin een ruime netto stikstofmineralisatie optreden zoals bijv. in Loefvledder

en de Bobi-graslanden het geval is (Fig 16a). Aan de andere kant kan juist een hoge $N_{min}/minN$ zoals in de Baronie-groep (19A, B en C1) voorkomt in absolute zin slechts een lage netto N-mineralisatie optreden. Dit heeft te maken met de 'natuurlijke' voedselrijkdom van de standplaats c.q. de hoeveelheid N-tot in de bodem.

De bobi-graslanden hebben met Loefvledder gemeen dat er een grote hoeveelheid mineraliseerbaar N en een relatieve hoge beschikbaarheid van minerale stikstof (N-mineralisatie) aanwezig is. Met de referentie van Zandbrink hebben de bobi-graslanden gemeen dat ze een zeer lage verhouding $N_{min}/MinN$ bezitten. Dus van de potentieel beschikbare pool N komt slechts een relatief geringe fractie beschikbaar voor de vegetatie. In Loefvledder en de bobi-groep is daarbij de N-beschikbaarheid (N-min) in absolute zin het hoogst. Natuurlijk grasland uit het landelijk meetnet bodemkwaliteit heeft dus een aanzienlijk grotere netto stikstofmineralisatie dan blauwgraslanden. Wel heeft natuurlijk bobi-grasland met blauwgrasland een relatief grote stikstofimmobilisatie gemeen.

De bobi-heide heeft in vergelijking met de heidereferentie uit de Baroniegroep een lagere verhouding tussen netto en bruto N-mineralisatie maar een vergelijkbare absolute netto mineralisatie. Dit wijst erop dat het bodemleven in de bobi-heide iets actiever is en meer stikstof immobiliseert dan de Baronie heide.



Figuur 16 De verhouding tussen netto en bruto stikstofmineralisatie (Nmin/minN) en a) de netto stikstofmineralisatie (mgN/kg grond) en b) de bruto stikstofmineralisatie (mgN/kg grond) in de onderzochte standplaatsen en in de natuurlijke graslanden (Bobi-Ngr) en in heide (Bobi-Hei) uit het landelijk meetnet bodemkwaliteit. Let op de logaritmische schaal in figuur 16b

3.2.4 Conclusies

Basenarme standplaatsen

Er kan worden geconcludeerd dat in de basenarme graslanden (Baroniegroep) bacteriële activiteit domineert over schimmelactiviteit. De bacteriële biomassa op hectare basis is gering, maar de specifieke bacteriële groeisnelheid is hoog, waardoor er met name in het rijke perceel een relatief grote stikstofhonger aanwezig is met bacteriële stikstofvastlegging als gevolg. Er lijkt sprake van een sterke graasdruk door bacterievore grazers, waardoor stikstof via de grazers in tweede instantie wordt gemineraliseerd. Op hectare basis is deze netto mineralisatie gering.

Basenrijke standplaatsen

Geconcludeerd kan worden dat in het goed ontwikkelde referentieperceel (blauwgrasland) een grote bacteriële activiteit aanwezig is, waarbij veel stikstof wordt geïmmobiliseerd en weinig wordt gemineraliseerd. Van de totale hoeveelheid microbiële koolstof is ca. 40% afkomstig van schimmels. Bij verzuring neemt de schimmelactiviteit toe en de bacteriële activiteit sterk af. Dit uit zich in een toename van de netto N-mineralisatie bij degradatie door verzuring.

In de voormalige landbouwpercelen van Loefvledder is een sterk dominante bacteriële biomassa aanwezig. Slechts 5-10% van de microbiële koolstofvoorraad is afkomstig van schimmels. In het oude reservaat is het aandeel schimmels iets groter dan in het nieuwe reservaat. De bacteriële biomassa heeft echter een lage activiteit en een lage specifieke groeisnelheid. Dit uit zich in een geringe stikstofimmobilisatie en een relatief hoge netto N-mineralisatie. In het recentst uit productie genomen grasland (nieuw reservaat) is een sterke koolstofmineralisatie die mogelijk kan worden toegeschreven aan een actieve groep bacterivoren, die tevens veel mineraal stikstof uitscheiden. In het oude perceel is de specifieke groeisnelheid van bacteriën lager en bact-C iets groter, wat wijst op een geringere graasdruk en iets meer stikstofimmobilisatie. In het oude perceel is i.t.t. het nieuwe perceel over een periode van 30 jaar stikstof geaccumuleerd.

Voormalige landbouwgronden en hun referenties

Uit de vergelijking van de standplaatsen van de voormalige landbouwpercelen met de referenties in natuurgebieden blijkt dat zich op hoofdlijnen vier groepen onderscheiden:

- i) (Basen)rijke standplaatsen die getypeerd worden door een zeer actief microbiële bodemleven gedomineerd door bacteriën maar ook een duidelijke aanwezigheid van schimmels. In deze groep is een relatief sterke N-immobilisatie en in absolute zin lage netto N-mineralisatie aanwezig (Zandbrink). De microbiologische activiteit wordt gestimuleerd door wormen.
- ii) (Basen)rijke standplaatsen met een matig actief microbiële bodemleven gedomineerd door bacteriën en vrijwel geen schimmels en met een relatief matige N-immobilisatie en in absolute zin hoge netto N-mineralisatie (voormalige landbouwpercelen Loefvledder). De afwezigheid van wormen heeft waarschijnlijk een lage microbiologische activiteit tot gevolg.
- iii) (Basen)arme standplaatsen met een matig actief microbiële bodemleven dat door schimmels wordt gedomineerd en met een relatief sterke N-immobilisatie [Ik zie geen lager $N_{min}/minN$ in de heide!] en in absolute zin hoge netto N-mineralisatie (Heiden). Microbiologische activiteit aangejaagd/gestimuleerd via bacterivore en/of predatore mijten.
- iv) (Basen)arme standplaatsen getypeerd door een weinig actief microbiële bodemleven met zowel schimmels als bacteriën en een relatief lage N-immobilisatie en in absolute zin hoge netto N-mineralisatie (voormalige landbouwpercelen Baronie). Afwezigheid van bacterivore en/of predatore mijten is de vermoedelijke oorzaak van een weinig actief bodemleven.

4 Relatie microbiologische parameters en arthropoden

4.1 Methode

Arthropoden onderzoek

Op basis van mengmonsters per perceel (subsamples 0-10 cm diepte) werd de bodem kwantitatief geanalyseerd op voorkomen van aantallen mijten. De mijten werden o.a. opgesplitst naar voedselgilde: arthropoden predatoren, algemene predatoren, fungivore browsers, fungivore grazers, herbivore browsers, herbivore grazers, herbofungivore grazers, omnivoren, opportunistische herbofungivoren en parasieten.

Extractie van de monsters vond plaats met behulp van de Tullgren techniek (Mond. mededeling G. Jagers, Alterra), waarbij de grond op zeven boven trechters wordt gelegd, waarna door middel van belichting de dieren uit de grond worden gedreven als gevolg van langzaam opwarmen en uitdrogen van de grond. Uit dit mengmonster zijn submonsters getrokken met behulp van een gelmethode. Vervolgens is per monster een schatting van het aantal dieren bepaald op basis van vier submonsters van 1 ml uit een totaal van 10 ml. Onafhankelijk hiervan is de soortensamenstelling vastgesteld op basis van determinatie van 70 individuen per locatie. Vervolgens zijn soortensamenstelling, aantalschatting per monster en het oppervlak bemonsterde grond gecombineerd tot een schatting van het aantal individuen per soort en per monster.

Relaties tussen trofische niveaus

De onderscheiden voedselgilden werden aanvankelijk gegroepeerd naar twee trofische niveaus van mijten:

1. Grazers (s.l) als som van fungivore browsers + fungivore grazers + omnivoren + (opportunistische) herbofungivoren en
2. Predatoren: als som van algemene predatoren + arthropoden predatoren.

Omdat fungivore browsers de enige mijtengroep is die voor zijn voeding volledig afhankelijk is van levende schimmels zijn in tweede instantie predatoren en uitsluitend fungivore browsers (grazers s.s.) als trofische niveaus onderscheiden. Omdat bleek dat de relaties tussen grazers (s.s.) en microbiologische parameters in essentie niet verschillen van de relaties tussen grazers (s.l.) en microbiologische parameters wordt verder alleen de oorspronkelijke indeling tussen trofische niveau van mijten aangehouden.

Aldus werd het in combinatie met het microbiologisch onderzoek mogelijk in totaal drie trofische niveaus te onderscheiden: microben (fungi en bacteriën), 'grazende' mijten (totaal mijten minus predatoren) en predatoren. Nematoden en protozoa die vooral bacterivoor zijn ontbreken in deze analyse.

Hierna is onderzocht of er verbanden zijn te vinden tussen aantallen mijten en microbiologische parameters.

4.2 Resultaten

Eerder werd geconcludeerd dat een hoge koolstofmineralisatie gepaard gaat met een hoge microbiële biomassa (zie fig 2). Uit arthropoden onderzoek blijkt dat er een negatieve relatie bestaat tussen koolstofmineralisatie en het totaal aantal aangetroffen mijten ($r^2=0,54$).

Het sterkste verband wordt gevonden met omnivore mijten ($r^2=0,74$; niet afgebeeld). Een intensieve bodemademhaling gaat kennelijk gepaard met geringe aantallen arthropoden. Een deel van de arthropoden (fungivore grazers, -browsers en omnivoren: i.e. totaal excl. predatoren) 'graast' op schimmels. Er is een negatieve correlatie tussen deze groep 'grazers' en de koolstofmineralisatie (Fig 17a). Naarmate schimmels sterker worden begraasd neemt de bodemademhaling af. Dit verband is nog sterker met predatore mijten (Fig 17b). De aanwezigheid van 'grazende' mijten onderdrukt kennelijk de microbiële (schimmel) activiteit en dit wordt nog versterkt door de aanwezigheid van predatore mijten.

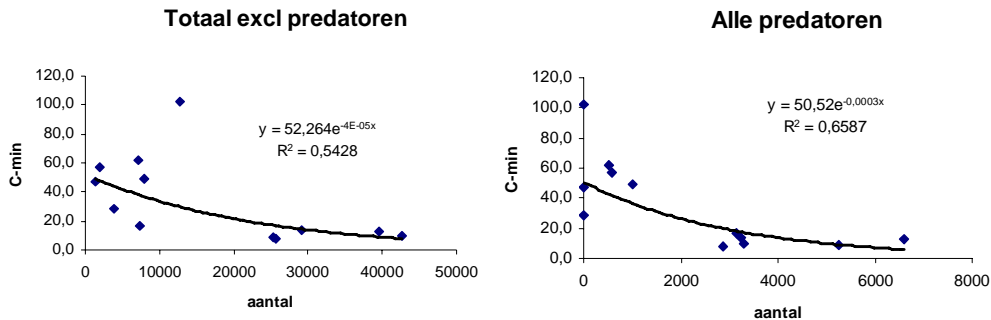
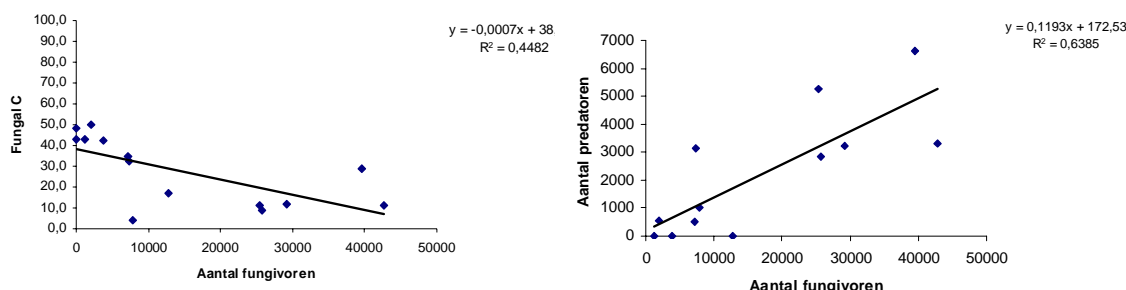


Fig 17. Relatie tussen koolstofmineralisatie en a) 'grazende' mijten en b) predatore mijten

Dit suggereert een top-down relatie tussen 'fungivoren' en schimmels: meer fungivoren, minder schimmels (i.e. fungal C, Fig 18a). Schimmels groeien continue aan nadat hun hyphen zijn opgevreten, zodat fungivoren over een continu aanbod van voedsel kunnen beschikken, terwijl de momentane schimmelvoorraad gering blijft. Tegelijkertijd is er een bottom-up relatie tussen fungivoren en hun predatoren: hoe meer fungivoren, hoe meer predatoren (Fig 18b). De reproductiesnelheid van fungivore mijten is kennelijk zo laag, dat de voedselvoorraad voor de predatoren niet continue aangroeit zoals bij de fungivoren het geval is. Grote aantallen predatoren mogen daarom alleen worden verwacht als er permanent een groot aantal fungivore mijten beschikbaar is.

Bij een grote microbiologische activiteit bleek veel stikstof te worden geïmmobiliseerd voor eiwitsynthese van microbiële cellen. Dit uitte zich in een negatieve relatie tussen microbiel c.q. bacterieel C en de verhouding tussen netto en bruto N-mineralisatie ($N_{min}/MinN$) (Fig. 3 en 4). Het blijkt dat de $N_{min}/MinN$ verhouding positief is gecorreleerd met het aantal fungivoren ('grazende' mijten; Fig 19b; $r^2=0,5$). De relatie met het aantal predatore mijten is nog sterker (Fig. 19a).

Naarmate er meer fungivoren en predatoren zijn neemt de netto stikstofmineralisatie toe. Naarmate er minder fungivoren en predatoren zijn, neemt de netto stikstofmineralisatie af. Als er weinig fungivoren zijn, ontwikkelt zich kennelijk een actief microbiel leven met een grote stikstofhonger, waarbij veel stikstof immobilisatie plaatsvindt.



Figuur 18 Relatie tussen a) schimmelbiomassa en aantallen fungivore mijten en b) aantal predatoren en aantal fungivoren

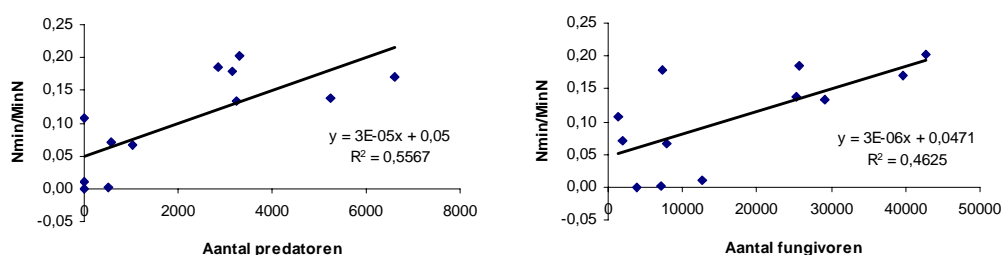


Fig 19. Relatie tussen a) het aantal predatore mijten en de verhouding tussen netto en bruto stikstofmineralisatie (Nmin/MinN) en b) het aantal 'grazende' mijten en Nmin/MinN.

Als er veel fungivoren zijn wordt er veel microbiële biomassa gevreten, waardoor er veel stikstof via 'urine' van de fungivoren beschikbaar komt. Als er veel predatoren zijn worden er ook veel 'fungivoren' gepredeerd en komt de stikstof beschikbaar via de 'urine' van de predatoren. In deze redenering zit een ogenschijnlijke contradictie: Veel fungivoren kunnen zich slechts handhaven als er een constante ruime voedselbron is van microbiële biomassa.. Dit vereist een continue aanmaak en grote activiteit van microbiële biomassa., wat juist een sterke stikstoffmobilisatie tot gevolg zou moeten hebben, tenzij dit geïmmobiliseerde stikstof continue wordt opgevreten en als urine weer beschikbaar komt. Dit wijst dus wel degelijk op een stimulerende invloed van fungivoren op microbiële activiteit (top-down regulatie). Dit wordt bevestigd door de positieve correlatie tussen fungivore mijten en de specifieke groeisnelheid (verhouding Leuc/Bact C; Fig 20): veel fungivoren gaat samen met een hoge specifieke groeisnelheid van microben.

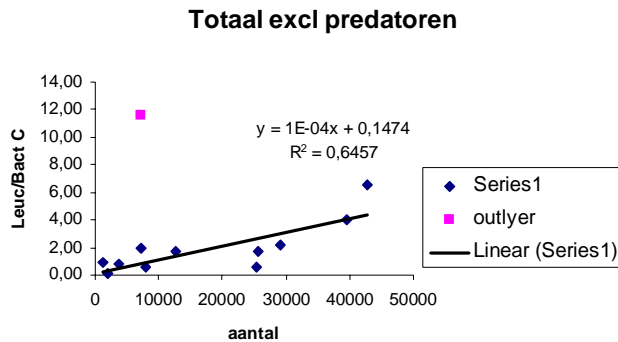


Fig 20. Specifieke groeisnelheid (*Leuc/Bact. C*) in relatie tot het aantal mijten excl. predatoren.

4.3 Discussie

Bij de resultaten viel op dat de aantallen mijten in monsters afkomstig van de basenrijke groep (Loefvledder, Groot-Zandbrink) aanzienlijk lager waren dan in die van de basenarme groep. Dit werd in eerste instantie toegeschreven aan het feit dat de monsters uit de basenrijke groep wat natter en leemrijker waren, waardoor de monsters enigszins versmeerd waren en de mijten in het monster mogelijk waren opgesloten.

Het blijkt dat de ‘versmeerde’ monsters weliswaar geringe aantallen mijten bevatten, maar ook dat bij het microbiologisch onderzoek in deze monsters de hoogste specifieke groeisnelheid, de grootste bacteriële biomassa (hectare basis) en de laagste netto stikstofmineralisatie werd geconstateerd. De vraag is of het geringe aantal mijten inderdaad een artefact is door versmering van de monsters of dat deze monsters gekarakteriseerd worden door lage aantallen mijten in combinatie met een hoge microbiële activiteit. De versmeerde monsters zijn afkomstig van terreinen die in winter/voorjaar langdurig onder water staan, wat mogelijk tot gevolg kan hebben dat de overlevingskansen voor mijten niet groot zijn.

Verhoef (1986) en Verhoef & Brussaard (1990) wijzen op de veelal positieve correlatie tussen fungivoren en predatoren enerzijds en netto stikstofmineralisatie anderzijds. De laagste N-mineralisatie komt voor in de referentie van Groot-Zandbrink. Hier worden dan ook relatief weinig fungivoren en vrijwel geen predatoren aangetroffen. Dit lijkt dus een argument dat de resultaten van de ‘versmeerde’ groep niet het gevolg zijn van een monstertechnisch probleem.

In Loefvledder komt zeer weinig schimmel C en zeer veel bacterieel C voor, maar tevens een zeer lage leucine inbouw. Dit wijst erop dat schimmels ontbreken en er veel inactieve bacteriën zijn. Microbiële inactiviteit wijst op ontbreken van fungi- en bacterivoren. In Loefvledder worden inderdaad weinig arthropoden gevonden. Ook

dit is een argument dat resultaten van de versmeerde groep niet het gevolg zijn van een artefact.

In de Baroniegroep komt een kleine maar zeer actieve microbiële populatie voor in combinatie met grote aantallen mijten, terwijl in de Loefvleddergroep een zeer omvangrijke maar weinig actieve microbiële populatie met weinig mijten voorkomt. In Baronie leidt de 'graasdruk' van de mijten tot een geringe microbiële biomassa, die continue wordt aangevreten en daarom continue nieuwe biomassa moet aanmaken. Graasdruk van mijten heeft waarschijnlijk geen effect op de bacteriën.

4.4 Conclusies

- Een actief microbiel bodemleven (hoge C-min) met een geringe biomassa (Fung. C) gaat samen met een hoge specifieke groeisnelheid (Leuc/Bact C), grote aantallen fungivoren en predatoren en een sterke netto stikstofmineralisatie.
- Een actief microbiel bodemleven wordt op een laag biomassa niveau gehouden door grote fungivore activiteit (veel fungivoren), die op zijn beurt weer een grote predatoren populatie oproept en een sterke netto stikstofmineralisatie.
- Een actief microbiel bodemleven (hoge C min) met een grote microbiële biomassa en weinig fungivoren en predatoren gaat samen met een sterke stikstofimmobilisatie.
- In het onderzoek is de rol van bacterivore protozoa en nematoden niet meegenomen. Hoewel bij de onderzochte trofische niveaus alleen fungivore en predatore mijten zijn betrokken, wordt verondersteld dat soortgelijke relaties gevonden zullen worden indien bacterivore nematoden en protozoa en hun predatoren in beschouwing zouden zijn genomen.

5 Relatie met (pot)wormen

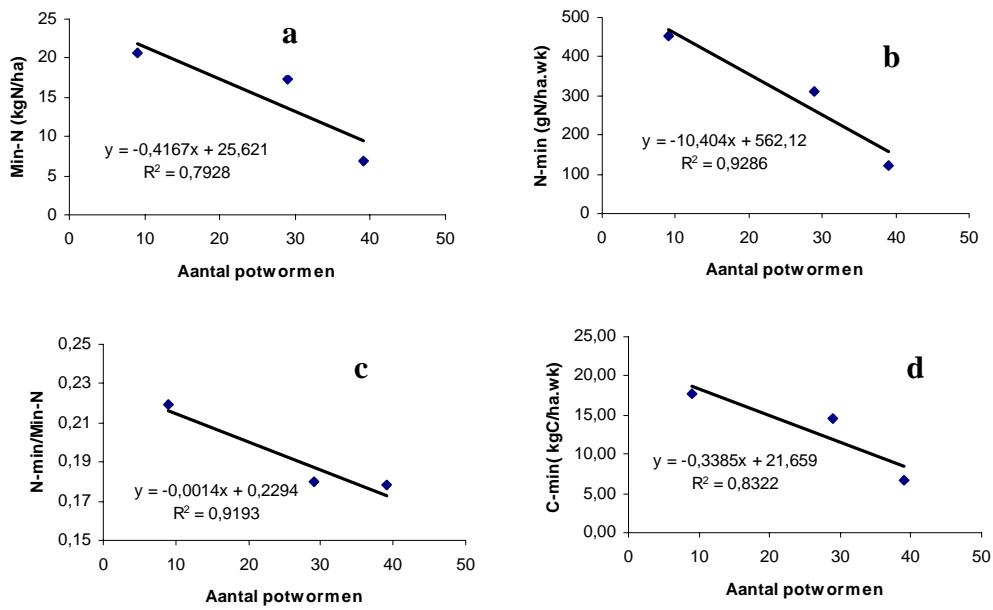
Method

Het potwormen onderzoek had een sterk oriënterend karakter en werd alleen uitgevoerd in de Baronie Cranendonck. Er werden op 3 locaties deelmonsters verzameld van verschillende dieptes. Per diepteklasse werden de deelmonsters samengevoegd tot mengmonsters. Per mengmonster werd per diepteklasse (0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30 cm) het aantal potwormen geteld (mond. meded. J. Faber. Alterra). Voor het onderzoek naar relaties met microbiologisch parameters werden aantallen wormen van de verschillende diepteklassen per perceel samengevoegd, zodat slechts drie waarnemingen beschikbaar waren voor het analyseren van de relatie tussen microbiologische parameters en potwormen.

Resultaten

Gegeven het geringe aantal waarnemingspunten mogen resultaten slechts indicatief worden geïnterpreteerd. Het aantal potwormen bleek sterk negatief te correleren met de netto stikstof mineralisatie (Fig 21a) de bruto stikstofmineralisatie (Fig 21b) en de verhouding tussen netto en bruto mineralisatie (N-min/min-N; Fig 21c). Naarmate er meer potwormen zijn neemt zowel de bruto als de netto stikstofmineralisatie af, waarbij de netto mineralisatie sterker afneemt dan de bruto mineralisatie. Het grootste aantal potwormen werd in de referentie van de heide gevonden het laagste aantal in perceel 45. Bij regenwormen wordt de 'verteerde' organische stof uitgescheiden als stabiele aggregaten die de organische stof tegen verdere afbraak/mineralisatie beschermen. De decompositie (C-min) blijkt eveneens af te nemen naarmate meer potwormen aanwezig zijn (Fig 21d). Hoewel deze analyse op een beperkt aantal waarnemingen is gebaseerd zijn de resultaten wel consistent.

Eijsackers (mond. meded. Alterra) concludeert uit een herhaling van zijn onderzoek in 2006 dat de ontwikkeling van de wormenactiviteit in Cranendonck stagneert. Een recente wormenanalyse laat zien dat regenwormpopulaties op hetzelfde niveau zijn gebleven als van de laatste meetserie in de 90-er jaren. Hij constateerde dat er een ontwikkeling vanaf nihil naar maximaal 220 wormen per m² heeft plaatsgevonden in de eerste 5-6 jaar, dat de ontwikkeling niet heeft doorgezet maar wat is ingezakt en dat het niveau daarna ongeveer hetzelfde is gebleven. Verder is het aantal gevonden soorten zeer beperkt, de laatste maal alleen *L. rubellus* en 1 ex van *A. caliginosa*; dus wat verscheidenheid betreft mag je wel van inzakken spreken.



Figuur 21 Relaties tussen aantallen potwormen en a) bruto stikstofmineralisatie b) netto stikstofmineralisatie c) verhouding tussen netto en bruto stikstofmineralisatie en d) de koolstofmineralisatie

6 Synthese

Aanpassing hypothese

Op basis van de resultaten uit hoofdstukken 3 en 4 is in tabel 4 in een sterk gecondenseerde vorm een overzicht gegeven van enkele bodembioologische karakteristieken van de verschillende standplaatsen gerangschikt naar hun ordinale positie langs de schaal van enkele bodembioologische parameters.

Tabel 4 De onderzochte standplaatsen in hun onderlinge relatie langs de schaal van enkele bodembioologische parameters. Gebruikelijk is Fungal/Bacterial ratio, ipv andersom

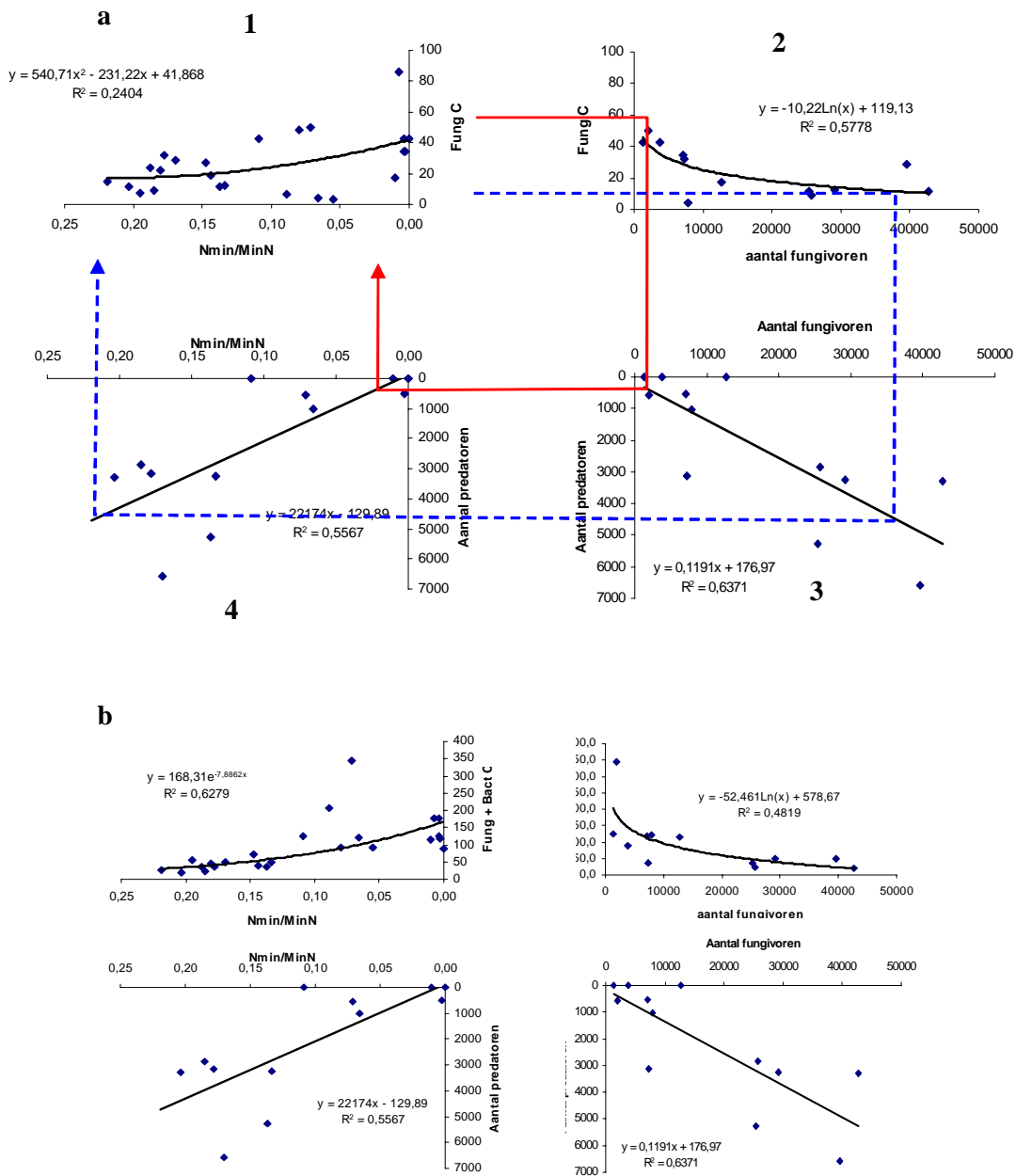
Standplaats	Aantal predatoren	BactC/ Fungal C	C-mineralisatie	Netto/Bruto- mineralisatie
Zb-degr	Geen	50/50	Matig	Vrij laag
Zb-ref	Weinig	Hoog	Hoog	Zeer laag
Loefvl	Matig	Zeer hoog	Hoog	Vrij laag
Baronie	Veel	50/50	Laag	Hoog
Bar-ref	Zeer veel	Laag	Laag	Hoog

De onderzoeksresultaten geven aan dat de hypothese over relaties tussen trofische niveaus en hun invloed op de netto stikstofmineralisatie moet worden bijgesteld. De hypothese veronderstelde dat de trofische niveaus in het bodemvoedselweb top-down worden gecontroleerd. De resultaten wijzen op een combinatie van top-down en bottom-up relaties (Fig. 22a). De aanwezigheid van veel grazers (fungivoren) leidt tot grote specifieke microbiologische groeisnelheid maar een kleine microbiële biomassa (top-down controle). Veel grazers roepen veel predatoren op (bottom-up controle). Veel predatoren 'zetten veel grazers om', die veel eiwitrijke i.e. stikstofrijke microben geconsumeerd hebben, hetgeen tot een grote stikstofuitscheiding c.q. netto stikstofmineralisatie leidt.

In de analyse van het bodemleven is niet voorzien in de bacterivore schakel die wordt vertegenwoordigd door nematoden en protozoa. Er is echter geen reden te veronderstellen dat de relaties in geval van bacterivore grazers (nematoden en protozoa) anders zal zijn. Veel bacterivore grazers stimuleren de specifieke bacteriële groeisnelheid en roepen veel predatoren (predatore nematoden, mijten) op en genereren een hoge netto stikstofmineralisatie. Figuur 22b illustreert de relaties in het bodemvoedselweb indien ook bacteriële koolstof in beschouwing wordt genomen.

Bodemdegradatie en natuur

In Loefvledder en De Baronie Cranendonck werd de bodemontwikkeling van natuur op voormalige landbouwgronden over een periode van 25-30 jaar geanalyseerd en vergeleken met referenties in 'echte' natuurgebieden (zie Tabel 2 en 3). Daarbij werd een verzurende tendens waargenomen die gepaard ging met een daling van de organische stofgehalten in de bodem. Wat is de consequentie hiervan voor natuurontwikkeling?



Figuur 22 a) Relaties tussen schimmels, fungivoren en predatoren en de invloed daarvan op de netto stikstofmineralisatie. 1) De relatie tussen fungaal C en netto stikstofmineralisatie (Nmin/minN), 2) de bottom-up relatie tussen fungivoren en fungaal C, 3) de top-down relatie tussen predatoren en fungivoren en 4) de invloed van het aantal predatoren op de netto stikstofmineralisatie. b) idem als a maar dan voor de relatie tussen fungaal C en bacteriële C in netto stikstofmineralisatie.

De bodemontwikkeling na het staken van landbouwkundig beheer wijst op een afname van organische stofgehalten door organische stofdecompositie in combinatie met zuurder wordende omstandigheden. Met het verdwijnen van organische stof wordt tevens een stijging van de stikstofvoorraden geconstateerd, waarschijnlijk door immobilisatie van atmosferisch stikstof in microbiologische biomassa. Voor een gewenste vegetatie-ontwikkeling blijkt echter nog steeds een te grote stikstofbeschikbaarheid aanwezig, zodat het wenselijk is dat de stikstofbalans opschuift in de richting van een sterkere stikstofimmobilisatie. Het lijkt erop dat de afwezigheid van actieve schimmelpopulaties deze ontwikkeling verhindert.

In Groot-Zandbrink werd de bodem van een door verzuring gedegradeerd blauwgrasland vergeleken met die van een goed ontwikkeld blauwgrasland. Daarbij resulteerde verzuring juist in een toename van het organische stofgehalte door accumulatie van slecht verteerd strooisel. In vergelijking met de referentie bleek er een verschuiving in de stikstofbalans te zijn opgetreden in de richting van een versterkte netto-mineralisatie, waardoor de vegetatie ge-eutrofeerd raakte en soortenaantallen terugliepen. De versterkte netto-mineralisatie wordt toegeschreven aan met name een verminderde bacterie-activiteit door het wegvallen van een vitale regenwormenpopulatie.

Discussie

Voor natuurbeheer wijzen lage niveaus van $N_{min}/MinN$ op een sterke stikstofimmobilisatie en een voor de vegetatie beperkte beschikbaarheid van stikstof. Doorgaans levert dat stikstofbeperkende omstandigheden die wenselijk zijn om lage niveaus van primaire productie te realiseren en die een randvoorwaarde vormen voor grote biodiversiteit. Uit figuur 22a kan worden afgeleid dat in een systeem met veel predatoren en fungivoren en een lage microbiologische activiteit en biomassa veel stikstofmobilisatie (netto stikstofmineralisatie) zal plaatsvinden. Een systeem met een sterke stikstofimmobilisatie gaat samen met weinig predatoren, weinig fungivoren, maar een hoge microbiologische activiteit en biomassa. Het eerste systeem wijst in de richting van een niet door stikstof beperkte en het tweede systeem op een wel door stikstof beperkte primaire productie. Daarentegen werd ook geconstateerd (Fig 17) dat lage niveaus van $N_{min}/MinN$ in geval van hoge stikstofgehalten in de bodem wel degelijk tot een grote netto N-beschikbaarheid voor de vegetatie kunnen leiden.

Het eerste systeem wordt getypeerd door een ruime aanwezigheid van (fungivore en predatore) mijten. De aanwezigheid van mijten uit zich in humushorizonten in de vorm van 'droppings' ook wel 'moderbolletjes' genoemd. Ecosystemen die bodemkundig getypeerd kunnen worden als 'moders' lijken volgens onze resultaten geneigd te zijn tot een niet-stikstof beperkte primaire productie, tenzij...de bodem stikstofgehalten zeer laag zijn. Modersystemen zouden theoretisch gekenmerkt moeten zijn door schimmels; in de veldbodemkundige praktijk worden deze schimmels echter zelden waargenomen. Dit nu kan worden begrepen uit de grote graasdruk van fungivore mijten in een modersysteem. In dit licht beschouwd zou een rijkelijke aanwezigheid van schimmels juist een teken aan de wand moeten zijn.

Het tweede systeem, waarin mijten ontbreken, is typerend voor bodems die tot de groep van mull humusvormen gerekend kunnen worden. Mulls lijken dus te wijzen op N-beperkte standplaatsen, tenzij...de bodem stikstofgehalten hoog zijn. Het blijkt dat in mulls schimmels relatief weinig voorkomen en dat bacteriën dominant zijn. Juist om die reden zijn er voor mijten (fungivoor) weinig geschikte voedselbronnen te vinden, wat hun afwezigheid in mulls kan verklaren (en tevens het ontbreken van mijten in de monsters van Loefvledder en Z'brink). De niche die fungivore mijten in de moders innemen zou in de mulls door bacterivore protozoa en bacteriën kunnen zijn ingenomen. (Regen)wormen zijn in deze mulls o.a. essentieel als organismen die organisch materiaal enten met bacteriën (bacteriële multiplier). In hoeverre kan de regenworm dan ook gezien worden als 'predator' van bacterivore protozoa en nematoden? Immers protozoa en nematoden lijken voldoende klein om via grondpartikels en organische stof ('toevallig' want wormen predateren)prederen? niet bewust op bacterivoren) in het maagdarmkanaal van wormen terecht te kunnen komen om daar vervolgens niet te kunnen overleven, maar wel een bron van door wormen uit te scheiden stikstof (via vertering van eiwitrijke protozoa en bacteriën) te kunnen vormen. De relatie tussen wormen en bacterivoren lijkt daarbij meer het karakter te hebben van een top-down relatie.

Mor-systemen zijn in deze context niet aan de orde gekomen. Mors vertegenwoordigen de zuurste standplaatsen. Mors worden gekenmerkt door een zeer geringe mate van bodemleven: te zuur. Dit uit zich in accumulatie van slecht afgebroken en onverteerd 'strooisel'.

Conclusie

Uit het onderzoek kan worden geconcludeerd dat er belangrijke aanwijzingen zijn verkregen dat de bodemkwaliteit voor bovengrondse biomassa in sterke mate wordt bepaald door de samenstelling van het bodemleven. De analyse van bodembioologische parameters in natuurontwikkelingsgebieden op voormalige landbouwgrond (De Baronie Cranendonck, Loefvledder) en in natuurgebieden met gedegradeerde bodems (Groot Zandbrink) geven aan dat het microbiologisch bodemleven een belangrijke schakel is in het herstel van floristische natuurwaarden. Een onbalans tussen verschillende trofische niveaus van het bodemleven kan leiden tot een verstoorde stikstofkringloop, die voor de vegetatie tot een te groot stikstofaanbod leidt. Hiermee zijn belangrijke indicaties verkregen dat functionele bodemdiversiteit een randvoorwaarde is voor floristische diversiteit.

7 Gevolgen voor praktijk

Op weg naar effectgerichte maatregelen bodemkwaliteit ?

Het in de praktijk soms tegenvallende resultaat van effectgerichte maatregelen voor natuurherstel (OBN-regeling) komt met de resultaten van dit onderzoek in een nieuw daglicht te staan. Wellicht dat het uitblijven van effecten na uitvoering van abiotische maatregelen is te verklaren vanuit het (slecht) functioneren van het bodemvoedselweb. Mogelijk dat bepaalde schakels daarin ontbreken of sterk in vitaliteit zijn aangetast met als gevolg een verstoring van de stikstofkringloop. De vraag is gerechtvaardigd of en hoe de relaties in het voedselweb van de bodem zijn te manipuleren om de stikstofbalans te herstellen in een gewenste richting met een versterkte N-immobilisatie. Praktische ervaringen hiermee ontbreken. Hieronder wordt bij wijze van theoretische oefening een diagnose gesteld over de gezondheidstoestand van het bodemleven in elk van de drie onderzochte cases. Op basis van deze diagnose wordt vervolgens aangegeven aan welke herstelmaatregelen gedacht zou kunnen worden

De positie van bacteri- en fungivoren in het voedselweb lijkt van cruciaal belang te zijn: enerzijds stimuleren zij via een top-down relatie de groei van microbiel leven en dus de N-immobilisatie, anderzijds roepen zij via een bottom-up relatie predatoren op, die op hun beurt weer de N-mobilisatie stimuleren. Dit lijkt een Gordiaanse knoop. Die knoop kan wel worden doorzien vanuit een in steady state verkerend evenwichtig systeem. Het probleem kan van twee kanten worden benaderd:

- 1) een verstoring van het evenwicht in de richting van een ongewenste situatie (bijv. o.i.v verzuring) of
- 2) 2) een actie om een systeem weer in een gewenste toestand terug te krijgen (effectgerichte maatregelen).

ad 1) Door de snelle levenscyclus van microben zullen zij zich snel aanpassen aan veranderde omstandigheden. Het lijkt (in modersystemen) dus logisch te veronderstellen dat bijv. verzuring of toxische stoffen het eerst aangrijpen bovenin de voedselpyramide. Predatoren zouden dus als eerste verdwijnen uit het systeem. Minder predatoren betekent dat op het onderliggende niveau (fungivoren) minder predatiedruk ontstaat en de populatie fungivoren zich kan uitbreiden (door de verstoring zou dan de bottom-up relatie tussen fungivoren en predatoren overgaan in een top-down relatie !). Dit leidt tot een afname van de schimmelbiomassa C en een toename van de netto-mineralisatie. (zie fig. 21). Uiteindelijk mag verwacht worden dat ook het tweede niveau (fungivore mijten) last krijgt van verzuring en zal verdwijnen, waardoor schimmels zich sterk kunnen uitbreiden. Dit leidt dan weer tot N-immobilisatie ?

In een mullstelsel zou in eerste instantie de wormenpopulatie moeten afnemen door milieustress. Daardoor valt hun rol als bacteriële multiplier weg, neemt de invloed (verspreiding) en activiteit (groei) van bacteriën af, wat tot een verminderde

N-immobilisatie leidt en een ruimere netto N-beschikbaarheid. Ook in mulssystemen lijkt verstoring dus tot N-mobilisatie te leiden.

Ad 2) In een verstoord modersysteem is door afwezigheid van predatoren een te sterke stikstofmobilisatie aanwezig. Deze groep predatoren zou dus weer moeten terugkeren om de omvangrijke fungivorenpopulatie terug te dringen, zodat de schimmelbiomassa weer toeneemt en de stikstofimmobilisatie wordt versterkt. In een verstoord mulstelsysteem ontbreken wormen waardoor geremde bacteriële invloed op stikstofimmobilisatie aanwezig is en te veel stikstof netto beschikbaar is. Door herintroductie van regenwormen zou de bacterie-activiteit kunnen worden gestimuleerd en de stikstofimmobilisatie worden gestimuleerd.

Diagnose en maatregelen Loefvledder

Tot welke diagnose leidt het ziektebeeld van Loefvledder die uit de analyse van het bodemleven naar voren is gekomen? En welk medicijn zou vervolgens moeten worden voorgeschreven om de patiënt beter te maken. Als referentie kan daarbij Zandbrink (Zb-ref) worden genomen.

In Loefvledder zijn van alle standplaatsen bacteriën het meest dominant over schimmels. Er wordt de hoogste bacteriële koolstofmassa gemeten, maar tegelijkertijd werd er de laagste specifieke groeisnelheid aangetroffen. Dit wijst op een geringe graasdruk door bacterivoren (nematoden, protozoa). De specifieke groeisnelheid zou gestimuleerd moeten worden om Loefvledder zich verder te kunnen laten ontwikkelen naar een mulstelsysteem met een sterkere N-immobilisatie. Wetende dat in mulssystemen weinig predatore mijten aanwezig zijn en wormen wellicht een soortgelijke rol spelen als predatoren, zou misschien juist de regenwormenpopulatie er gestimuleerd moeten worden. Als bacteriële multipliers zouden zij de bacteriële C biomassa en dus de N-immobilisatie kunnen laten toenemen. Schimmels komen nog in beperkte mate voor, terwijl in referentie blauwgrasland schimmels en bacteriën bij benadering in gelijke mate voorkomen. Ook schimmelactiviteit kan bijdragen aan versterking van de stikstofimmobilisatie.

Diagnose en maatregelen De Baronie Cranendonck

Tot welke diagnose leidt het ziektebeeld van Cranendonck die uit de analyse van het bodemleven naar voren is gekomen. En welk medicijn zou vervolgens moeten worden voorgeschreven om de patiënt beter te maken. Als referentie is het bodemleven van de heide in Cranendonck genomen.

In de referentie van Cranendonck is de verhouding tussen koolstof afkomstig van schimmels en bacteriën ca. een factor 3 groter (zie Fig 6a) en lijkt de verhouding tussen netto en bruto stikstofmineralisatie lager dan in de voormalige landbouwgronden. Het zou daarom wenselijk zijn dat de schimmelbiomassa in de voormalige landbouwpercelen zou toenemen, waardoor er meer stikstofimmobilisatie zou optreden en de verhouding tussen netto en bruto stikstofmineralisatie zal dalen. Dit zou tot een daling van de netto stikstofmineralisatie leiden. Om de schimmelbiomassa te activeren zou de graasdruk moeten toenemen, maar om de

schimmelbiomassa te laten toenemen moet juist de graasdruk afnemen. Dat is een dilemma.

Een alternatieve remedie om de stikstofmobilisatie te stimuleren is te herleiden uit de (pot)wormenanalyse. Door een toename van de (pot)wormenpopulatie lijkt de stikstofmobilisatie te kunnen worden gestimuleerd. Dit sluit aan bij resultaten van onderzoek door Eijssackers (mond. meded.), waaruit bleek dat de wormenpopulatie is ingezakt in de Baronie Cranendonck en waaruit kan worden afgeleid dat er een te sterke netto stikstof mineralisatie aanwezig is.

Diagnose en maatregelen Groot-Zandbrink

Tot welke diagnose leidt het ziektebeeld van het gedegradeerde blauwgrasland die uit de analyse van het bodemleven naar voren is gekomen. En welke medicijn zou vervolgens moeten worden voorgeschreven om de patiënt beter te maken. Als referentie is het bodemleven het goed ontwikkelde blauwgrasland in Groot-Zandbrink genomen.

In Groot-Zandbrink werd de bodem van een door verzuring gedegraderd blauwgrasland vergeleken met die van een goed ontwikkeld blauwgrasland. Daarbij resulteerde verzuring juist in een toename van het organische stofgehalte door accumulatie van slecht verteerd strooisel. In vergelijking met de referentie bleek er een verschuiving in de stikstofbalans te zijn opgetreden in de richting van een versterkte netto-mineralisatie, waardoor de vegetatie ge-eutrofeerd raakte en soortenaantallen terugliepen. De versterkte netto-mineralisatie wordt toegeschreven aan met name een verminderde bacteriologische activiteit door het wegvallen van een vitale regenwormenpopulatie. Het is van belang in het gedegradeerde blauwgrasland de stikstof beschikbaarheid te reduceren door de stikstofmobilisatie te stimuleren. Dit impliceert dat een toename van de bacteriële activiteit wenselijk is, waarbij wormen (als bacteriële multiplier) een belangrijke rol kunnen spelen. Wormen zijn waarschijnlijk verdwenen door verzuring. In eerste instantie moet dus verzuring worden bestreden door bv. bekalking. Indien bekalking zou plaatsvinden zonder het geaccumuleerde ruwe strooisel te verwijderen zal waarschijnlijk een versterkte stikstofmineralisatie optreden wat juist ongewenst is. Voor bekalking zal dus eerst via plaggen het strooisel moeten worden verwijderd.

Literatuur

Bakker, J.P., 1989. Nature Management by grazing and cutting. Dordrecht. Kluwer Academic publishers.

Bloem, J., M. Starink, M.B. Bär-Gillissen and Th.E. Cappenberg, 1988. Protozoan grazing, bacterial activity, and mineralization in two-stage continuous cultures. *Applied and Environmental Microbiology* 54, 3113-3121.

Bloem, J., C. Albert, M.B. Bär-Gillissen, Th. Berman and Th.E. Cappenberg, 1989. Nutrient cycling through phytoplankton, bacteria and protozoa, in selectively filtered Lake Vechten water. *Journal of Plankton Research* 11, 119-131.

Bloem, J. T. Schouten, W. Didden, G. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel, M. Rutgers, T. Breure. 2004. Measuring soil biodiversity: experiences, impediments and research needs. In "Agricultural impacts on soil erosion and soil biodiversity: developing indicators for policy analysis" (R. Francaviglia, editor), Proceedings of the OECD expert meeting on soil erosion and soil biodiversity indicators, 25-28 March 2003, Rome, Italy. OECD, Paris, p. 109-129. (http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/soil_ero_bio.nsf)

Bloem J., Lebbink G., Zwart K B., Bouwman L. A., Burgers S. L. G. E., De Vos J. A. and De Ruiter P. C., 1994 Dynamics of microorganisms, microbivores and nitrogen mineralisation in winter wheat fields under conventional and integrated management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 51, 129-143.

Brussaard, L., 1997. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology* 9: 123-135

Canali, S. and Benedetti A., 2006. Soil nitrogen mineralization. In *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*. Eds.: J. Bloem, A. Benedetti and D. W. Hopkins. pp. 127-135. CABI, Wallingford, UK.

Delft, S.P.J., P.C. Jansen en R.H. Kemmers, 2004. Effectgerichte maatregelen tegen verdroging, verzuring en stikstofdepositie in beekdalen (Gelderse Vallei). Ede. Expertisecentrum LNV. Rapport EC-LNV 2004/283-O.

Delft, Bas van, Rein de Waal, Rolf Kemmers, Peter Mekking, Jan Sevink, 2007. Humus forms; description and classification of humus forms for ecological applications. Field guide. Alterra. Wageningen.

Eijsackers, H.J.P., 1983. Development of earthworm populations in abandoned arable fields under grazing management. In: J.E. Satchell (ed.) *Earthworm Ecology; from Darwin to vermiculture*. Chapman & Hall. London.

- Faber, J.H., 1991. Functional classification of soil fauna: a new approach. *Oikos* 62: 110-117.
- Grime, J.P., 1973. Competitive exclusion in herbaceous vegetation. *Nature* 242: 345-347.
- Keeney, D. R. and Nelson D. W., 1982. Nitrogen - Inorganic forms. In *Methods of soil Analysis, Part 2*. Eds.: C. A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark. Madison WI: Am Soc Agron, pp.682-687.
- Kemmers, R.H., A.T. Kuiters, P.A. Slim & J.P. Bakker, 2006. Is ontgronden noodzakelijk voor natuurherstel op voormalige landbouwgronden? *De Levende Natuur* 107(4):170-176.
- Kemmers Rolf, Loek Kuiters, Bas van Delft, Pieter A. Slim, Jan P. Bakker & Yzaak de Vries, 2005. Haalbaarheid natuurdoelen op fosfaatverrijkte gronden; Dertig jaar natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden. *Alterra-rapport 1040*. Alterra, Wageningen.
- Kemmers , R.H. & S.P.J. van Delft, subm. A pedological approach assessing nutrient availabilities and limitations for primary production in fen meadows. *Plant and Soil*.
- Laar, J.A.J. van de & P.A. Slim, 1979. Veranderingen in flora en vegetatie van de verlaten landbouwgronden in het CRM-reservaat Baronie Cranendonck na vijf jaar begrazing door IJslandse pony's (1972-1977). Leersum, Rijksinstituut voor Natuurbeheer. RIN-rapport 79/13.
- Laar, J. van de & P.A. Slim, 1981. Veranderingen op verlaten landbouwgronden in de Baronie Cranendonck met behulp van begrazing door IJslandse pony's. *Brabants Landschap* 57: 5-10.
- Siepel, H., 1991. Recovering of natural processes in abandoned Agricultural areas: decomposition of organic matter. *Proceedings of the 4th ECE/XIII. SIEEC, Gödöllö*.
- Verhoef, H.A., 1986. Effecten van bodemarthropoden op de N-kringloop in de strooisellaag. *Vakbl. Biol.* 66(20):427-430.
- Verhoef, H.A. & L. Brussaard, 1990. Decomposition and nitrogen mineralisation in natural and agro-ecosystems: the contribution of soil animals. *Biogeochemistry* 11: 175-211.