

Intern Rapport 14

Bodemvoedselwebben op melkveebedrijven

Maart 2005



Intern Rapport 14

Bodemvoedselwebben op melkveebedrijven

Methode voor een kwalitatieve analyse van de voedselwebstructuur

F.W. Smeding
N. van Eekeren
A.J. Schouten

Maart 2005

Voorwoord

De voor u liggende rapportage is het resultaat van een studie in 2004 naar bodemleven onder grasland, in het kader van het project BIOVEEM. Hierbij is gebruik gemaakt van de resultaten uit het RIVM-project Bodembiologische Indicator (BoBI). Het BoBI-project is een samenwerkingsverband tussen het RIVM, Alterra, Wageningen Universiteit en Blgg-Oosterbeek. Een aantal BIOVEEM-bedrijven maakt deel uit van de bemonsterde locaties.

In het kader van de programmafinanciering PO34 (LNV) is eerder in 2003 een discussiestuk geschreven: 'Leven onder de graszode'. Deze studie is hiervan een verdieping. Zowel het discussiestuk als de verdiepende studie zijn bedoeld om veehouders te ondersteunen bij het ontwikkelen van landbouwbedrijven die hun bodem verzorgen als peiler van hun productie; in samenhang met de andere belangrijke peilers van vee en gewassen. Uiteindelijk gaat het om een balans in eigen welzijn, gezonde ecologie en rendabele productie. Met andere woorden: '*people, planet en profit*'.
De studie heeft daarbij een *people*-aspect als bijzonder doel. Namelijk: een voor de veehouder visualiseerbare, meer natuurgetrouwe voorstelling van het bodemleven maken als aanvulling op het abstracte, gefragmenteerde beeld van microscopische en chemische bodemanalyses. Deze voorstelling van het bodemleven wordt vervolgens in verband gebracht met zijn dagelijkse beslissingen en handelen. Op die manier kan dan de kloof tussen praktijk en onderzoek overbrugd worden.

Aan de volgende personen en instanties is dank verschuldigd:
- Het begeleidingsteam van het BoBI-project gaf feedback en verleende ons het vertrouwen bij om BoBI-dataset te onderzoeken: Michiel Rutgers (RIVM), Jaap Bloem (WUR-Alterra), Wim Didden (WUR) en Gerard Jager op Akkerhuis (WUR-Alterra);
- Jaap Bogte (RIVM) gaf ondersteuning bij het ontsluiten en ordenen van de BoBI-dataset van 1997-2001 voor de specifieke analyses van de studie;
- Christian Mulder (RIVM) adviseerde op gebied van multivariate analyses en de indeling van trofische groepen;
- André Schaffers (WUR) adviseerde bij de toepassing van multivariate analyses en clustering technieken;
- Luc Steinbuch maakte het rekenprogramma in Excel voor de 'bolletjesfiguren';
- Gangbare- en biologische melkveehouders waar in het kader van het BoBi-project is bemonsterd op bodemleven.

Frans Smeding (LBI)
Nick van Eekeren (LBI)
Ton Schouten (RIVM)

Inhoudsopgave

Voorwoord

1 Inleiding 1
1.1 Doelstelling 1
1.2 Een systeembenadering van landbouwbedrijf en bodemvoedselweb 1
1.3 Vraagstelling 3
2 Methode 4
2.1 Koppeling met de BoBl-dataset 4
2.1.1 Keuze van de locaties 4
2.1.2 Metingen aan het bodemvoedselweb 4
2.1.3 Metingen aan de omgevingsfactoren 5
2.2 Beschrijving en classificatie van het topologisch voedselweb 6
2.2.1 Standaardisatie 6
2.2.2 Topologisch voedselwebdiagram 6
2.2.3 Clusteranalyse en opstellen van een typologie 8
2.2.4 Leggen van relaties met omgevingsfactoren 8
3 Resultaten 9
3.1 Voedselwebstructuren in relatie tot het bedrijfssysteem 9
3.1.1 Gangbare en biologische melkveehouderij op zand 9
3.1.2 Verschillen tussen biologische melkveebedrijven 13
3.2 Voedselwebstructuren in relatie tot het bedrijfstype 14
3.3 Voedselwebstructuren in relatie tot de grondsoort: zand en klei 19
4 Discussie en Conclusie 22
4.1 Betekenis van de methode voor inzicht in de praktijk 22
4.2 Een aanzet tot een typologie van voedselwebstructuren 22
4.2.1 Voedselwebstructuren in relatie tot het bedrijfssysteem 22
4.2.2 Voedselwebstructuren in relatie tot het bedrijfstype 23
4.2.3 Voedselwebstructuren in relatie tot de grondsoort 24
4.3 Beoordeling van voedselwebstructuren 24
4.3.1 Beoordeling met betrekking tot de functies van het bodemleven 24
4.3.2 Indicatorwaarde van een voedselwebstructuur 24
4.3.3 De keuze van referentielocaties 24
4.4 Conclusie 25
Literatuur 26
Bijlagen 28

1 Inleiding

1.1 Doelstelling

De bedoeling van deze studie is om bij te dragen aan de ontwikkeling van duurzame vormen van bodemgebruik (Oenema, 2003). Het concrete aanknopingspunt van de studie zijn de praktische vragen van veehouders en onderzoekers binnen het project BIOlogische VEEhouderij en Management (Projectteam BIOVEEM, 2000). In het kader van het LNV-programma biologische veehouderij en praktijkonderzoek (PO34) maakten van Eekeren *et al.* (2003) reeds een gedocumenteerd overzicht van de invloed van het bodemleven op de dagelijkse boerenpraktijk van de melkveehouderij en *vice versa*. Deze werkwijze impliceert de door de TCB (2003) gewenste bevordering van de overdracht van traditionele praktijkkennis en van kennis uit voorbeeldprojecten.

De studie heeft tevens tot doel om bij te dragen aan het Nederlandse onderzoeksproject Bodembiologische Indicator (BoBI) (o.a. Schouten *et al.*, 2002; zie bijlage 1), dat onder meer streeft naar de bepaling van nationale referentiebeelden voor de biologische samenstelling van bodemtypen en bodemgebruiksvormen. Evenals het BIOVEEM-project is ook het BoBI-project gericht op de ontwikkeling van duurzame vormen van landgebruik. Het BoBI-project heeft tevens de intentie om gericht onderzoek te gaan doen aan relaties tussen bodemleven en concrete handelingen van de veehouder op bedrijf- en perceelsniveau (Rutgers *et al.*, 2002). Breure *et al.* (2003) concludeerden: "*We staan op dit moment voor de uitdaging om samen met LNV, regionale en lokale overheden, en praktische bodembeheerders (LTO, boeren, natuurbeheerders) de inzichten bruikbaar te maken voor boeren en andere lokale bodembeheerders*". Deze studie wil hiertoe concrete handvatten aanreiken.

Van Eekeren *et al.* (2003) verduidelijkte het belang voor de praktijk van het meten en beoordelen van 'samenhang' oftewel van 'het functioneren van het bodemvoedselweb'. De studie gaat verder in deze lijn. Enerzijds met een methodisch doel, namelijk de uitwerking van een methode voor een kwalitatieve voedselwebanalyse op basis van metingen aan bodem en bodemleven. Anderzijds met een inhoudelijk doel, namelijk: het op basis van deze kwalitatieve analyse, formuleren van hypothesen over de relatie tussen management in de melkveehouderij en de bodemvoedselwebstructuur. Oftewel: het effect van handelingen van de veehouder op het bodemleven in zijn grasland.

De uitwerking van een kwalitatieve voedselwebanalyse zou tegemoet kunnen komen aan de leemte die in het BoBI-project ontstaan is doordat een dynamisch voedselwebmodel onuitvoerbaar bleek (Schouten *et al.*, 2000; zie bijlage 1). De allometrische eigenschappen van de voedselwebstructuur, zoals voorgesteld door Mulder *et al.* (2004, 2005), komen hieraan deels tegemoet. In combinatie met deze bepaling kan een meer empirisch gerichte kwalitatieve voedselwebanalyse een invulling geven aan de deelindicator 'Structuur voedselweb' in het Bodem-biologische Indicatorsysteem van Schouten *et al.* (1997). De kwalitatieve analyse levert dan een typologie of classificatie van structuren terwijl de allometrische bepaling aan de ecologische prestaties van deze structuren, een index of getal kan toekennen.

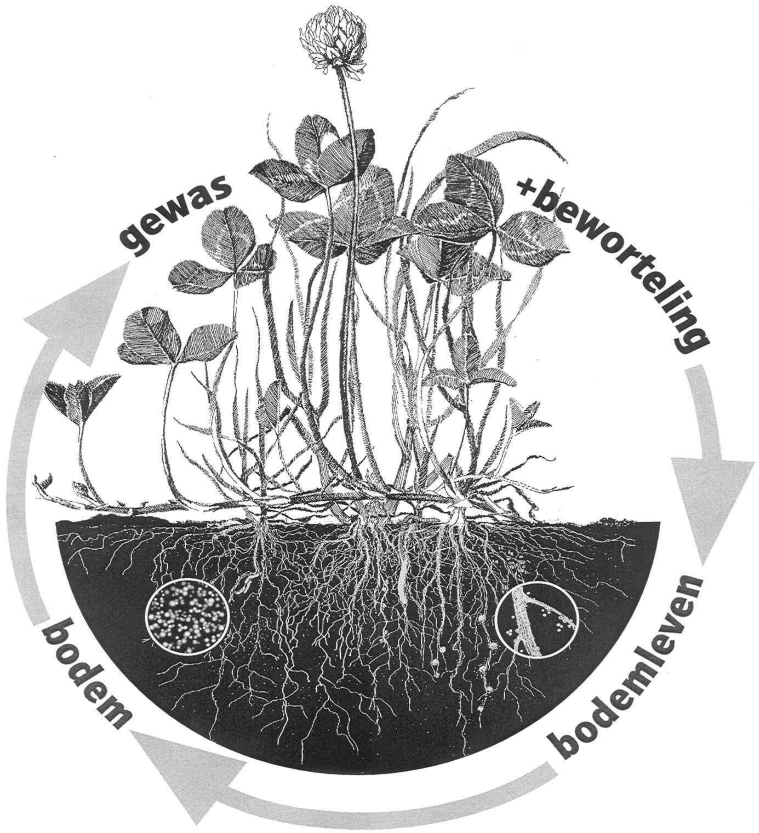
1.2 Een systeembenadering van landbouwbedrijf en bodemvoedselweb

Bij de interactie tussen bodemleven en melkveehouderij is sprake van twee complexe systemen die ieder hun eigen interne samenhang hebben (Van Eekeren *et al.*, 2003):

- De soortengroepen binnen een bodemvoedselweb beïnvloeden elkaar door middel van predatie, concurrentie en facilitatie. De reacties van afzonderlijke soorten kunnen niet los gezien worden van de leefgemeenschap in de grond. De veehouder stuurt daarom niet de afzonderlijke soorten maar de structuur van de leefgemeenschap;
- In het systeem van het landbouwbedrijf is sprake van een hiërarchie en afhankelijkheid tussen alle maatregelen van beweiding, maaien, bemesting en grondbewerking. Het zijn aan elkaar gekoppelde keuzen binnen sociaal-economische en ecologische randvoorwaarden.

Op een hoger integratieniveau zijn ook bodemleven en bedrijfsvoering onlosmakelijk verbonden; de mate van integratie kan echter variëren. In een biologische of duurzame bedrijfsvoering zoekt men naar wegen om deze integratie te versterken (Goewie & Smeding, 2004). Verhoeven *et al.* (2003) karakteriseren deze wijze van management met de term '*rebalancing*'. Een voorbeeld van een beknopt model dat het bodemsysteem en het bedrijfssysteem met de veehouder als spil, integreert is de 'cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem' (Van Eekeren *et al.*, 2003) (fig. 1). Dit model dient als kapstok voor de discussie tussen praktijk en onderzoek.

Figuur 1 Cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem (Van Eekeren *et al.,* 2003)



Deze agro-ecologische visie heeft als consequentie dat speciale aandacht nodig is voor de structuur van het bodemleven in relatie met de structuur van het landbouwbedrijf. Met andere woorden: onderzoek aan de agrarische synecologie. In eerste instantie kan deze aandacht zich richten op het exploreren van patronen (configuraties) in de voedselwebstructuur in relatie met hoofdkenmerken van de landbouwbedrijven (Smeding, 2001; Smeding & De Snoo, 2003; Goewie & Smeding, 2004). Dit is een empirisch gericht onderzoek dat resulteert in een typologie van voedselwebstructuren. De volgende stap zou kunnen zijn: een nadere detaillering van de bedrijfskenmerken in termen van teeltmaatregelen en het linken van de voedselwebstructuur met prestaties in termen van *Life Support Functies* (LSF) (Schouten *et al.*, 1997, 2002) of *nutsfuncties* (Breure *et al.*, 2003). De focus kan daarbij liggen op de voor de melkveehouder belangrijke functies (Van Eekeren *et al.*, 2003, pp.19-22). De empirisch gevonden typologie van voedselwebstructuren in relatie met landbouwkundig management zou aanknopingspunten kunnen bieden voor interessante hypothesen over processen en functies.

Het is mogelijk om een 'topologisch voedselweb' op te stellen van iedere locatie (of groep van locaties met overeenkomstig bodemleven) met de set bodembiologische parameters van het BoBl-project. Dat betekent een momentopname van een voedselwebdiagram met daarin schattingen van de relatieve hoeveelheden van de trofische groepen. In deze studie representeert het topologisch voedselweb, weergegeven in een voedselwebdiagram, de 'voedselwebstructuur'. Het topologische voedselweb is de meest eenvoudige weergave van een voedselweb-model (Polis & Winemiller, 1996). Door de visuele rangschikking volgens figuren uit de voedselwebliteratuur (bijv.: De Ruiter *et al.*, 1995; Polis & Winemiller, 1996; Cohen *et al.*, 2003; Smeding & De Snoo, 2003) geeft de figuur aanvullende kwalitatieve informatie ten opzichte van diagrammen die de metingen in een taxonomische of alfabetische volgorde weergeven.
Een reeks van voedselwebdiagrammen geeft ook de mate van de associatie tussen trofische groepen weer. Deze patronen blijven bij responsmodellen of correlatieberekeningen onderbelicht. Een diagram van het topologisch voedselweb is aldus een mogelijke invulling van 'Structuur voedselweb' in BoBl. De indicatieve waarde van een

gevonden voedselwebstructuur kan gebaseerd worden op de gemeten of berekende *Life Support Functies* van deze structuur, bijvoorbeeld met behulp van de methode van Mulder *et al.* (2004, 2005).
De wijze van bemonstering van het BoBl-project in de periode 1997-2002 laat een beperkte keuze toe voor een vergelijking tussen locaties. De locaties zijn geselecteerd op basis van verschil in grondsoort (zand of klei), bedrijfstype (veehouderij of akkerbouw) en bedrijfssysteem (biologisch, gangbaar extensief of intensief). Op de locaties zijn in de bodem verschillende abiotische kenmerken gemeten en van de bedrijven zijn enkele globale kenmerken opgevraagd (bijv. de veebezetting). Met oog op het motief van deze studie om de ontwikkeling van duurzaam landgebruik te bevorderen, zijn vooral factoren interessant die instrument zijn van de boer. Daarom ligt het accent van deze studie op het vergelijken van bedrijfssystemen naast het vergelijken van bedrijfstypen (m.a.w. grasland versus bouwland). Verschillen tussen grondsoorten zijn in dit verband vooral illustratief.

In 2002 is een voorstudie uitgevoerd met een kwalitatieve voedselwebanalyse met BoBl-gegevens (Rutgers *et al.*, 2002, pp.107-108; Van Eekeren *et al.*, 2003, pp. 46-47). Deze voorstudie was gebaseerd op metingen in 1999 op 10 biologische melkveebedrijven op zand. De voedselwebdiagrammen zijn visueel geordend. Op grond van de resultaten is besloten om deze methode, aangevuld met een numerieke wijze van ordening, op een groter aantal gegevens toe te passen.

1.3 Vraagstelling

De studie heeft zowel een methodische als een inhoudelijke doelstelling.
Op methodisch gebied is de vraag: kan met behulp van een kwalitatieve voedselwebanalyse het gefragmenteerde, abstracte beeld van het bodemleven vanuit microscopische metingen, herleid worden tot een voor de praktijk visualiseerbaar, levendig beeld van het bodemleven in relatie met management?

Wat betreft de inhoud is de centrale onderzoeksvraag:
Wat is het effect van het bedrijfssysteem op de bodemvoedselwebstructuur? En aansluitend hierop: wat is het effect van het bedrijfstype en van de grondsoort op de bodemvoedselwebstructuur?

Vanwege de beschikbare data zijn is de vraagstelling gespecificeerd in de richting van drie deelstudies:
1. Welke bodemvoedselwebstructuren komen voor op melkveehouderijbedrijven op zand? Kunnen de voedselwebstructuren op biologische bedrijven onderscheiden worden van de voedselwebstructuren op gangbare bedrijven? In hoeverre zijn er verbanden aan te wijzen met het management op de verschillende melkveebedrijven?
2. Welke variatie in voedselwebstructuren komt voor op grondgebonden landbouwbedrijven op zandgrond, namelijk: veehouderij en akkerbouw, zowel gangbaar als biologisch? In hoeverre houdt de gevonden variatie in voedselwebstructuren verband met het bedrijfstype of het bedrijfssysteem?
3. Welke voedselwebstructuren komen voor op gangbare melkveehouderijbedrijven op zand en klei? Kunnen voedselwebben op zand en klei onderscheiden worden?

Het beantwoorden van de vraag naar relaties tussen de voedselwebstructuur en het type management op de bedrijven kan maar in beperkte mate plaatsvinden op basis van de in 1999 verzamelde bedrijfskenmerken. Want de bemonstering vond plaats op bedrijfsniveau en de managementsaspecten zijn alleen globaal beschreven. Antwoorden en speculaties in deze richting komen aan de orde bij de interpretatie van de resultaten, met name in de discussie. Dat geldt ook voor de beoordeling van de voedselwebstructuren ten aanzien van prestaties qua *Life Support Functies*. Uitspraken in dit verband komen aan de orde in de discussie.

Op basis van voorgaand onderzoek (o.a. in BoBl-verband) waren de verwachtingen (hypotheses) voor deze studie:
- De samenstelling van het bodemleven op biologische veebedrijven verschilt duidelijk van dat op gangbare veebedrijven;
- Het bodemleven op biologische bedrijven tendeert naar een meer gelijkmatige, evenredige opbouw; dat wil zeggen: alle groepen vertegenwoordigd met relatief veel grotere organismen (wormen en mesofauna);
- In vergelijking met grasland is op bouwland een 'mager' voedselweb aanwezig met lagere aantallen van vrijwel alle trofische groepen; biologische akkerbouw onderscheidt zich doordat enkele groepen er wel relatief talrijk zijn.

2 Methode

2.1 Koppeling met de BoBl-dataset

2.1.1 Keuze van de locaties

Voor het LMB-BoBl project (bijlage 1) zijn in de periode 1997-2001 op 195 landbouwlocaties monsters genomen. Ter beantwoording van de onderzoeksvragen in de drie deelstudies zijn gegevens gebruikt van 93 van deze locaties, namelijk: veehouderijbedrijven op kleigrond in 1997 en zandgrond in 1999 en akkerbouwbedrijven op zandgrond in 2001 (tabel 1).

Tabel 1 Eigenschappen en aantal (n) van de locaties die gebruikt zijn voor de drie deelstudies ten aanzien van bedrijfssysteem (studie 1), grondgebruik (studie 2) en grondsoort (studie 3)

grondgebruik	bedrijfssysteem	bodem	n	jaar	studie 1	studie 2	studie 3
veehouderij	gangbaar	klei	20	1997			X
veehouderij	biologisch	zand	10	1999	X	X	
veehouderij	gangbaar extensief	zand	19	1999	X	X	X
veehouderij	gangbaar intensief	zand	20	1999	X		
akkerbouw	biologisch	zand	4	2001		X	
akkerbouw	gangbaar	zand	20	2001		X	

Deelstudie 1 is gericht op twee verschillende bedrijfssystemen van melkveehouderij op zandgrond, namelijk: gangbare bedrijfsvoering en biologische bedrijfsvoering. De gangbare bedrijven zijn onderverdeeld in twee subgroepen op basis van hun veebezetting: extensief en intensief. Van de tien biologische bedrijven zijn er vijf deelnemer in het BIOVEEM-project (Projectteam BIOVEEM, 2000).
Deelstudie 2 is gericht op verschillend grondgebruik op zandgrond. Omdat de gangbaar extensieve bedrijven relatief meer (vast) grasland bezitten dan de gangbaar intensieve bedrijven, is ervoor gekozen dat deze bedrijven het 'gangbaar grasland' representeren. In groep veehouderij zijn 10 biologische bedrijven opgenomen en in de groep akkerbouw 4 biologische bedrijven. Hierdoor worden indicaties verkregen over het effect van grondgebruik bij verschillende bedrijfssystemen.
Deelstudie 3 is gericht op grasland op verschillende grondsoorten. Van kleigrond waren metingen beschikbaar van gangbare veehouderijbedrijven in 1997. Grasland op kleigrond wordt in het algemeen minder vaak gescheurd dan grasland op zandgrond. Daarom zijn de gangbaar extensieve bedrijven op zandgrond in 1999 als vergelijkingsmateriaal gekozen.

2.1.2 Metingen aan het bodemvoedselweb

Op basis van het schema van het Bodembiologisch Indicatorsysteem (Schouten et al., 1997) zijn in het BoBl-project de volgende soortengroepen bemonsterd: micro-organismen (m.n. bacteriën), nematoden, potwormen, regenwormen en microarthropoden (d.w.z. mijten en springstaarten). Vanaf 1999 omvat het totale BoBl-databestand ruim 40 kenmerken van het bodemleven. In dit rapport zijn met oog op het opstellen van een topologisch voedselweb, 22 kenmerken uit het BoBl databestand geselecteerd (zie bijlage 2). Schouten *et al.* (2000, 2002) beschrijven in detail de wijze van bemonstering in het veld. Ten behoeve van begrip van de representativiteit van de opgestelde topologische voedselwebben, wordt de wijze van bemonstering en meten hier kort weergegeven.

In het LMB-BoBl is de monsterlocatie in principe het gehele grondoppervlak van het betreffende agrarisch bedrijf. Er is een mengmonster genomen dat het hele bedrijf representeert; het gaat dus om een 'bedrijfsmonster' in tegenstelling tot een -meer gebruikelijk- 'perceelsmonster'. Over het hele bedrijfsoppervlak zijn 320 'kernen' gestoken, waarbij er zoveel mogelijk een evenredige verdeling is over de verschillende percelen of teelten binnen dat bedrijf. Bijvoorbeeld: op een melkveebedrijf kunnen 'kernen' van één mengmonster afkomstig zijn van hoogproductief grasland, beheersgrasland of een bouwlandperceel met maïs. Voor de bemonstering van de potwormen, regenwormen en microarthropoden zijn uitsluitend zes verschillende graslandpercelen geselecteerd. De kwantitatieve metingen verschillen per soortengroep (tabel 2).

Tabel 2 Overzicht van verschillende kwantitatieve maten van de soortengroepen geselecteerd uit de BoBl-dataset

Soortengroep	*Kwantitatieve maat*
Bacteriën (Bacteria)	µg C/g (gewicht Koolstof per gewicht grond)
Nematoden (Nematoda)	n/100 g (aantal per gewicht grond)
Potwormen (Enchytraeidae)	gram/m^2 (gewicht per oppervlak grond)
Regenwormen (Lumbricidae)	gram/m^2 (gewicht per oppervlak grond)
Microarthropoden (Acari en Collembola)	n/m^2 (aantal per oppervlak grond)

De reden voor de verschillende eenheden zijn de uiteenlopende bemonsteringsmethoden van de soortengroepen.
- Bacteriën: verzamelen van een mengmonster van 80 (in 1997) of 320 (in 1999 en 2001) bodemkernen met behulp van een graszodeboor. De boor bestaat uit een steekbusje van 10 cm lang en een doorsnede van 2,3 cm. De kernen zijn in een bak gehomogeniseerd en leverden een mengmonster van ca. 15 tot 20 kg. De biomassameting van de bacteriën, met een geavanceerde techniek, gebeurde aan een submonster van 700 a 750 ml. De meting is ten slotte omgerekend naar µg C (Koolstof) per gram droge grond;
- Nematoden: uit het mengmonster van ca. 15 tot 20 kg waaruit ook het submonster voor bacteriën kwam, is een submonster genomen van 700 of 1000 ml grond. Hiervan is 100 ml in suspensie gebracht en vervolgens gezeefd en gefilterd. Het aantal geëxtraheerde nematoden is geschat door twee keer 10% te tellen. Ook zijn ca. 150 diertjes geïdentificeerd. Op basis van deze beide gegevens is het aantal per trofische groep (7 categorieën, zie bijlage 2) per 100 gram verse grond vastgesteld;
- Potwormen: verspreid over het bedrijf zijn in graslandpercelen 6 steekmonsters genomen (diameter 6 cm, hoogte 15 cm). In alle steekmonsters zijn de potwormen geteld en opgemeten. Op basis van de lengte is het versgewicht berekend. Hiermee is het aantal gram versgewicht per m^2 bepaald;
- Regenwormen: verspreid over het bedrijf zijn in graslandpercelen 6 plaggen verzameld (oppervlak 20x20 cm, hoogte 15 cm). De wormen zijn uitgesorteerd en geteld waarna van de totale vangst het versgewicht is bepaald. Deze meting is uitgedrukt in gram versgewicht per m^2;
- Microarthropoden d.w.z. mijten en springstaarten: verspreid over het bedrijf zijn in graslandpercelen 5 steekmonsters genomen (diameter 5 cm, hoogte 5 cm). De organismen zijn in een Tullgrenapparaat uit de monsters geëxtraheerd en tot op soortniveau gedetermineerd. Vervolgens is het aantal per trofische groep (12 categorieën, zie bijlage 2) per m^2 bepaald. Mijten en springstaarten zijn alleen vanaf 1999 bemonsterd; de metingen van 2001 waren nog niet aanwezig in de hier gebruikte dataset.

Ten behoeve van een kwalitatieve voedselwebanalyse zijn de door het BoBl-project onderscheiden categorieën van de nematoden en de microarthropoden verder samengevoegd (zie bijlage 2). De bedoeling hiermee was om het topologische web eenvoudig te houden en om de mate van uitsplitsing van de verschillende soortengroepen vergelijkbaar te maken. Daartoe zijn de 7 categorieën nematoden ondergebracht in 4 trofische groepen en zijn de 11 categorieën microarthropoden ondergebracht in eveneens 4 trofische groepen. De bacteriën, potwormen en regenwormen gelden als afzonderlijke trofische groepen. Aldus waren voor het opstellen van het topologische voedselweb van deelstudie 1 in totaal 11 trofische groepen beschikbaar. Voor de deelstudies 2 en 3 waren 7 trofische groepen beschikbaar, omdat metingen aan microarthropoden ontbraken.

2.1.3 Metingen aan de omgevingsfactoren

In het BoBl-databestand zijn per locatie ongeveer 15 kenmerken beschreven; hiervan zijn voor dit rapport 11 kenmerken gebruikt. Deze behoren uit methodisch oogpunt tot vier categorieën:
- Factoren: drie van de 11 kenmerken betreffen 'factoren' die ten grondslag lagen aan het proefschema, namelijk: het bodemgebruik (c.q. bedrijfstype), de grondsoort en het bedrijfssysteem;
- Bedrijfsparameters die verzameld zijn door middel van vragenlijsten aan de bedrijfsvoerder, met name: de veedichtheid (GVE/hectare) en het percentage gras. Bij berekening van de veedichtheid kon geen rekening gehouden worden met de mate van grondgebondenheid van de productie; dit kan betekenen dat een bedrijf met een klein areaal extensief gebruikt grasland in combinatie met een groot aantal hokdieren, een hoge GVE/ha heeft;

- Bodemparameters die gemeten zijn aan het eerdergenoemde mengmonster (op bedrijfsniveau), namelijk: de zuurgraad (pH); het organische stofgehalte en de fosfaat-toestand (PAL). Ook het percentage lutum is gemeten als precisering van de *a priori* geselecteerde grondsoort van de locatie;
- Contextuele informatie over de locatie: de naam van de eigenaar, de plaats (geografische positie) en het weeknummer van het bemonsteringstijdstip.

2.2 Beschrijving en classificatie van het topologisch voedselweb

De bewerking van de BoBl-data ten behoeve van een voedselwebanalyse omvat twee onderdelen. Ten eerste het vervaardigen van een visuele representatie van het topologisch voedselweb en een kwalitatieve beoordeling van haar structuur (§ 2.2.2). Ten tweede een numerieke verwerking van de gegevens om de topologische voedselwebstructuren te ordenen en te classificeren (§ 2.2.3). Beide onderdelen zijn voorafgegaan door een standaardisatie van de data (§ 2.2.1).

2.2.1 Standaardisatie

De kwantitatieve eenheden van de trofische groepen zijn verschillend (tabel 2). In dit geval bevelen Jongman *et al.* (1987) aan om een standaardisatie toe te passen naar de *species maximum* van de selectie van dataset. Dat betekent dat per onderzoeksvraag en bijbehorende combinatie van gegevens, telkens opnieuw een standaardisatie uitgevoerd moet worden.

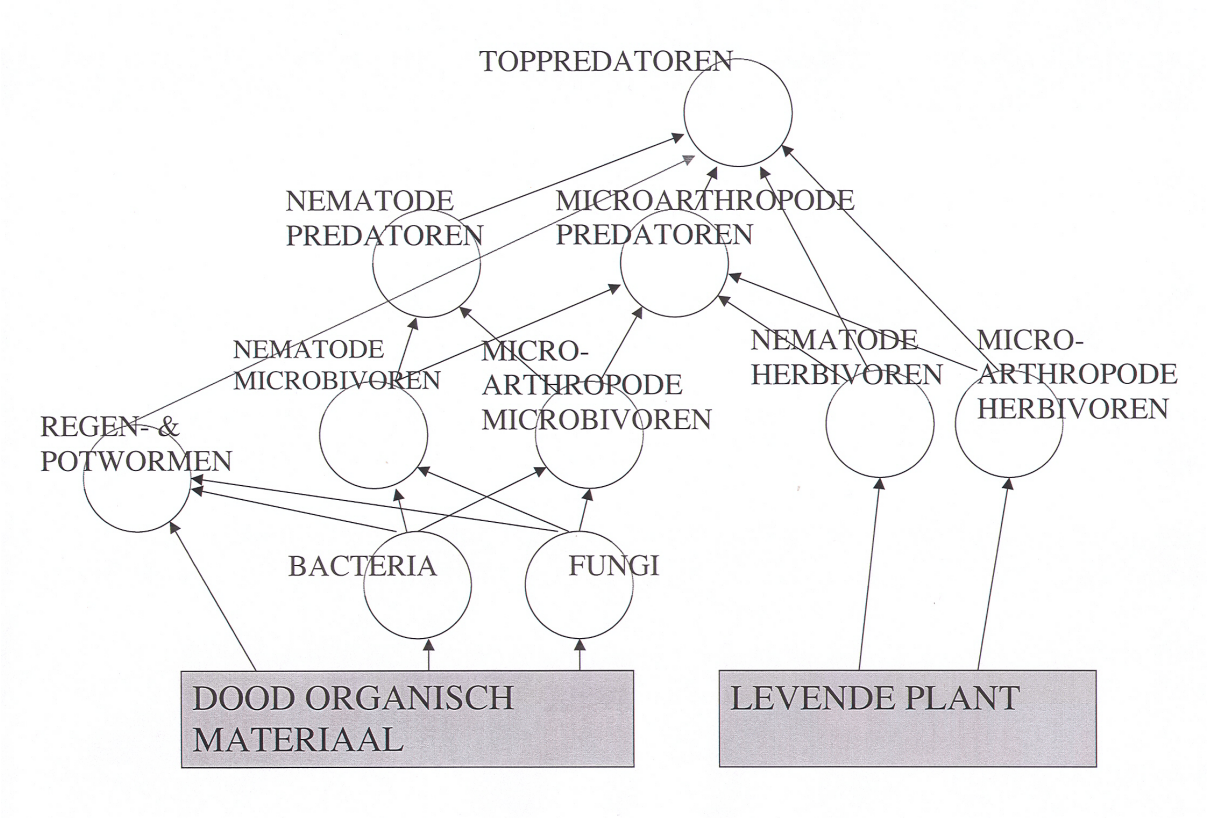
Deze vorm van standaardisatie heeft tot gevolg dat species die in kleine hoeveelheid voorkomen, gelijk gewogen worden met de soorten die in grote hoeveelheid voorkomen. Zonder deze bewerking zou het laagste trofische niveau van het voedselweb, die gewoonlijk veruit de grootste biomassa of aantallen heeft, kwantitatief domineren over de hogere trofische niveaus. Ook om deze reden kan bij studies aan leefgemeenschappen ('*communities*') standaardisatie naar *species maximum* wenselijk zijn.

Voor de drie deelstudies zijn drie afzonderlijke matrices opgesteld:
- deelstudie 1 met 11 trofische groepen en 49 locaties;
- deelstudie 2 met 7 trofische groepen en 53 locaties;
- deelstudie 3 met 7 trofische groepen en 39 locaties.

2.2.2 Topologisch voedselwebdiagram

Om de voedselwebstructuur visueel te beoordelen zijn de verschillende trofische groepen in een voedselwebverband afgebeeld. Hiervoor is een eenvoudig rekenprogramma gemaakt in *Microsoft Excel*. De gestandaardiseerde hoeveelheid van de trofische groepen wordt door dit programma afgebeeld als een cirkel waarvan de afmeting correspondeert met de hoeveelheid; de cirkel heeft maximale grootte bij waarde 1. De positie van de cirkels in een voedselwebstructuur is vergelijkbaar met terrestrische voedselwebben uit de literatuur (bijv.: De Ruiter *et al.,* 1993; Brussaard, 1998; Smeding & De Snoo, 2003). De ordeningsprincipes zijn (fig. 2):

Figuur 2 Visuele ordening van trofische groepen van bodemorganismen in een voedselwebstructuur in navolging van voorbeelden uit de literatuur. Het voorbeeld wijkt af van de op de analyses toegespitste figuren 3 tot en met 5: ook aangegeven zijn hier de grondstoffen en de schimmels. Met toppredatoren worden ook spinnen en kevers bedoeld.



- De primaire consumenten staan beneden en predatoren staan boven;
- Binnen de reducenten (c.q. detritivoren) staan links en de planteneters (herbivoren) staan rechts;
- Binnen de reducenten is een globale onderverdeling tussen bacterie-gebaseerde ketens (links) en fungi-gebaseerde ketens (rechts);
- In de voedselketens worden globaal trofische niveaus onderscheiden; eerst het niveau van de primaire consumenten (micro-organismen en planteneters); vervolgens het niveau van de secondaire consumenten waaronder soorten die 'grazen' op de bacteriën en schimmels; daarboven bevinden zich nog twee trofische niveaus van de micropredatoren en de (relatieve) toppredatoren. De wormengroepen zijn op niveau 1,5 geplaatst omdat zij zowel direct detritus als indirect micro-organismen die leven op detritus, consumeren;
- Vereenvoudiging: interactielijnen en grondstoffen ('*resources*' d.w.z. plantaardige productie en detritus) worden niet weergegeven; in een topologisch voedselwebmodel worden geen uitspraken gedaan over de omvang of de sterkte van de interacties tussen trofische groepen (Polis & Winemiller, 1996) en ook niet over de omvang van de *resources.*

In deze studie zijn met behulp van het Excel-rekenprogramma, voedselwebdiagrammen gegenereerd voor de gemiddelden van een groep locaties c.q. cluster (zie volgende paragraaf 2.2.3). De diagrammen zijn gebruikt als illustratie bij de berekende classificatie of typologie. De betekenis van een voedselwebdiagram is dat haar ordening extra informatie bevat ten opzichte van een histogram met 7 of 11 gelijkwaardig gerangschikte trofische groepen. Deze extra informatie dient voor het formuleren van hypotheses over de oorzaken en consequenties van de verschillen in voedselwebstructuur.

Een voedselwebdiagram kan ook worden gegenereerd voor een afzonderlijke locatie. In de voorstudie in 2002 is door visuele vergelijking van 10 diagrammen van individuele bedrijven (biologische veebedrijven op zand in 1999) een classificatie gemaakt (Rutgers *et al.*, 2002; Eekeren *et al.*, 2003). Deze visuele bewerking stond toen los van een numerieke bewerking. Bij grote aantallen diagrammen is een visuele ordening moeilijk uitvoerbaar; daarom is in de studie in 2004 de visuele vergelijking van de voedselwebdiagrammen alleen maar gebruikt als aanvulling op de numerieke bewerking.

Bij het handmatige ontwerp van de voedselwebdiagrammen in de voorstudie is een arbitrair gekozen weging toegepast, namelijk factor 4 voor bacteriën en wormen, factor 2 voor nematoden en factor 1 voor microarthropoden. De bedoeling was om hiermee een indruk te geven van de absolute verschillen tussen basis- en topgroepen. Ter verificatie van de visuele classificatie in 2002 van deze 10 locaties is in 2004 met dezelfde gegevens een numerieke (TWINSPAN) classificatie toegepast, inclusief de eerder toegepaste weging. De resultaten vallen binnen deelstudie 1 aangaande locaties op zand in 1999 met als onderzoeksvraag: 'in hoeverre zijn er verbanden aan te wijzen met het management op de verschillende melkveehouderijbedrijven?'.

2.2.3 Clusteranalyse en opstellen van een typologie

Een clusteranalyse classificeert locaties, soorten of variabelen (Jongman *et al.*, 1987). Classificatie is behulpzaam bij het bepalen van *community types* voor beschrijvend onderzoek. Methoden van clustering kunnen discontinuïteit in een dataset eenvoudig opsporen, echter geleidelijke overgangen worden erdoor verhuld.

Door middel van het programma TWINSPAN (Hill, 1979) is een classificatie opgesteld van de locaties (*sites*). Het programma resulteert in een *species-by-sites table.* Deze tabel toont een herhaalde dichotomie waarbij *sites* met overeenkomstige soortsamenstelling bij elkaar geplaatst staan.

Bij het draaien van TWINSPAN zijn steeds de *default options* toegepast, behalve voor de *cut levels* die als volgt zijn gekozen: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9. Dat betekent dat de continue-reeks van 0 tot 1, wordt herleidt tot 10 hoeveelheidsklassen; dit is een relatief grote differentiatie bij deze clusteranalyse.

In deze studie zijn op basis van de uitkomst van TWINSPAN clusters aangewezen. Deze clusters zijn ten behoeve van de tekstuele toelichting van een nummer voorzien. De clusters zijn beschreven als een type waarbij gelet is op differentiërende en coëxisterende soorten. Op basis van de gemiddelde gestandaardiseerde waarden van alle locaties in hetzelfde cluster is van ieder onderscheiden cluster een topologisch voedselwebdiagram gemaakt (voor methode: zie vorige paragraaf).

2.2.4 Leggen van relaties met omgevingsfactoren

De metingen aan omgevingsfactoren (zie § 2.1.3) zijn gebruikt in een eenvoudige beschrijvende statistiek. Van de continue-variabelen (bedrijfs- en bodemparameters) zijn gemiddelde waarden per cluster berekend. Van de ordinale en nominale waarden (van de factoren en de context) zijn de frequenties bepaald.

Verschillen in gemiddelde waarde van omgevingsfactoren zijn opgevat als indicaties (hypothesen) voor mogelijke oorzaken.

Bij de interpretatie is gelet op relaties tussen enerzijds de wijziging in de structuur van het topologisch voedselweb en anderzijds de verschillen in omgevingskenmerken. Op basis hiervan zijn hypothesen geformuleerd over de ontwikkeling van de voedselwebstructuur (m.a.w. de dynamiek of 'successie') in relatie met het management of omgevingsfactoren. Deze hypothesen zijn stof voor de discussie (Hoofdstuk 4).

3 Resultaten

3.1 Voedselwebstructuren in relatie tot het bedrijfssysteem

3.1.1 Gangbare en biologische melkveehouderij op zand

Op melkveehouderijbedrijven op zand in 1999 waren vijf typen voedselwebstructuren te onderscheiden (figuur 3; bijlage 3), namelijk structuren met:
- veel potwormen en middelmatige hoeveelheden bacterie-etende en schimmeletende nematoden, regenwormen en plantenetende nematoden (type 1);
- veel bacteriën, bacterie- en schimmeletende en predatore nematoden en middelmatige hoeveelheden regenwormen en plantenetende nematoden (type 2);
- veel regenwormen en bacterie-etende, schimmeletende en predatore nematoden (type 3);
- weinig van vrijwel alle trofische groepen (type 4);
- veel mijten/springstaarten in combinatie met geringe dichtheden van andere trofische groepen (type 5).

Naast de vijf duidelijke typen zijn nog twee, op enkele bedrijven gebaseerde, afwijkende typen voedselwebben gevonden (bijlage 4). Deze kenmerkten zich door veel mijten/springstaarten, met name toppredatoren (type 6) of juist veel planteneters (zowel mijten/springstaarten als nematoden) (type 7).

Voedselwebben van de tien bemonsterde biologische bedrijven zijn goed te onderscheiden; zij behoren vrijwel allemaal tot de typen 1 en 2 (zie tabel 3).

Tabel 3 Omgevingsfactoren en trofische groepen van 49 melkveehouderijbedrijven op zand in 1999. Typen voedselwebstructuur (1 t.m. 7) onderscheiden als cluster door TWINSPAN; gemiddelde waarden in de cluster. Locaties; n=aantal bedrijven in de TWINSPAN-cluster: bio=biologisch, ext= extensief gangbaar, ga = intensief gangbaar; Trofische groepen: Bact=Bacteriën (µg C/g), Nem = Nematoden (n/g grond), Worm = regenwormen (g/m^2), Potw= potwormen (g/m^2), Mijt = mijten/springstaarten (n/10 cm^2); verklaring nadere trofische indeling (bf, hf, pf, mp, top) zie bijlage 2; gemiddelde gestandaardiseerde waarden (x10)

	Lokaties			Factoren				Gemiddelde absolute waarden										Gemidd. gestand. waarden									
TYPE	n biol	n ext	n ga	%grass	GVE/ha	OS %	PAL	Bact	Nem bf	Nem hf	Nem pf	Nem mp	Worm	Potw	Mijt bhf	Mijt pf	Mijt mp	Mijt top	Bact	Nem bf	Nem hf	Nem pf	Nem mp	Worm	Potw	Mijt bhf	Mijt pf	Mijt mp	Mijt top
1	4	1	0	92	2,2	7,7	48	146	23	1	22	3	40	8	11	8	8	0	3	3	3	4	2	3	6	1	3	2	1
2	5	4	0	80	1,8	9,2	48	240	33	2	22	5	41	3	12	7	7	0	6	5	5	4	5	3	2	1	2	2	1
3	0	4	3	80	2,8	5,8	53	151	41	1	16	5	102	3	13	4	9	0	4	6	4	3	4	7	2	2	1	2	0
4	0	6	11	68	2,9	6,7	50	142	28	0	10	3	28	2	18	6	11	0	3	4	1	2	3	2	1	2	2	3	0
5	0	1	5	80	3,3	5,9	59	147	31	1	13	2	28	2	51	11	30	1	4	5	1	2	2	2	2	6	4	7	2
6	0	2	1	56	2,0	7,4	44	145	32	2	16	3	20	2	57	2	4	3	3	5	5	3	3	1	2	7	1	1	6
7	1	1	0	72	2,9	7,1	54	46	35	3	36	3	11	2	15	24	11	0	1	5	7	6	3	1	1	2	8	3	0

De typen 4 en 5 bestaan grotendeels uit gangbaar intensieve bedrijven. Driekwart van de gangbaar extensieve bedrijven is ingedeeld bij de typen 2, 3 en 4. De ordening van de gegevens op basis van verschillen in trofische groepen toont aldus een overgang van enerzijds het sterk biologische type 2 naar anderzijds de sterk intensieve typen 4 en 5. Daartussen bevinden zich mengvormen: 'biologisch-extensief' (type 1) en 'extensief-gangbaar' (type 3).

Verbanden tussen de clustering en het landbouwkundig management betreffen (tabel 3):
- Een relatief lage gemiddelde veebezetting in typen 1 en 2 en een hoge gemiddelde veebezetting in typen 4 en 5
- Een laag gemiddelde fosfaatgetal (PAL) in typen 1 en 2 versus een hoog in type 5

- Een hoog organische stof percentage in vooral type 2; in de typen 3, 4 en 5 is het gemiddelde percentage relatief laag
- Een hoog percentage grasland in type 1 en een laag percentage in type 4.

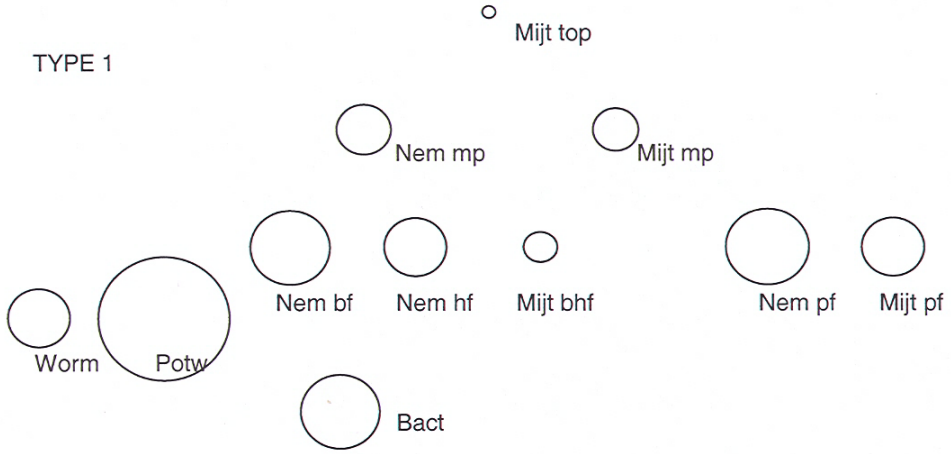
Door de kenmerken van voedselwebstructuur met kenmerken van het management van de vijf typen in verband te brengen, ontstaat in grote lijnen een verloop in 'intensiteit':

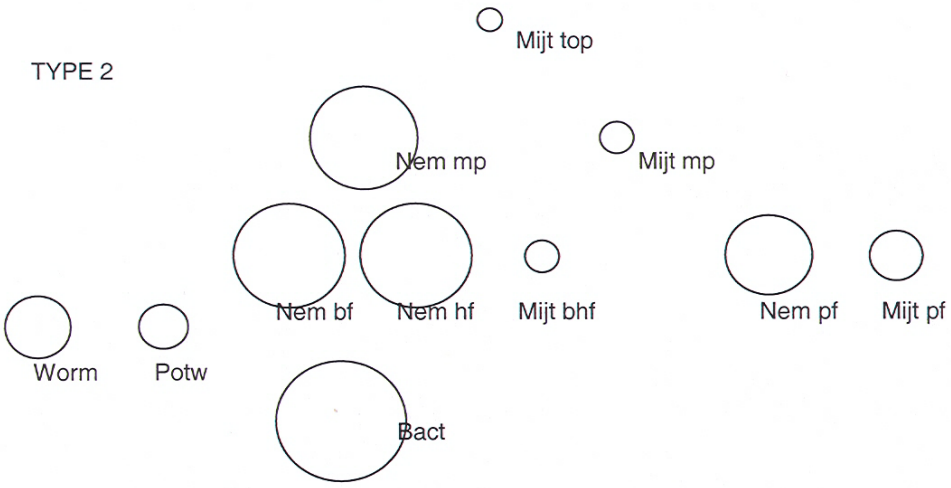
a. type 2: biologische en extensieve bedrijven met een lage veedichtheid en een hoog organische stofgehalte met een voedselweb van veel bacteriën en nematoden en redelijk veel wormen: 'bacterie-type'
b. type 1: iets intensievere biologische bedrijven met wat hogere veebezetting met voedselwebben waarin abundantie van potworm karakteristiek is en redelijk veel wormen voorkomen: 'potworm-type'
c. type 3: vrij intensieve maar naar gangbare begrippen, extensieve bedrijven met een hoog percentage vast grasland: 'regenworm-type'
d. type 4: intensieve gangbare bedrijven met veel bouwland in de rotatie, laag organische stofgehalte en vrij hoge veedichtheid waarin het voedselweb kwantitatief verminderd is: 'romp-type'[1]
e. type 5: intensieve gangbare bedrijven met een hoge veedichtheid en fosfaatgetal, dat gepaard gaat met een kwantitatief verminderd voedselweb met veel mijten en springstaarten: 'mijten-type'.

Het afwijkende type 6 (bijlage 4) sluit aan op de tendens in type 5; de betrokken bedrijven waren intensief met relatief veel bouwland en lagere veedichtheid. Het afwijkende type 7 kwam voor bij een hoge veedichtheid en fosfaattoestand in een extensieve context; de voedselwebstructuur indiceert vanwege de hoge aantallen planteneters, een plaagontwikkeling.

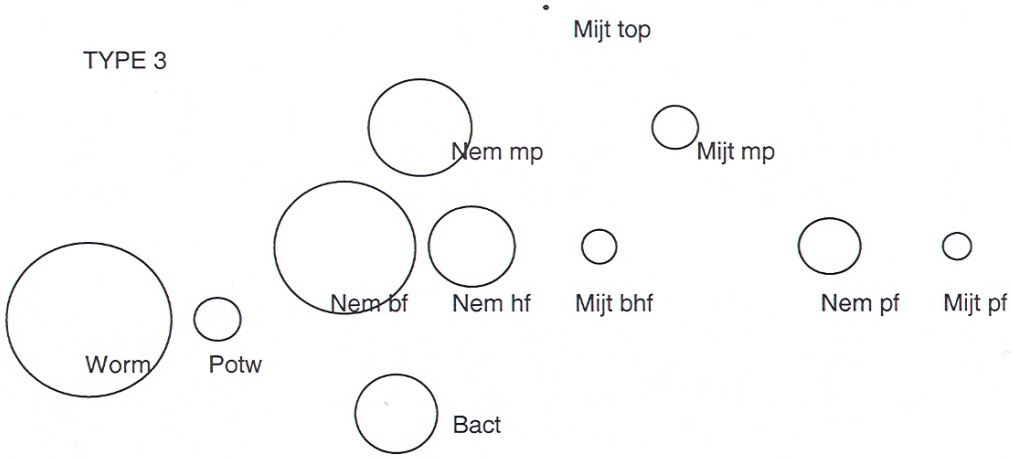
[1] Term die is ontleend aan de vegetatiekunde waar plantengemeenschappen die opgebouwd zijn uit alleen maar algemene, constante soorten, worden aangeduid met 'rompgemeenschap' (Schaminée *et al.*, 1995).

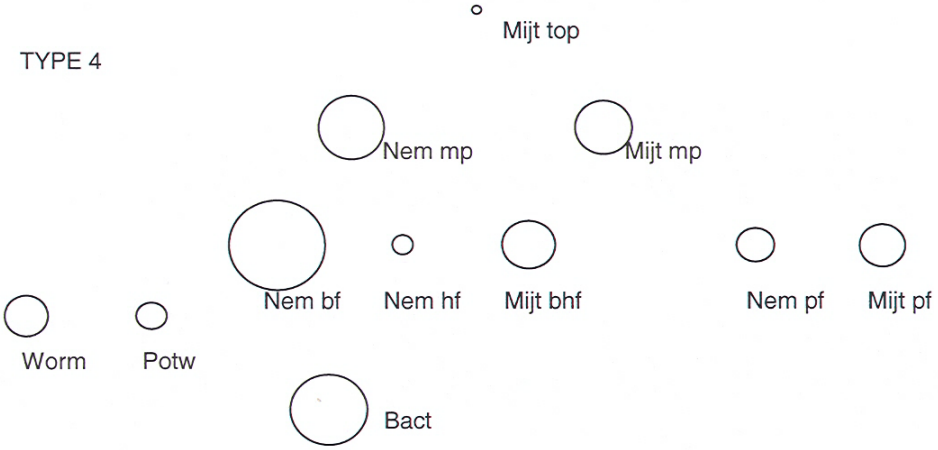
Figuur 3a t.m c Voedselwebstructuren van melkveehouderijbedrijven op zand in 1999. De grootte van de cirkel correspondeert met de gemiddelde gestandaardiseerde waarde van de betreffende trofische groep (zie tabel 3)



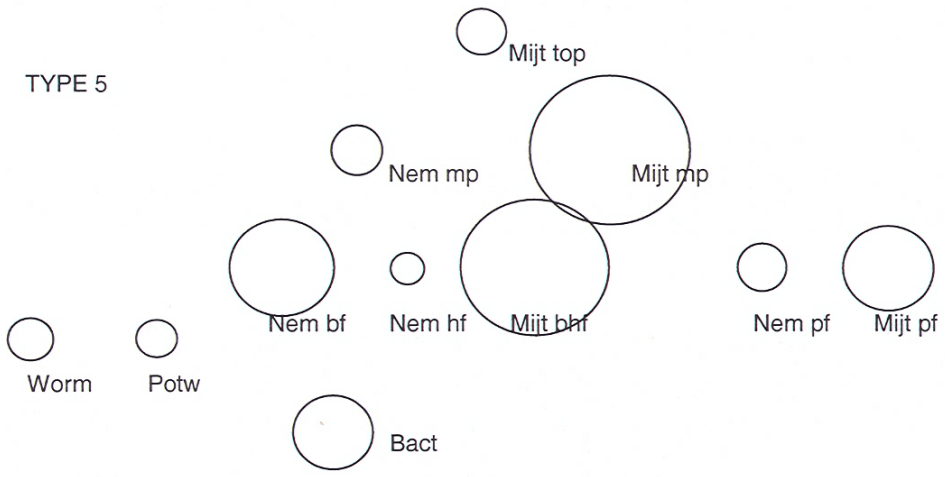


Figuur 3 (b) Voedselwebstructuren van melkveehouderijbedrijven op zand in 1999. De grootte van de cirkel correspondeert met de gemiddelde gestandaardiseerde waarde van de betreffende trofische groep (zie tabel 3)





Figuur 3 © Voedselwebstructuren van melkveehouderijbedrijven op zand in 1999. De grootte van de cirkel correspondeert met de gemiddelde gestandaardiseerde waarde van de betreffende trofische groep (zie tabel 3)



3.1.2 Verschillen tussen biologische melkveebedrijven

De voedselwebstructuren van 10 biologische melkveebedrijven (tabel 4) op zand in 1999 kunnen onderverdeeld worden in vier typen (bijlage 5) met als karakteristiek:

- Veel bacteriën en predatore nematoden en predatore mijten/springstaarten op de bedrijven van Oosterhof en A. Boer die extensief van aard waren en waar het meeste grasland vast is mede vanwege een keileemlaag in de ondergrond;
- Veel bacterie- en schimmeletende nematoden op de bedrijven van Bisschop, Lankhorst en Martens die zich als groep kenmerkten door een matig intensieve biologische bedrijfsvoering qua rotatie en bemesting;
- Veel potwormen op de bedrijven van Van de Breemer, W. de Boer en Van Roessel die zich als groep kenmerkten door een meer intensieve biologische bedrijfsvoering;
- Veel mijten/springstaarten en weinig bacteriën en regenwormen op de bedrijven van Lieben en Van Liere die zich kenmerkten door een meer intensieve biologische bedrijfsvoering en een qua stijl relatief veranderlijk management.

De classificatie die in een eerder stadium door visuele vergelijking werd gemaakt (Rutgers *et al.* 2002; zie bijlage 6) stemt goed overeen met de numerieke ordening met behulp van TWINSPAN. Uitersten in voedselwebstructuur werden toen ook visueel herkend: enerzijds de voedselwebben bij Oosterhof en A. Boer met een kwantitatief verzadigde structuur en anderzijds voedselwebben bij Lieben en Van Liere met kleine basisgroepen en grote hoeveelheden plantenetende nematoden respectievelijk mijten/springstaarten.

Tabel 4 Omgevingsfactoren en trofische groepen op 10 biologische melkveehouderijbedrijven op zand in 1999. Hoeveelheden van de trofische groepen: Bact=Bacteriën (µg C/g), Nem = Nematoden (n/g grond), Worm = regenwormen (g/m2), Potw= potwormen (g/m^2), Mijt = mijten/springstaarten (n/10 cm2); verklaring nadere trofische indeling (bf, hf, mp, top) zie bijlage 2

lokatienr.	lokatie	provincie	%gras	GVE/ha	OS %	PAL	Bact	Nem bf	Nem hf	Nem pf	Nem mp	Worm	Potw	Mijt bhf	Mijt pf	Mijt mp	Mijt top
241	Lieben	Dr	62	1,0	7,0	42	49	32	4	60	5	13	3	28	28	17	0
242	vanLiere	NB	69	1,9	5,3	43	58	25	1	19	2	41	3	17	8	10	0
209	Roessel	NB	100	2,7	4,8	64	136	32	0	15	1	43	11	10	6	5	0
238	WdeBoer	Dr			10,7	38	117	15	1	40	3	41	8	7	9	8	0
239	Bremer	Ut	100	1,6	8,0	64	171	20	2	23	4	33	14	9	9	7	1
243	Martens	NB	91	2,0	4,6	62	82	39	3	22	4	29	3	7	9	3	0
240	Lankhorst	Gld	60	1,5	5,9	50	211	46	4	18	4	55	3	8	7	7	0
237	Bisschop	Ov	79	1,2	9,0	47	115	18	2	26	5	35	2	4	9	8	0
214	Oosterhof	Fr	100	1,6	11,0	39	386	16	2	36	7	77	5	2	6	10	0
199	ABoer	Dr	100	1,3	11,9	26	418	17	1	28	6	49	3	22	2	11	1

3.2 Voedselwebstructuren in relatie tot het bedrijfstype

Op de melkvee- en akkerbouwbedrijven op zand in 1999 en 2001 waren zes typen voedselwebstructuren te onderscheiden (figuur 4; bijlage 7), namelijk structuren met:

- Veel van alle trofische groepen, waarbij met name bacteriën, regenwormen, bacterie- en, plantetende en predatore nematoden opvallend zijn (type 1);
- Veel van alle trofische groepen, waarbij met name potwormen en schimmel- en plantetende nematoden opvallend zijn (type 2);
- Middelmatige hoeveelheden bacteriën en regenwormen (type 3);
- Middelmatig tot weinig van alle trofische groepen, m.n. weinig bacteriën (type 4);
- Weinig van alle trofische groepen: kwantitatief verarmd voedselweb (type 5);
- Veel bacterie- en schimmeletende nematoden, middelmatige hoeveelheden bacteriën en weinig wormen en predatore nematoden (type 6).

Voedselwebben van de melkvee- en akkerbouwbedrijven zijn goed te onderscheiden: de melkveebedrijven behoren vrijwel allemaal tot de typen 1 en 2 (tabel 5, bijlage 7). De typen 5 en 6 bestaan vrijwel geheel uit akkerbouwbedrijven. De typen 3 en 4 zijn een mengsel van veehouderij en akkerbouw. Biologische melkveebedrijven zijn verdeeld over de graslandtypen 1 en 2; de biologisch-extensieve bedrijven Oosterhof, A. Boer en ook Lankhorst zijn ingedeeld in het graslandtype 1. Drie van de vier biologische akkerbouwbedrijven zijn ingedeeld in beide intermediaire typen 3 en 4.

Verbanden tussen de clustering en landbouwkundig management betreffen (tabel 5):

- Een relatief hoog gemiddeld organische stofgehalte (> 8%) in de graslandtypen 1 en 2 versus een lager gemiddeld organische stofgehalte (<7%) in de overige typen met type 5 als laagste;
- Een relatief laag gemiddeld fosfaatgetal in de graslandtypen 1 en 2 versus een hoog gemiddeld organische stofgehalte in de overige clusters;
- Type 6 (akkerbouw) wijkt af van de andere akkerbouwtypen door zowel hoge organische stofgehalten als een laag gemiddeld fosfaatgetal; de bedrijven liggen in de veenkoloniën met dalgronden.

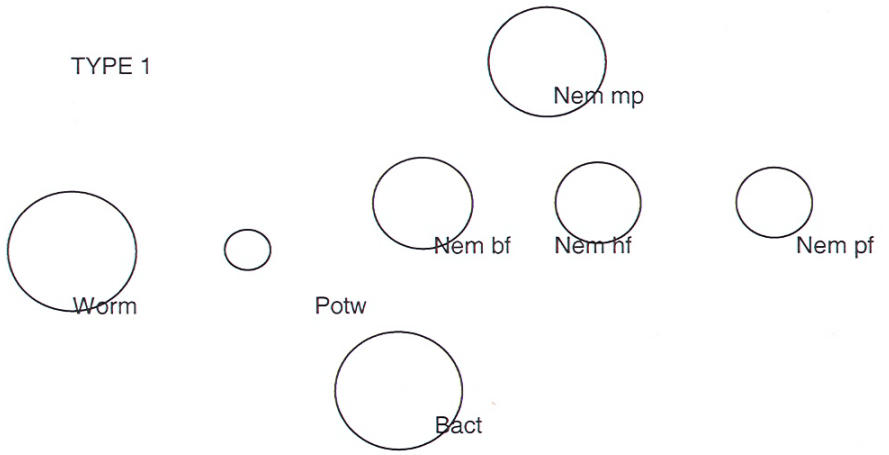
Tabel 5 Omgevingsfactoren en trofische groepen van 53 melkvee- en akkerbouwbedrijven op zand in 1999 en 2001. Typen voedselwebstructuur (1 t.m. 6) onderscheiden als cluster door TWINSPAN; gemiddelde waarden in de cluster. Locatie; n=aantal bedrijven in de TWINSPAN-cluster: bio=biologisch, ga = gangbaar, gras=melkvee, akker=akkerbouw; Trofische groepen: Bact=Bacteriën (µg C/g), Nem = Nematoden (n/g grond), Worm = regenwormen (g/m2), Mijt = mijten/springstaarten (n/10 cm2); verklaring nadere trofische indeling (bf, hf, mp, top) zie bijlage 2; gemiddelde gestandaardiseerde waarden (x10)

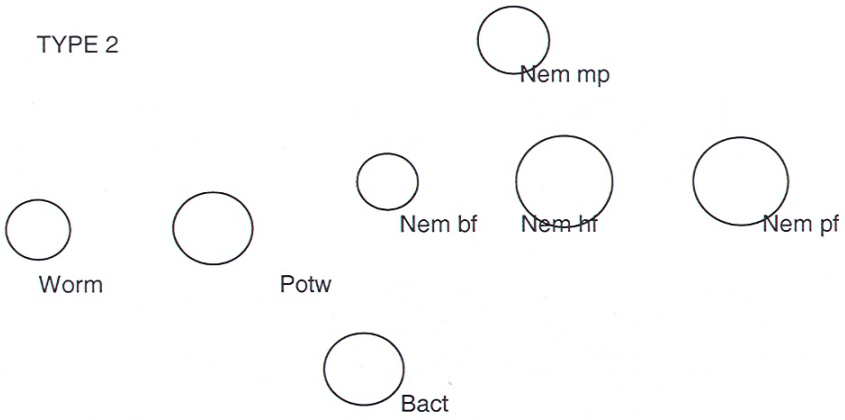
	Lokaties				Factoren				Gemiddelde absolute waarden							Gemidd. gestand. waarden						
TYPE	n ga gras	n bio gras	n ga akker	n bio akker	% gras	GVE/ha	OS %	PAL	Bact	Nem bf	Nem hf	Nem pf	Nem mp	Worm	Potw	Bact	Nem bf	Nem hf	Nem pf	Nem mp	Worm	Potw
1	8	3			78	2,2	8,2	49	236	42	2	20	5	61	3	6	4	4	3	5	6	2
2	5	7			81	2,0	8,3	46	144	26	2	25	3	30	5	3	3	4	4	3	3	3
3	2		3	1	25	0,7	7,7	53	137	21	1	7	1	32	1	3	2	2	1	1	3	1
4	4		3	2	33	1,2	7,8	57	61	23	1	10	2	8	1	1	2	3	2	2	1	1
5			9	1	0	0	7,2	55	64	25	1	5	1	3	1	2	3	2	1	1	0	0
6			5		0	0	14,9	41	138	67	2	6	1	1	1	3	7	5	1	1	0	1

Door de kenmerken van voedselwebstructuur met kenmerken van het management van de zes typen in verband te brengen, ontstaat het volgende globale beeld:

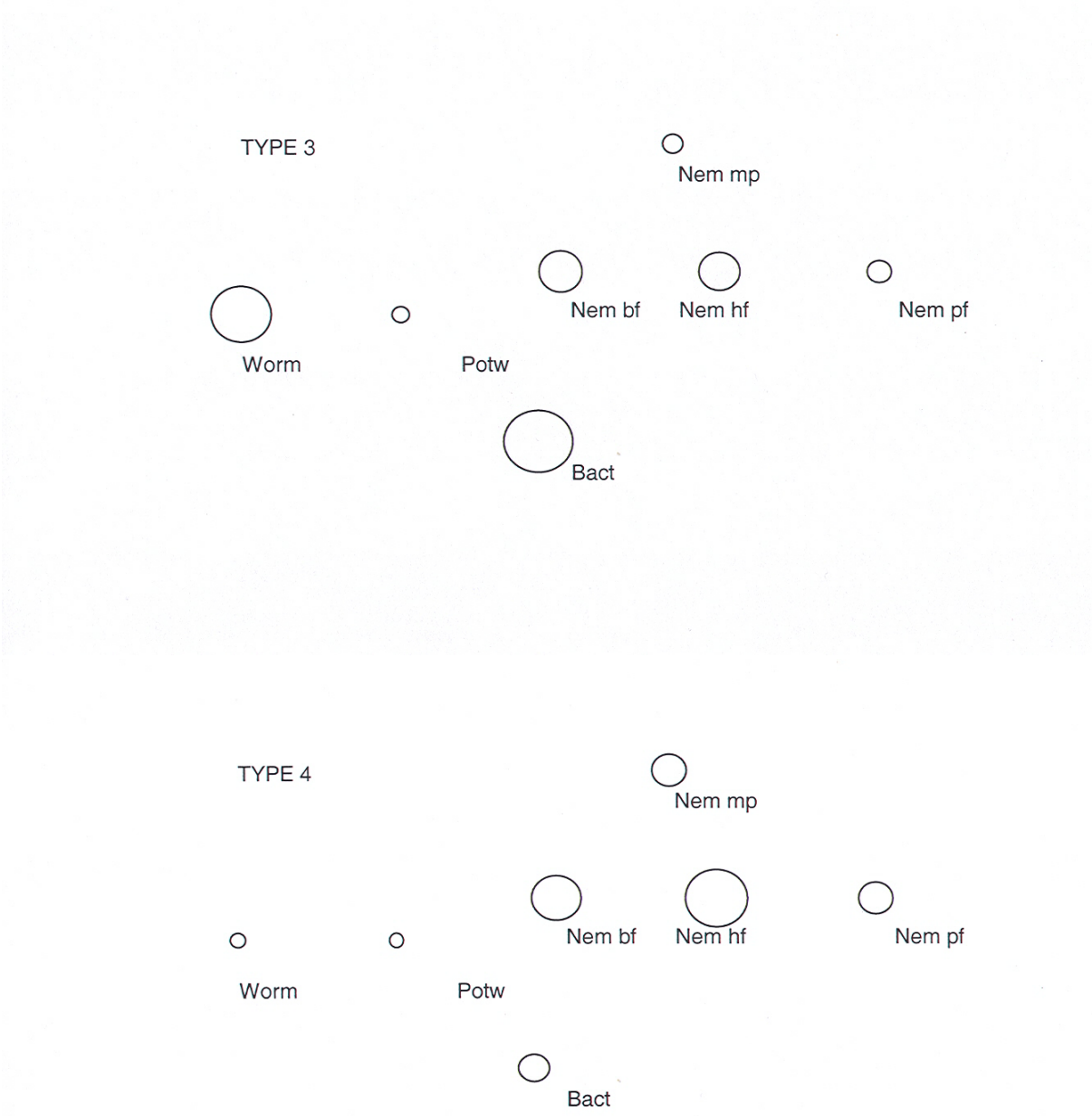
a. type 1: melkveebedrijven met een voedselweb met veel bacteriën, regenwormen en predatore nematoden; deze bedrijven zijn relatief extensief;
b. type 2: melkveebedrijven met een voedselweb met veel potwormen en schimmeletende nematoden; deze bedrijven zijn relatief intensief;
c. type 3: bedrijven met bouwland in een akkerbouw- of veehouderijcontext, waar in de bouwvoor middelmatige hoeveelheden bacteriën en regenwormen voorkomen; bouwlandteelt is extensief;
d. type 4: bedrijven met bouwland in akkerbouw- of veehouderijcontext, waar in de bouwvoor, vergeleken met grasland weinig bodemleven voorkomt; bouwlandteelt is biologisch of matig intensief qua rotatie en mogelijk ook inzet van bestrijdingsmiddelen e.d.;
e. type 5: akkerbouwbedrijven waar in de bouwvoor, vergeleken met melkveebedrijven, zeer weinig bodemleven voorkomt; bouwlandteelt is intensief qua rotatie of mogelijk ook inzet bestrijdingsmiddelen e.d.;
f. type 6: akkerbouwbedrijven met intensieve teeltwijze waar in de bouwvoor alleen de bacterie- en schimmeletende nematoden relatief talrijk zijn.

Figuur 4 a t.m. c Voedselwebstructuren van melkvee- en akkerbouwbedrijven op zand in 1999 en 2001. De grootte van de cirkel correspondeert met de gemiddelde gestandaardiseerde waarde van de betreffende trofische groep (zie tabel 5)

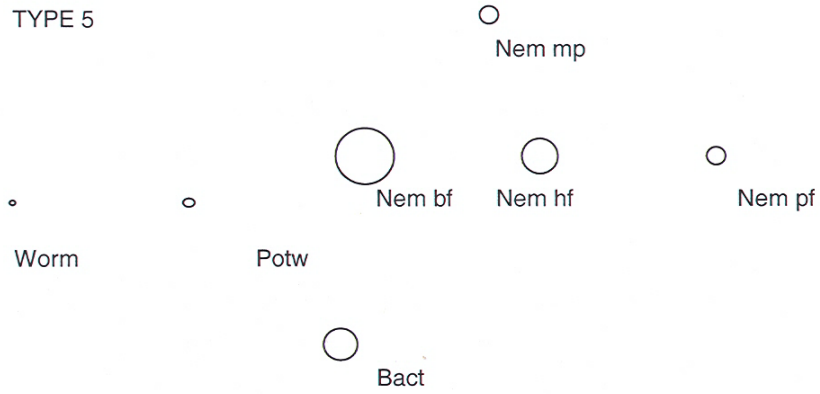


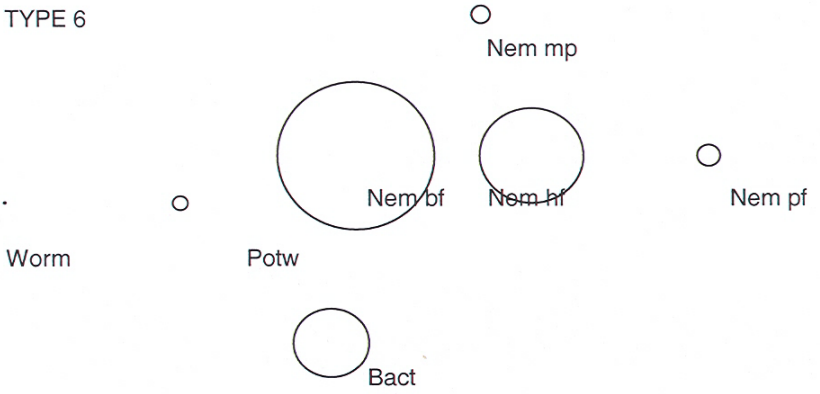


Figuur 4(b) Voedselwebstructuren van melkvee- en akkerbouwbedrijven op zand in 1999 en 2001. De grootte van de cirkel correspondeert met de gemiddelde gestandaardiseerde waarde van de betreffende trofische groep (zie tabel 5)



Figuur 4(c) Voedselwebstructuren van melkvee- en akkerbouwbedrijven op zand in 1999 en 2001. De grootte van de cirkel correspondeert met de gemiddelde gestandaardiseerde waarde van de betreffende trofische groep (zie tabel 5)





3.3 Voedselwebstructuren in relatie tot de grondsoort: zand en klei

Op gangbare melkveehouderijbedrijven op klei en zand in respectievelijk 1997 en 1999 zijn vier typen voedselwebstructuren te onderscheiden (figuur 5; bijlage 8), namelijk structuren met:
- veel regenwormen, potwormen, schimmel- en plantenetende nematoden en weinig predatore nematoden (type 1);
- veel bacteriën en middelmatige hoeveelheden van andere trofische groepen en weinig predatore nematoden (type 2);
- middelmatige hoeveelheid predatore nematoden en geringe hoeveelheid bacteriën, schimmeletende nematoden, potwormen en regenwormen (type 3);
- veel bacterie-etende en predatore nematoden en weinig schimmeletende nematoden, potwormen en regenwormen (type 4).

Voedselwebben van de klei en zand zijn goed onderscheidbaar: kleibedrijven behoren vrijwel allemaal tot de typen 1 en 2 (tabel 6, bijlage 8). De typen 3 en 4 bestaan vrijwel geheel uit zandbedrijven.

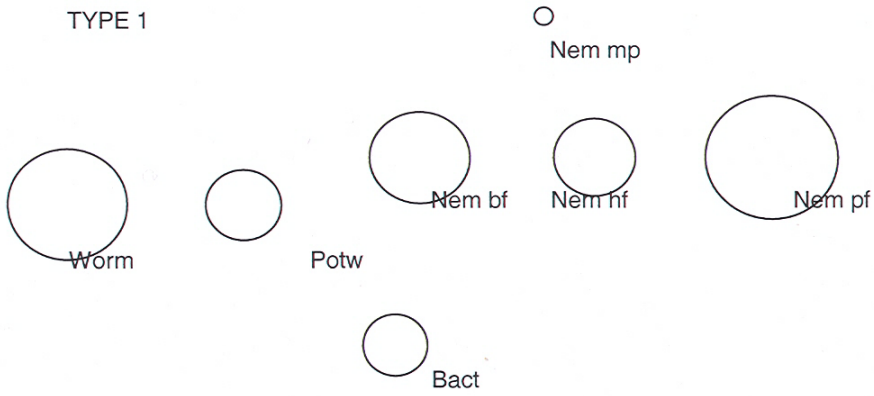
Verbanden tussen de clustering en omgevingskenmerken betreffen (tabel 6):
- Geen verband met veedichtheid die weinig varieert tussen de typen 1-4; het fosfaatgetal lijkt wat lager op klei (typen 1 en 2) dan op zand (typen 3 en 4);
- Een iets hoger percentage grasland op klei (typen 1 en 2) dan op zand (typen 3 en 4);
- Een lager organische stof gehalte op klei dan op zand, waarbij het percentage toeneemt van gemiddeld 6% naar 8,5% in de reeks van type 1 naar 4; de pH vertoont ongeveer een omgekeerd evenredig verloop.

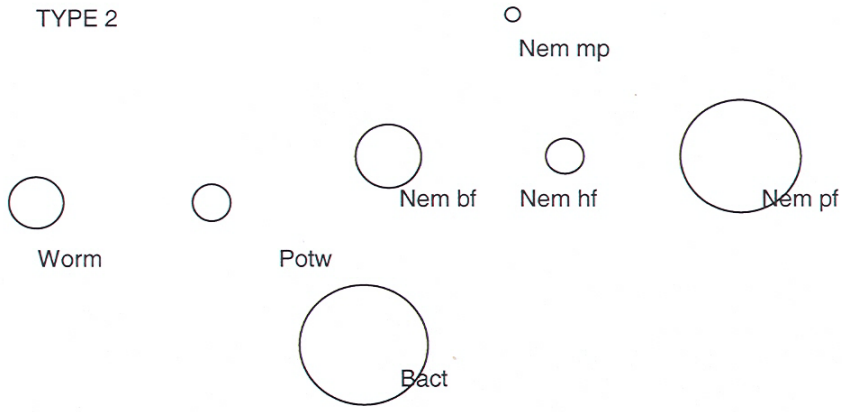
Tabel 6 Omgevingsfactoren en trofische groepen op 39 melkveebedrijven op klei en zand in 1997 en 1999. Typen voedselwebstructuur onderscheiden als cluster door TWINSPAN; gemiddelde waarden in het cluster. Locatie; n=aantal bedrijven in het TWINSPAN-cluster op,klei respectievelijk zand; Trofische groepen: Bact=Bacteriën (µg C/g), Nem = Nematoden (n/g grond), Worm = regenwormen (g/m2), Mijt = mijten/springstaarten (n/10 cm2); verklaring nadere trofische indeling (bf, hf, mp, top) zie bijlage 2; gemidd. Gestandaard.waarden (x10)

	Lokaties		Factoren					Gemiddelde absolute waarden							Gemidd. gestand. waarden						
TYPE	n klei	n zand	% gras	GVE/ha	OS %	PAL	Lutum%	Bact	Nem bf	Nem hf	Nem pf	Nem mp	Worm	Potw	Bact	Nem bf	Nem hf	Nem pf	Nem mp	Worm	Potw
1	11	1	83	2,5	6,0	41	20	176	30	3	21	1	91	7	3	4	4	6	1	5	3
2	7	1	85	2,5	7,3	45	24	347	20	1	19	1	43	4	6	3	2	5	1	2	2
3	2	12	75	2,4	8,3	47	5	151	26	1	13	2	28	2	2	4	1	4	2	2	1
4	0	4	80	2,4	8,5	48	3	171	53	1	19	7	62	2	3	8	1	5	6	4	1

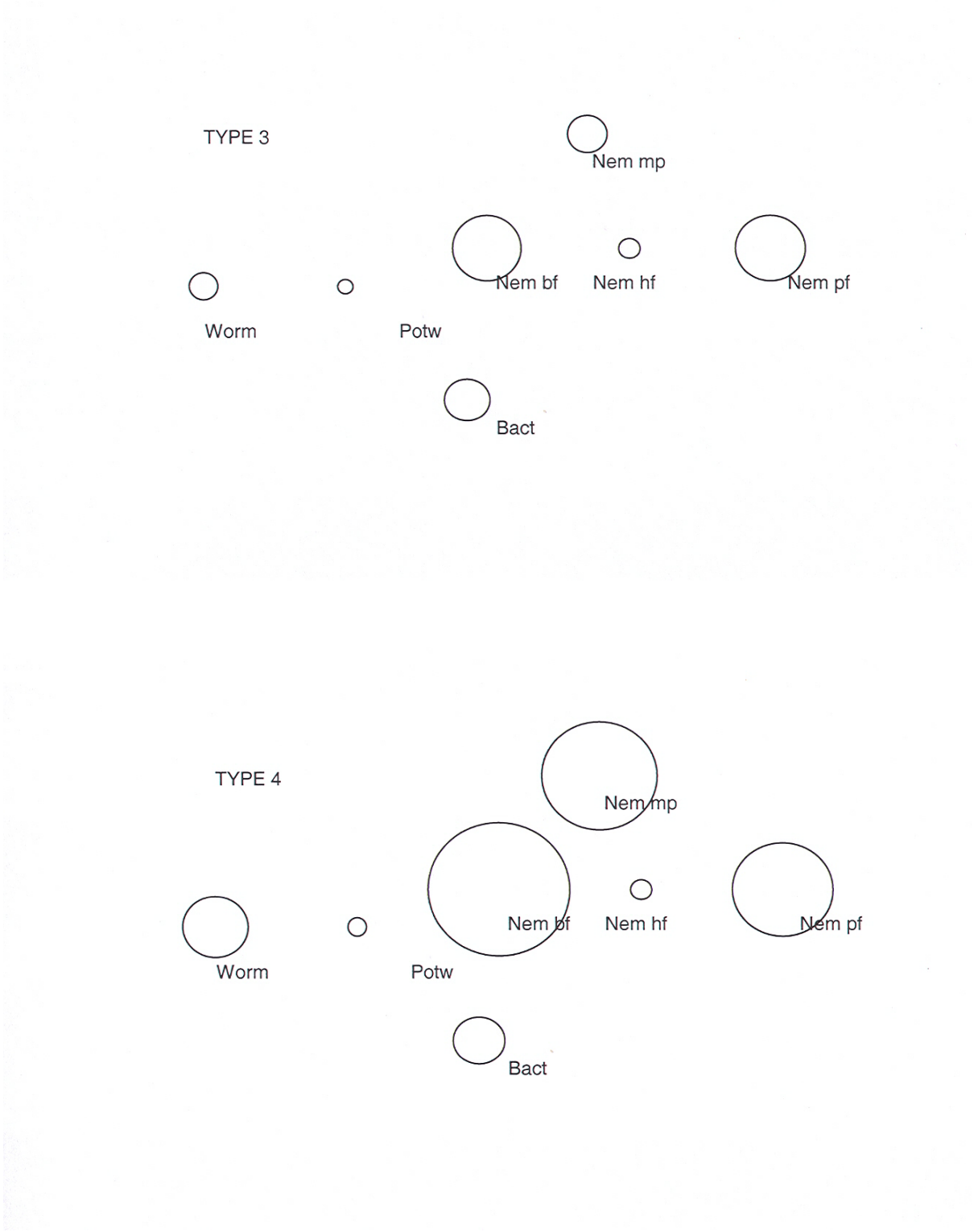
Wat betreft de relatie tussen voedselwebstructuur en omgevingsfactoren:
a. Voedselwebben van veebedrijven op klei hebben vergeleken met veebedrijven op zand, grotere dichtheden van de meeste trofische groepen; de voedselwebstructuur in kleigrond lijkt te variëren tussen structuren met veel wormen versus veel bacteriën waarbij de link naar omgevingsfactoren onduidelijk is. Op het derde trofische niveau (predatoren) lijkt de rol van nematoden kleiner te zijn dan op zand.
b. Voedselwebben van veebedrijven op zand hebben lagere dichtheden organismen, maar vertonen in sommige gevallen een sterke ontwikkeling van bacterie-etende en predatore nematoden en regenwormen. Dit houdt mogelijk verband met een toename van bodemvruchtbaarheid (OS, fosfaat). Daarnaast is het beeld niet volledig omdat gegevens over mijten en springstaarten ontbreken.

Figuur 5 a t.m.b Topologische voedselwebben van melkveebedrijven op klei en zand in 1997 en 1999. De grootte van de cirkel correspondeert met de gemiddelde gestandaardiseerde waarde van de betreffende trofische groep (zie tabel 6)





Figuur 5 (b) Topologische voedselwebben van melkveebedrijven op klei en zand in 1997 en 1999. De grootte van de cirkel correspondeert met de gemiddelde gestandaardiseerde waarde van de betreffende trofische groep (zie tabel 6)



4 Discussie en Conclusie

4.1 Betekenis van de methode voor inzicht in de praktijk

Een typologie van voedselwebstructuren lijkt een geschikte methode om het fragmentarische beeld van het bodemleven vanuit microscopische metingen en chemische bepalingen te herleiden tot een voor de praktijk visualiseerbare voorstelling. Het herkennen van patronen sluit aan bij vaardigheden die practici ook gebruiken bij hun beslissingen ten aanzien van bijvoorbeeld graslandmanagement en veevoeding. Door gesprekken over 'het gedrag' van het voedselweb in reactie op het management kunnen de gegevens over bodemleven voor veehouders tot leven worden gewekt. Het essay van Jan Spaans (biologische melkveehouder, Broek in Waterland) (Oenema, 2003, pp.72-77) toont het draagvlak voor zulke interacties.

4.2 Een aanzet tot een typologie van voedselwebstructuren

4.2.1 Voedselwebstructuren in relatie tot het bedrijfssysteem

In de beschreven variatie aan voedselwebstructuren kunnen patronen worden gevonden. De typologie van voedselwebstructuren suggereert een gradiënt van een extensieve (accent op 'links' in het schema) naar een intensieve (accent 'rechts') productie:

- Bacteriën, planten- en schimmeletende nematoden bevinden zich qua dichtheid links;
- Potwormen hebben een optimum links van het midden;
- Regenwormen zitten in de linker helft met een optimum in het midden van de gradiënt;
- Bacterie-etende en predatore nematoden hebben een optimum in het midden en een suboptimum aan het linker uiteinde;
- De hoogste abundantie van mijten en springstaarten bevindt zich rechts; zij lijken zich tegengesteld te gedragen aan de andere groepen;
- De toppredatoren van de mijten en springstaarten hebben ook een optimum rechts, maar daarbij ook nog een suboptimum links.

De voedselwebstructuur op biologische bedrijven blijkt zeer goed te onderscheiden te zijn van die op gangbare bedrijven. Vrijwel alle bedrijven bevinden zich links in de typologie. Ook de verwachting dat het bodemleven op biologische bedrijven tendeert naar een meer gelijkmatige, evenredige opbouw, blijkt uit te komen. Het onderscheiden 'bacterietype' laat dit zien; het 'potwormtype' vertoont echter deze gelijkmatige opbouw in mindere mate. De verwachting dat in voedselwebstructuren op biologische bedrijven relatief veel grotere organismen voorkomen (wormen en mesofauna bovenin het voedselweb) blijkt niet waar te zijn. Zowel de regenwormen als de mijten en springstaarten hebben hun kwantitatieve optimum niet op de biologische bedrijven.

De voorgestelde typologie in voedselwebstructuren stemt in grote lijnen overeen met de uitkomsten op basis van andere analyses met dezelfde dataset door Schouten *et al.* (2002), Mulder *et al.* (2003b, 2004) en Breure *et al.* (2004). In die studies zijn steeds de categorieën biologisch, extensief gangbaar en intensief gangbaar met elkaar vergeleken. Ook daar bleek het biologische systeem goed te onderscheiden te zijn. Schouten *et al.* (2002) vonden op biologische bedrijven de meeste schimmel- en plantenetende nematoden en potwormen; de dichtheden van bacteriën, predatore nematoden en regenwormen verschilden echter niet significant tussen de drie categorieën. De hoge dichtheid van mijten en springstaarten op gangbare bedrijven was wel zichtbaar maar niet significant; dat gold ook voor de lage dichtheden aan predatore microarthropoden in de extensieve tussencategorie. In (schijnbare) tegenspraak met de typologie in dit rapport vonden Schouten et al. (2002) en Breure *et al.* (2004) dat een hoog % bacterie-etende nematoden kenmerkend is voor de intensieve kant van het spectrum en dat dit % het laagst is op biologische bedrijven. Daarbij moet worden aangetekend dat dit geldt voor het aandeel van de bacterie-etende groep. Dit wordt mede veroorzaakt door een nog sterkere afname van de plantenetende nematoden. Het totale aantal nematoden was lager op de intensieve bedrijven.
In de analyse van Mulder *et al.* (2003b) zijn ook de in 2000 bemonsterde 'intensief plus' bedrijven in de vergelijking betrokken; hieruit bleek dat de bacteriën-biomassa op biologische bedrijven het grootst is. Een positief verband tussen de waargenomen hoeveelheden bacteriën en bacterie-etende nematoden was alleen met behulp van aanvullende aannamen te onderbouwen. Dit stemt overeen met de verschillende positie die deze groepen hebben in de voorgestelde typologie van voedselwebstructuren.

Een volgende, meer speculatieve stap, is het relateren van de voorgestelde typologie aan het management op de melkveebedrijven alsmede aan relaties binnen het voedselweb. Van Eekeren *et al.* (2003) geven een overzicht van elf belangrijke managementinvloeden en hun onderlinge samenhang voor de biologische melkveehouderij, met als kapstok de 'cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem' (figuur 1). Extra factoren van belang voor de gangbare bedrijven zijn het gebruik van kunstmest en bestrijdingsmiddelen (m.n. fungiciden, nematiciden of insecticiden). Hoe kunnen de verschillende voedselwebstructuren in verband worden gebracht met het management? In de hiernavolgende uiteenzetting zijn de relevante managementinvloeden cursief aangegeven:

- Links in de typologie (c.q. gradiënt) is sprake van locaties met een *matig bemestingsniveau* met gebruik van deels *vaste mest*, en weinig *grondbewerking*. Het bodemleven is hier functioneel gezien erg actief omdat er relatief veel hulpbronnen worden afgebroken en gemobiliseerd. In de weinig gestoorde zode leven veel wortelgrazers (w.o. plantenetende nematoden); dit betekent dat relatief veel primaire productie direct het voedselweb binnenkomt in plaats van indirect via de vertering door micro-organismen. De predatore nematoden die jagen op deze wortelgrazers kunnen andere nematodengroepen beïnvloeden (voorbeeld van een 'lateraal voedselwebeffect');
- In het midden van de typologie (c.q. gradiënt) vindt meer *grondbewerking* plaats in verband met graslandvernieuwing en teelt van voedergewassen. Het *bemestingsniveau* is hier hoog, bestaande uit *drijfmest en kunstmest*; hierdoor is hier de primaire productie van het systeem hoog. Kwantitatief is het bodemleven daardoor sterk ontwikkeld, bijvoorbeeld door de grote hoeveelheid regenwormen; het hele systeem is echter vergeleken met het 'linker uiteinde' meer consumptief van aard;
- Naar rechts, met verdere intensivering, neemt het bemestingsniveau niet automatisch meer toe. Want de grotere aantallen vee op sommige bedrijven representeren geen hogere mestgiften; de veehouderij is hier namelijk niet meer grondgebonden. Rechts van het midden van de typologie gaat het management van het grasland meer op akkerbouw lijken. Dit betekent meer *grondbewerking* en inzet van *bestrijdingsmiddelen* bij de verbouw van voedergewassen en frequente vernieuwing van grasland. De gewasproducties zijn hoog, evenals in het centrum van de typologie, maar het bodemleven valt kwantitatief sterk terug en vervult daarom in het systeem relatief weinig functies;
- Aan de rechter kant van de typologie krijgt het bodemleven onverwachte kenmerken: mijten en springstaarten komen veel voor, mogelijk (een *'release'*) in verband met de terugval van andere groepen, die minder competitie of predatie geven (voorbeeld van een 'lateraal voedselwebeffect'). De voedselwebstructuur maakt de indruk van een beperkt metabolisme in de grond met daarbij een meer oppervlakkig bodemleven. Voor laterale voedselwebeffecten op landbouwpercelen zijn ook aanwijzingen gevonden op bijvoorbeeld Flevolandse biologische akkerbouwbedrijven (Smeding & De Snoo, 2003).

De suggestie van Mulder *et al.* (2005) dat biologisch en gangbaar op elkaar lijken, terwijl de extensieve bedrijven afwijken (vanwege de 'grootste hellingshoek'), heeft mogelijk te maken met het bovenstaande betoog. In het midden van de typologie, waar veel extensieve bedrijven zich bevinden, lijkt de dynamiek in het systeem het hoogst. Het zou kunnen dat het minder voedselrijke milieu van het 'potworm-type' en het 'ongunstige' milieu van het 'romp-type' resulteren in een overeenkomstige allometrische verhouding binnen het voedselweb.

Uit bovenstaande beschouwing mag blijken dat de typologie van voedselwebstructuren zich goed leent om relaties te leggen met het bedrijfssysteem en haar management. Aanwijzingen voor relaties betreffen vooral het bemestingsniveau, de mestsoort en de grondbewerking en mogelijk ook het gebruik van bestrijdingsmiddelen. Het blijkt dat inzicht in meerdere managementinvloeden nodig is om de typologie te kunnen verklaren. Daarbij is een belangrijk gegeven dat op verschillende plaatsen in de typologie (c.q. gradiënt) een verschillende managementinvloed bepalend kan zijn. Dit komt mede door specifieke samenhang tussen de maatregelen in het bedrijfssysteem (zie § 1.2 en Van Eekeren *et al.*, 2003).

4.2.2 Voedselwebstructuren in relatie tot het bedrijfstype

Voedselwebben van veehouderij en akkerbouwbedrijven blijken goed te onderscheiden te zijn. De verwachting kwam uit dat bouwland vergeleken met grasland een 'mager' voedselweb is met lagere aantallen van vrijwel alle trofische groepen. Volgens verwachting waren de biologische akkerbouwbedrijven te onderscheiden van de meeste gangbare akkerbouwbedrijven, doordat enkele groepen (bijv. wormen) er wel relatief talrijk zijn; deze bedrijven lijken aldus een tussenpositie in te nemen tussen grasland en gangbare akkerbouw. De afwijkende voedselwebstructuur op akkerbouwbedrijven, vanwege de toename van nematoden, staat mogelijk meer in verband met de grondsoort (dalgrond) dan met het bedrijfstype. Daarnaast was de steekproef uit deze groep nog klein. Wanneer meer gegevens beschikbaar zijn kan een beter onderbouwd beeld worden gevormd.

De studie laat de vraag open hoe een 'mager' voedselweb in geval van bouwland beoordeeld moet worden en in hoeverre het bodemvoedselweb in de veehouderij een referentie kan zijn voor het bodemvoedselweb in de akkerbouw (zie ook § 4.3).

4.2.3 Voedselwebstructuren in relatie tot de grondsoort

Vergelijking van grondsoorten tussen veebedrijven op zand en klei laat zien dat er verschuivingen optreden die principieel verschillen van de verschuivingen ten gevolge van management. Bijvoorbeeld predatore nematoden komen meer voor op zand; door textuur van de bodem kunnen de effecten van management verschillen. Een typologie op basis van managementverschillen kan daarom niet zonder meer over de typologie van grondsoorten heen gelegd worden. Hiervoor is aanvullend onderzoek nodig. Mulder *et al.* (2004, 2005) werkten om dezelfde reden voor veehouderij op zand en klei verschillende streefbeelden uit.

4.3 Beoordeling van voedselwebstructuren

4.3.1 Beoordeling met betrekking tot de functies van het bodemleven

Hoe kunnen de beschreven typen voedselwebstructuren worden beoordeeld? Wat is een ‘goed’ of ‘slecht’ werkend voedselweb? En hoe kan deze beoordeling worden ingebed in een indicatorsysteem? Een antwoord op deze vragen vereist inzicht in de prestaties van de voedselwebstructuren op gebied van de zeven functies van bodemleven in grasland (Van Eekeren *et al.*, 2003) of de acht nutsfuncties van Breure *et al.* (2003).

Deze prestaties kunnen indirect worden afgeleid door de afzonderlijke effecten van iedere soortengroep op de functies (zie tabel 6.1. in Van Eekeren *et al.*, 2003) te sommeren of op andere wijze te verrekenen. De positieve uitspraak van Breure *et al.* (2004) over de bodemkwaliteit in biologisch grasland, volgt een dergelijke benadering door de veronderstelling dat grote een hoeveelheid van veel verschillende groepen de potentie heeft om veel functies te vervullen. Een andere indirecte methode is bijvoorbeeld de berekening van de allometrische verhouding tussen dichtheden en lichaamsgewicht van bodemfaunagroepen (Mulder *et al.,* 2004, 2005). Deze verhouding indiceert de relatieve energiestroom door het voedselweb. Vervolgens kan worden verondersteld dat er een positief verband is tussen deze energiestroom en de vervulling van één of meer van de zeven functies. De prestaties van de verschillende voedselwebstructuren kunnen ook direct (empirisch) worden bepaald. Een voorbeeld is de bepaling van de stikstofefficiënte in het *DOK-Versuch* (Mäder *et al.,* 2002), die een belangrijk bewijs leverde voor vervulling van *Life Support Functies* door het bodemleven. In de BoBl-dataset zijn hiertoe de metingen aan de stikstof- en koolstofmineralisatie beschikbaar. Bij de BoBl-voedselwebstudie van 1997 (Schouten *et al.*, 2000), zijn deze parameters gebruikt bij een oriënterende validatie van het voedselwebmodel van De Ruiter *et al.* (1993, 1995). Er is dus nog geen gevalideerde methode beschikbaar voor de beoordeling van de prestatie van de beschreven voedselwebstructuren, en het op grond daarvan toekennen van een getalswaarde aan een structuurtype.

4.3.2 Indicatorwaarde van een voedselwebstructuur

Het toekennen van een getalswaarde aan de waargenomen voedselwebstructuren is belangrijk voor deelindicator 'Structuur voedselweb' in BoBl. Een getalswaarde zou kunnen worden verkregen door waarden aan soortengroepen te geven op basis van hun positie in een goed onderbouwde typologie. Analoog aan de *Maturity-index* voor nematoden, zou dan vervolgens een index berekend kunnen worden. Deze index als indicatorwaarde voor 'Structuur voedselweb' is op zich geen beoordeling; ze geeft ecologische informatie. Voor de beoordeling van de voedselwebstructuur kunnen deze index en de allometrische verhouding in verband worden gebracht met de functies of vergeleken worden met een referentie.

4.3.3 De keuze van referentielocaties

De beoordeling van een voedselwebstructuur is van belang voor het vaststellen van referenties. Want referentielocaties kenmerken zich in principe door een optimale vervulling van de zeven functies door het bodemleven. De biologische bedrijven zijn in het BoBl-project gekozen als voorlopige referentie; de

bodemkwaliteitsindex (BKX) wordt ten opzichte van deze referentie bepaald (bijlage 1). De typologie van voedselwebstructuren en positie van de biologische bedrijven erbinnen, bekrachtigen de voorlopige keuze van BoBI.
Vanuit het oogpunt van de biologische melkveehouder zou de bedrijfsstijl er op gericht moeten zijn om de biologische toestand zo dicht mogelijk naar de referentie te brengen. Dat wil zeggen een goede gras- en melkproductie (kwantitatief en kwalitatief) in combinatie met optimale functies van het bodemleven. In de typologie voor melkveehouderij op zand (§ 3.1.) lijkt het 'potworm-type' een geschikte referentie, omdat deze de meer productieve biologische graslanden betreft. Binnen dit type zou bijvoorbeeld gekozen kunnen worden voor een relatief 'vol' voedselweb (in de richting van het 'bacterie-type'), zoals de locatie van Van de Breemer. Mulder *et al.* (2004, 2005) identificeerden juist deze locatie als geschikte referentie voor melkveehouderij op zand.

4.4 Conclusie

Een kwalitatieve voedselwebanalyse is een bruikbare methode om te komen tot een voor een veehouder visualiseerbaar en levendig beeld van het bodemleven, in relatie tot het management op zijn bedrijf. De methode is bruikbaar voor interactie tussen veehouders, voorlichters en onderzoekers bij de ontwikkeling van duurzame bedrijfssystemen zoals project BIOVEEM.

De kwalitatieve voedselwebanalyse levert typologieën van voedselwebstructuren die onderscheid maken tussen gangbare en biologische veehouderijbedrijven op zand, tussen veehouderij en akkerbouw op zand, alsmede tussen zand- en op kleigronden met veehouderij.
Een aldus verkregen typologie van voedselwebstructuren van melkveehouderij op zand leent zich goed om relaties te leggen met het bedrijfssysteem en haar management. Hypothesen voor relaties betreffen vooral het bemestingsniveau, de mestsoort, de grondbewerking en mogelijk ook het bestrijdingsmiddelengebruik. Inzicht in de typologie kan veehouders helpen om te sturen in de richting van een bedrijfsstijl die optimaal gebruik maakt van *Life Support Functies*.

Literatuur

Breure, A.M., M. Rutgers, J. Bloem, L. Brussaard, W. Didden, G. Jagers op Akkerhuis, Ch. Mulder, A.J. Schouten en H.J. van Wijnen, 2003. Ecologische kwaliteit van de bodem. RIVM rapport 607604005, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. 32 pp.

Breure, A.M., Ch. Mulder, M. Rutgers, A.J. Schouten en H.J. van Wijnen, 2004. Belowground biodiversity as an indicator for sustainability of soil use. Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation: 195-197.

Brussaard, L., 1998. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. Applied Soil Ecology 9, 123-135.

Cohen, J.E., T. Jonsson en S.R. Carpenter, 2003. Ecological community description using the food web, species abundance, and body size. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 100: 1781-1786.

De Ruiter, P.C., J.C. Moore, K.B. Zwart, L.A. Bouwman, J. Hassink, J. Bloem, J.A. Vos, J. Marinissen, W.A.M. Didden, G. Lebbink en L. Brussaard, 1993. Simulation of nitrogen mineralization in the below-ground food webs of two winter wheat fields. Journal of Applied Ecology 30, 95-106.

De Ruiter, P.C., A.M. Neutel en J.C. Moore, 1995. Energetics, Pattern of Interaction Strengths and Stability in real ecosystems. Science 269, 1257-1260.

Eekeren, N. van, E. Heeres en F. Smeding, 2003. Leven onder de graszode -Discussiestuk over het beoordelen en beïnvloeden van bodemleven in de biologische melkveehouderij-. LBI 2003-LV52, Louis Bolk Instituut, Driebergen. 149 pp.

Goewie, E.A. en F.W. Smeding, 2004. Managen van biodiversiteit –Voedselwebben als brug tussen model en veld-. Verslag symposium, Wageningen Universiteit. 78 pp.

Hill, M.O., 1979. TWINSPAN- A FORTRAN program for arranging multivariate data in an ordered two-way table by classification of the individuals and attributes. Cornell University, Ithaca, New York. 90 pp.

Jongman, R.H.G., C.J.F. ter Braak en O.F.R. van Tongeren, 1987. Data Analysis in community and landscape ecology. Pudoc, Wageningen. 299 pp.

Mäder P., A. Fliessbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried en U. Niggli, 2002. Soil fertility and biodiversity in Organic farming. Science 296: 1694-1697.

Mulder, Ch., 2002. Haalbaarheid van het voedselweb modelconcept. ECO-note 02/02. Interne publicatie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. 62 pp.

Mulder, Ch., A.M. Breure en J.H.J. Joosten, 2003a. Fungal functional diversity inferred along Ellenberg's abiotic gradients: Palynological evidence from different soil microbiota
Grana 42: 55–64

Mulder, Ch., D. de Zwart, H.J. van Wijnen, A.J. Schouten en A.M. Breure, 2003b. Observational and simulated evidence of ecological shifts within the soil nematode community of agroecosystems under conventional and organic farming. Functional Ecology 17, 516-525.

Mulder, Ch., H.J. van Wijnen, H.A. den Hollander, A.J. Schouten, M. Rutgers en A.M. Breure, 2004. Referenties voor bodemecosystemen: evaluatie van functies en ecologische diensten. RIVM report 607604006, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. 70 pp.

Mulder, Ch., 2005. J.E. Cohen, H. Setälä, J. Bloem en A.M. Breure, 2005. Bacterial traits, organism mass, and numerical abundance in the detrital soil food web of Dutch agricultural grasslands. Ecology Letters 8: 80–90.

Oenema, O (red.), 2003. Bodem en duurzame landbouw –Beschouwingen over de rol van de bodem en het bodembeher in de transitie naar en duurzame landbouw. Uitgave technische commissie bodembescherming/Stichting Natuurmedia. 94 pp.

Polis, G.A. & K.O. Winemiller, 1996. Food webs: integration of patterns and dynamics. Chapman & Hall, New York. 472 pp.

Rutgers, M., J. Bloem, J. en K. Groeneveld, 2002. Bodemleven, bodemkwaliteit en duurzaam bodemgebruik - Verslag van de workshop 3 oktober 2002-. RIVM rapport 607604004, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. 107 pp.

Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder en V. Westhoff, 1995. De vegetatie van Nederland, Deel 1., Inleiding tot de plantensociologie - grondslagen, methoden en toepassingen. Opulus Press, Uppsala/Leiden. 296 pp.

Schouten, A.J., L. Brussaard, L, P.C. de Ruiter, H. Siepel en N.M. van Straalen, 1997. Een indicatorsysteem voor Life Support Functies van de bodem in relatie tot biodiversiteit. RIVM-rapport 712910005, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Schouten, A.J., A.M. Breure, J. Bloem, W.A.M. Didden, P.C. de Ruiter en H. Siepel, 1999. Life support functies van de bodem: operationalisering t.b.v. het biodiversiteitsbeleid. RIVM rapport 607601003, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. 55 pp.

Schouten, A.J., J. Bloem, A.M. Breure, W.A.M. Didden, M. van Esbroek, P.C. de Ruiter, M. Rutgers, H. Siepel en H. Velvis, 2000. Pilotproject Bodembiologische Indicator voor Life Support Functies van de Bodem. RIVM rapport 607604001, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. 106 pp.

Schouten, A.J., M. Rutgers en A.M. Breure, 2001. BOBI op weg -Tussentijdse evaluatie van het project Bodembiologische Indicator-.RIVM rapport 607604002, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven.

Schouten, A.J., J. Bloem, W.A.M. Didden, G. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel en M. Rutgers, 2002. Bodembiologische Indicator 1999 -Ecologische kwaliteit van graslanden op zand bij drie categorieën melkveehouderij-bedrijven. RIVM rapport 607604003, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven. 107 pp.

Smeding, F.W., 2001. Steps towards food web management on farms. Proefschrift, Wageningen Universiteit. 137 pp.

Smeding, F.W. en G.R. de Snoo, 2003. A concept of food-web structure in organic arable farming systems. Landscape and Urban Planning 65(4), 219-236.

TCB, 2003. Advies duurzamer bodemgebruik op ecologische grondslag. Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag. 94 pp.

Verhoeven, F.P.M., J.W. Reijs en J.D. van der Ploeg, 2003. Rebalancing soil-plant-animal interactions: towards reduction of nitrogen losses. Netherlands Journal of Agricultural Science 51-1/2: 147-164.

Bijlagen

Bijlage 1 Achtergronden van het BoBI-project en inbedding van de LBI-studie

Het project Bodembiologische Indicator (Schouten *et al.*, 1999, 2002) heeft zijn wortels in het Biodiversiteitsverdrag van Rio de Janeiro (1992), en het actieprogramma van de Nederlandse overheid dat aansluitend is opgesteld. Het onderzoek moet leiden tot kwaliteitsdoelstellingen voor functionele diversiteit van bodemorganismen buiten de beschermde natuurgebieden.
Aangezien referentiebeelden voor bodemecologische aspecten ontbreken, evenals systematisch verzamelde historische gegevens, is een monitoringprogramma opgezet binnen de infrastructuur van het (abiotische) Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Dit meetnet bestaat uit 200 locaties naar 10 typen bodemgebruik. Het merendeel zijn agrarische gronden. Jaarlijks worden ongeveer 40 locaties bezocht. Het bodembiologisch onderzoek is verder uitgebreid met circa 50 biologische bedrijven die voorlopig als referentie gekozen zijn, uitgaande van de veronderstelling dat dit een meer duurzame vorm van grondgebruik vertegenwoordigt.
De te meten biologische indicatoren zijn gekozen op basis van hun plaats en samenhang in het bodemvoedselweb (ontwerp en eerste publicatie in: Schouten *et al.*, 1997). Op deze wijze wordt een verband gelegd tussen structuur van het bodemvoedselweb en functies zoals mineralisatiecapaciteit, bodemvorming en stabiliteit. Het gaat dus om een indicatorsysteem voor biodiversiteit van de bodem in relatie met *Life Support Functies* (LSF). Op het moment van deze rapportage is over twee waarnemingsronden gerapporteerd, namelijk 1997 'grasland op zeeklei, tuinbouwbedrijven' (Schouten *et al.*, 2000) en 1999 'grasland op zand' (Schouten *et al.*, 2002).

Een van de deelindicatoren in BoBI is: 'Structuur voedselweb'. Deze deelindicator wordt gerepresenteerd door een van de 12 indicatieve variabelen van het Biologisch Indicatorsysteem, namelijk: 'De opbouw van de levensgemeenschap'. De deelindicatoren vormen samen een doorsnede van het bodemecosysteem; een voedselwebmodel dient daarbij als middel tot integratie (Schouten *et al.*, 2000, p.9).
In de waarnemingsronde van 1997 is ten behoeve van de voorgenomen voedselwebstudie, op twee locaties een extra intensief meetprogramma uitgevoerd. Hierbij is van alle BoBI-soortengroepen de biomassa gemeten en zijn ook protozoën bemonsterd; de gegevens zijn vervolgens ingevoerd in een dynamisch voedselwebmodel (De Ruiter *et al.*, 1993, 1995). Bij de bemonstering en dataverwerking van de gegevens van 1997 bleek helaas dat een routinematige toepassing van voedselwebanalyse in het BoBI-project niet voor de hand ligt vanwege de hoeveelheid veldonderzoek en de kosten die hiermee zijn gemoeid (Schouten *et al.*, 2000).

Mulder (2002) verkende sindsdien voor het BoBI-project de mogelijkheden van een modelconcept van een dynamisch voedselwebmodel. Deze verkenning baseerde zich op onderzoek aan (trofische groepen) bodemschimmels in relatie abiotische milieufactoren (Mulder *et al.*, 2003a); het leek haalbaar om met dergelijke data een voedselweb te berekenen met terugkoppelmechanismen op verschillende trofische niveaus. In vervolg hierop ontwikkelden Mulder *et al.* (2004, 2005) een methode met een allometrische bepaling van de voedselwebstructuur in navolging van Cohen *et al.* (2003). Hierbij worden alle bemonsterde taxa (genus en hoger) geplot volgens hun dichtheid (y-as) en hun biomassa (x-as); de punten worden verbonden door lijnen in overeenstemming met de trofische relaties. Uit het totaal van lijnen wordt door een gemeenschappelijke hellingshoek berekend. De hypothese van Mulder *et al.* is dat een bepaalde hellingshoek (m.a.w. 'index') een optimale en gezonde samenstelling van het voedselweb vertegenwoordigt. Zij baseren hun aanname op overeenkomsten met de bevindingen van Cohen *et al.* (2003) in vooral aquatische ecosystemen.

Naast integratie door middel van een voedselweb-model worden resultaten van BoBI geïntegreerd door weergave in een zogenaamde Amoebe en de daaraan gekoppeld bodemkwaliteitsindex (BKX). De Amoebe geeft een *overall*-beeld van de gemiddelde situatie in het onderzochte bodemgebruikstype in vergelijking met een gekozen referentie. De waarden van de beschikbare 63 abiotische en biotische deelindicatoren staan hierin naast elkaar afgebeeld. Schouten *et al.* (2003, pp. 67-75) hebben de zeggingskracht van de Amoebe geëvalueerd; handhaven van een breed spectrum lijkt het beste om de 'pro's en contra's' bij de keuze van de indicatoren te balanceren.

Een tweede belangrijke methode tot verwerking van de BoBI-gegevens is het opstellen van (habitat-)responsmodellen. Een responsmodel beschrijft de relatie tussen de hoeveelheid van een soortengroep en de abiotische omstandigheden en 'drukfactoren'. Een mogelijke toepassing van responsmodellen is om ze deel uit te laten maken van 'managementmodellen'. Een belangrijk statistisch probleem bij het opstellen van responsmodellen is dat veel van de gemeten abiotische variabelen onderling gecorreleerd oftewel afhankelijk zijn (Schouten *et al.*, 2000, p. 70). Een ander probleem is dat er vanwege de gerichtheid op afzonderlijke soortengroepen, geen specifieke aandacht is voor de voedselwebstructuur en de patronen die daarin optreden.

De uitwerking van een kwalitatieve voedselwebanalyse zou tegemoet kunnen komen aan de leemte die in het BoBl-project ontstaan is doordat een dynamisch voedselwebmodel onuitvoerbaar bleek (Schouten *et al.*, 2000). De allometrische bepaling van de voedselwebstructuur door Mulder *et al.* (2004, 2005) komt hieraan deels tegemoet. In samenhang met deze bepaling kan een meer empirisch gerichte kwalitatieve voedselwebanalyse een invulling geven aan de deelindicator 'Structuur voedselweb' in het Bodembiologische Indicatorsysteem van Schouten *et al.* (1997).

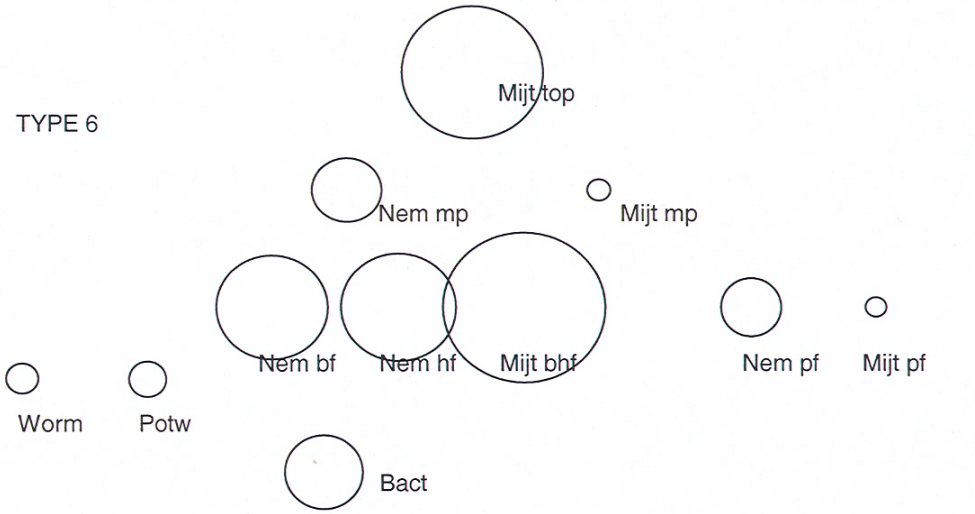
Bijlage 2 Agglomeratie van de 22 soortengroepen, die bemonsterd zijn in het BoBi-project, in de 11 trofische groepen ten behoeve van de analyses in dit rapport

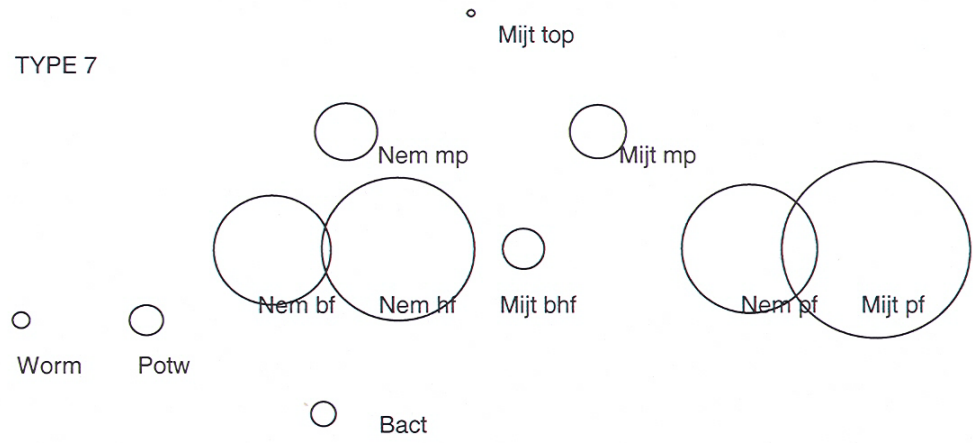
Taxon:	BoBi soortengroep:	Agglomeratie:	Afkorting:
Bacteriën	Bacteriën	Bacteriën	Bact
Nematoden	carnivores (ca) omnivores (om) unicellar feeding (uef)	Nematoden, micropredatore	Nem mp
	bacteria feeding (bf) dauerlarve (ruststadium)	Nematoden, bacterie-etende	Nem bf
	hyphal feeding (hf)	Nematoden, schimmeletende	Nem hf
	plant feeding (pf)	Nematoden, plantenetende	Nem pf
Potwormen	Potwormen	Potwormen	Potw
Regenwormen	Regenwormen	Regenwormen	Worm
Arthopoden (mijten en springstaarten)	arthropods predator	Mijten/springstaarten toppredatore,	Mijt top
	general predator nematods predator omnivore parasite	Mijten/springstaarten micropredatore	Mijt mp
	bacteriovore fungivorous browser fungivorous grazer herbofungivorous grazer Opportunistic herbofungivore	Mijten/springstaarten, bacterie- en schimmeletende	Mijt bhf
	herbivorous browser herbivorous grazer	Mijten/springstaarten, plantenetende	Mijt pf

Bijlage 3 TWINSPAN tabel van deelstudie vergelijking bedrijfssystemen veehouderij op zand in 1999. Verklaring afkortingen: bedrijfssysteem: B=biologische landbouw; E= extensieve gangbare landbouw; G=intensieve gangbare landbouw; trofische groepen, zie bijlage 2. Gestandaardiseerde waarden van de trofische groepen: - = 0; 0 = tussen 0 en 0,1; 1 = tussen 0,1 en 0,2 etc.

Type:	**7**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	
Bedr.Systeem	BE	BBBBE	BBBEEEEBB	EEEGEGG	GGEEGGEGGEGEEGGGG	GGGGEG	EEG	
Bedrijfno.	22	22222	222222112	2222222	22122222222222222	222212	122	
(3 cijfers)	43	03342	344003991	0122022	02912300011013322	113392	911	
	12	99827	703156694	3821435	69526327830010508	691474	875	
Worm	00	32222	232113235	5566799	6231342-22010-000	131113	021	00
Nem hf	93	-4232	596523234	2323750	01010-0----212111	22--21	445	010
Potw	20	89523	122022223	1202032	111101120121001-1	110104	301	010
Bact	11	34215	252665499	3442523	514567444321123-0	351612	612	0110
Nem pf	92	23632	433421446	2232222	01111120332210111	312123	331	0110
Nem bf	45	43233	265376622	8775464	12344422497313446	455533	535	0110
Nem mp	41	13222	443332956	1763271	00113431464222242	223311	242	0110
Mijt pf	96	23322	323123102	0421000	32212200121133410	676101	1-0	0111
Mijt top	0-	-20-0	00-112030	-0--0--	02--0---10-0000--	2-532-	719	1
Mijt bhf	30	11021	010211120	0210123	11232000153445110	397565	893	1
Mijt mp	31	11122	110102022	0311123	5412430116431211-	399477	001	1
Splitsingen	00	00000	000000000	0000000	00000000000000000	111111	111	
	00	00000	000000000	1111111	11111111111111111	000000	111	
	00	11111	111111111	0000000	11111111111111111	000011		
		00000	111111111	0000111	00000000011111111			
		00111	000000011		00111111100111111			
			0000001		0000111 000011			

Bijlage 4 Voedselwebstructuren van twee door TWINSPAN onderscheiden kleinere clusters. De grootte van de cirkel correspondeert met de gemiddelde gestandaardiseerde waarde van de betreffende trofische groep (zie tabel 3). Afkortingen van de trofische groepen zie bijlage 2





Bijlage 5 Vergelijking van 10 biologische melkveehouderijbedrijven op zand in 1999.
TWINSPAN toegepast met vier *cutlevels* en weging (4x voor Bact, Worm), 2x (Nem hf, Nem pf, Nem bf, Nem mp, Potw). Verklaring trofische groepen, zie bijlage 2. Gestandaardiseerde waarden van de trofische groepen: - = 0; 0 = tussen 0 en 0,1; 1 = tussen 0,1 en 0,2 etc.

Type:	**4**	**2**	**3**	**1**	
Bedrijfsno.	22	222	222	12	
(3 cijfers)	44	344	033	91	
	12	703	989	94	
Potw	11	111	434	11	00
Mijt pf	41	111	111	01	00
Mijt bhf	43	011	111	40	010
Mijt mp	43	221	122	33	010
Nem hf	41	343	-12	12	011
Nem pf	41	212	132	23	011
Nem bf	32	244	312	22	011
Nem mp	31	333	123	44	10
Worm	12	232	322	34	10
Bact	00	121	112	44	11
Mijt top	1-	00-	-03	40	11
Splitsingen	00	000	000	11	
	00	111	111		
		000	111		

Bedrijven (met nummer) in typen:

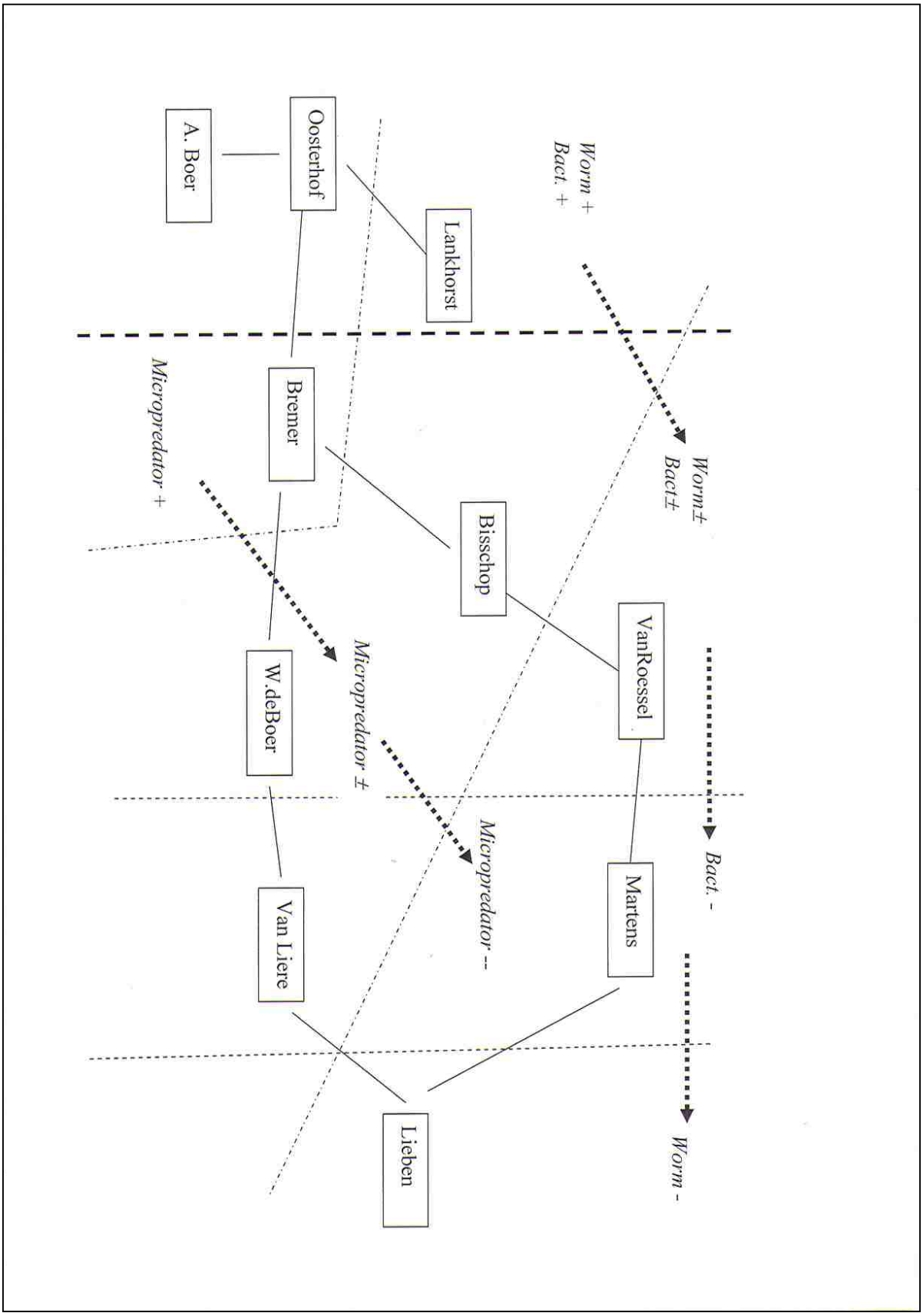
1.
Oosterhof 214
A Boer 199

2.
Bisschop 237
Lankhorst 240
Martens 243

3.
Van de Breemer 239
W de Boer 238
Van Roessel 209

4.
Lieben 241
Van Liere 242

Bijlage 6 Visuele rangschikking van voedselwebstructuren op 10 biologische melkveehouderijbedrijven op zand in 1999



Bijlage 7 TWINSPAN tabel van deelstudie vergelijking veebedrijven (1999) en akkerbouwbedrijven (2001). Verklaring afkortingen: bedrijfstype, g=grasland, a=akkerbouw; bedrijfssysteem: G=gangbare landbouw, B=biologische landbouw; trofische groepen, zie bijlage 2. Gestandaardiseerde waarden van de trofische groepen: - = 0; 0 = tussen 0 en 0,1; 1 = tussen 0,1 en 0,2 etc.

Type:	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	
Bedr.type	ggggggggggg	ggggggggggg	aaggaa	gaggagaaa	aaaaaaaaaa	aaaaa	
Bedr.systeem	GGGGGGBBBGG	BBGGGBBBBGGB	BGGGGG	GGGGBGBGG	BGGGGGGGGG	GGGGG	
Bedrijfsno.	12222212222	221222222222	331233	231232333	3333333333	33333	
(3 cijfers)	91120391400	349020334014	519102	119043512	4000110112	11001	
	63825694034	828279973171	115220	197092031	4693285572	06784	
Potw	21202223210	523138912002	101100	000110001	0001000000	00100	00
Worm	23781447579	330334332121	344112	00111000-	0-0---00--	00---	00
Bact	43446599535	216453422611	224532	111111110	1231110110	62123	01
Nem pf	43232146322	633222343439	011111	102222111	1000000000	11000	01
Nem mp	96763256412	222321343344	101100	231211001	111100--01	0-111	01
Nem hf	2-322334927	23402-456549	220121	122253433	1110000323	9417-	1
Nem bf	46555411453	123123214223	002333	112223123	1323022323	45995	1
Splitsingen	00000000000	000000000000	111111	111111111	1111111111	11111	
	00000000000	111111111111	000000	000000000	0000000000	11111	
	00000000111	000000011111	000000	111111111	1111111111	00111	
	00000011	000001100001	001111	000000000	1111111111		
	011111	01111		001111111	0000001111		
	00011			00011110	00111		

Bijlage 8 TWINSPAN tabel van deelstudie vergelijking gangbare veebedrijven op klei (1997) en zand (1999). Verklaring afkortingen: grondsoort: K=klei, Z=zand; trofische groepen, zie bijlage 2. Gestandaardiseerde waarden van de trofische groepen: - = 0; 0 = tussen 0 en 0,1; 1 = tussen 0,1 en 0,2 etc.

Type:	**1**	**2**	**3**	**4**	
	KKKKKKKKKKKZ	KKKKKKKZ	KZZZZZZZZZZKZZZ	ZZZZZ	
	111111111112	11111111	11212222221222	22212	
	575666667570	56655669	59190301236001	01291	
	603062392814	54549178	75170252768127	38263	
Nem hf	963213-23333	21112012	00011110120302	1111-	00
Potw	129263442200	11022102	00000011210000	01010	00
Worm	38893464-526	33620120	22001010232121	44512	00
Bact	251035211513	55409764	03101043433421	22332	01
Nem pf	465429879324	73455365	22133331326745	34566	01
Nem bf	452525933234	13014235	13133574362323	77769	1
Nem mp	--1001-1-2-2	0000-0-2	-1212131220334	17696	1
Splitsingen	000000000000	00000000	11111111111111	11111	
	000000000000	11111111	00000000000000	11111	
	001111111111	00011111	00000000001111	00011	
	0001111111	00001	0000001111		
	0000111		000111		