



Briefrapport 607604010/2008

A. van der Wal | N. van Eekeren | M. Rutgers

# Een verkennende literatuurstudie over het effect van bodembeheer op ecosysteemdiensten

RIVM Briefrapport 607604010/2008

## **Een verkennende literatuurstudie over het effect van bodembeheer op ecosysteemdiensten**

Annemieke van der Wal, RIVM, Bilthoven  
Nick van Eekeren, LBI, Driebergen  
Michiel Rutgers, RIVM, Bilthoven

Contact:  
Annemieke van der Wal  
Laboratorium voor Ecologische Risicobeoordeling  
annemieke.van.der.wal@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directie Bodem, Water en Landelijk Gebied, in het kader van het RIVM-project M/607604, Bodemecosystemen : monitoring, databeheer en integratie.

© RIVM 2008

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

## Rapport in het kort

### **Een verkennende literatuurstudie over het effect van bodembeheer op ecosysteemdiensten**

In dit rapport wordt het effect van verschillende bodembeheersmaatregelen in de melkveehouderij en de akkerbouw op ecologische processen, die van nut zijn voor de mens, beschreven. Deze processen worden ‘ecosysteemdiensten’ genoemd; voorbeelden hiervan zijn nutriëntenlevering en afbraak van organisch materiaal. Om een koppeling tussen bodembeheer op ecosysteemdiensten te kunnen maken, wordt eerst het effect van bodembeheer op het bodemleven besproken. Er werd voor dit rapport gebruik gemaakt van resultaten van voornamelijk veldproeven in Nederland.

Bodembeheersmaatregelen die positief bijdragen aan ecosysteemdiensten in de melkveehouderij zijn: permanent grasland, het voorkomen van frequente bodemverdichting en het gebruik van organische mest. Het gebruik van organische mest lijkt ook in de akkerbouw een belangrijke bodembeheersmaatregel te zijn. In Nederland zijn maatregelen in de akkerbouw echter minder intensief onderzocht dan op grasland en hier zou dus nog meer onderzoek aan gedaan moeten worden.

#### Trefwoorden:

ecosysteemdiensten, duurzaam bodemgebruik, grasland, akker, bodemorganismen

# Abstract

## **An exploratory literature study on the effect of soil management on ecosystem services**

This report describes the effect of several management strategies on ecological processes that are useful for men, the so-called 'ecosystem services', such as soil nutrient supply and decomposition of organic material. The effect of soil management on the soil biota is first discussed to elucidate the link between soil management and ecosystem services. Results from mainly Dutch field trials were used.

Important management strategies that contribute to ecosystem services on dairy farms are: permanent grasslands, the prevention of frequent soil compaction and the use of organic manure. On arable soils, the use of organic manure appears to be important too. In the Netherlands management strategies on arable soils were, however, less intensively studied than on grassland soils. More attention should be paid in the future to the effect of management strategies on ecosystem services in arable soils.

Key words:

Ecosystem services, sustainable land use, grassland, agriculture fields, soils organisms

## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Relatie tussen bodemparameters en ecosystemendiensten</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Het effect van bodembeheer op ecosystemendiensten in de melkveehouderij</b>	<b>11</b>
3.1	Rotatie grasland/voedergewas	11
3.2	Leeftijd grasland	12
3.3	Direct inzaaien van maïs in gras in plaats van volledig ploegen	14
3.4	Voorkomen bodemverdichting	15
3.5	Bekalken	17
3.6	Gras/klaver mengsel versus gras	17
3.7	Bemesting	19
3.7.1	Bemestingsniveau	19
3.7.2	Zodebemesting	20
3.7.3	Vaste mest, drijfmest, minerale mest, groenbemesting, geen mest	22
3.7.4	Toevoegmiddelen	26
3.8	Andere mogelijke maatregelen	27
3.8.1	Enten	27
3.8.2	Beluchting	27
<b>4</b>	<b>Het effect van bodembeheer op ecosystemendiensten in de akkerbouw</b>	<b>29</b>
4.1	Rotatie	29
4.2	Intensiteit ploegen	29
4.3	Voorkomen bodemverdichting	30
4.4	Bekalken	30
4.5	Mesttype	31
4.6	Achterlaten gewasresten	32
4.7	Bestrijdingsmiddelen	33
<b>5</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>35</b>
	<b>Referenties</b>	<b>39</b>



# 1 Inleiding

Het beleid van het ministerie van VROM is gericht op duurzaam gebruik van de bodem. Duurzaam bodemgebruik wil zeggen dat het huidige gebruik van de bodem geen beperkingen mag opleggen aan het toekomstige gebruik, of aan het gebruik van de bodem elders (TCB, 2003).

Om te bepalen hoe een bodem duurzaam gebruikt kan worden, zijn eerst de ecologische processen die bijdragen aan het functioneren van de bodem gedefinieerd in het project 'Bodembioologische Indicator' (BoBI, Schouten et al., 1997). Deze processen worden 'regulatiefuncties' genoemd. Voorbeelden zijn: afbraak van organisch materiaal en bodemstructuurvorming. Vervolgens werd bepaald hoe de regulatiefuncties van de bodem gemeten kunnen worden. Dit resulteerde in een biologisch indicatorsysteem voor het meten van de regulatiefuncties (Schouten et al., 1997). Naast het ontwikkelen van een indicator systeem, heeft het BoBI project ook als taak de toestand van de bodem in Nederland in kaart te brengen. In het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) worden bodems met regelmaat geanalyseerd. Met het LMB wordt een dekking bereikt die representatief is voor ongeveer 70% van het oppervlak van de Nederlandse bodem.

De Technische Commissie Bodembescherming (TCB) introduceerde in 2003 de term ecologische diensten (later 'ecosysteemdiensten') om te kunnen werken aan criteria voor gezondheid van bodemecosystemen. Ecosysteemdiensten zijn eigenschappen en/of processen binnen het ecosysteem die van nut zijn voor de mens (Tabel 1). De bovengenoemde regulatiefuncties dragen hierin bij.

In het project 'Referenties voor biologische bodemkwaliteit' (RBB) worden op dit moment referenties van duurzame bodemkwaliteit opgesteld om te kunnen bepalen of de huidige situatie van de bodem voldoet aan de gewenste kwaliteit van de bodem. De gewenste kwaliteit van de bodem wordt bepaald aan de hand van het belang van de verschillende ecosysteemdiensten voor het type bodemgebruik (landbouw, natuur, overige groene functies van de bodem).

Het project BoBI levert de gegevens over de toestand van de bodem. Het project RBB levert de streefwaarde voor bodemkwaliteit en een methodiek om aan te geven welke indicatoren van belang zijn voor ecosysteemdiensten. In het project 'Bodem, Bedrijf en Biodiversiteit' (BBB) werd onderzoek gedaan naar het effect van bodembeheer op de bodemkwaliteit (Koopmans et al., 2006). In dit rapport wordt er, voor zover mogelijk, een koppeling gemaakt tussen het effect van bodembeheer op de ecosysteemdiensten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de resultaten uit het BBB en BoBI project (locatie-specifieke BoBI-data), van gegevens van andere projecten zoals Zorg voor Zand, Koeien en Kansen, VEL-VANLA en van wetenschappelijke literatuur. Deze literatuurstudie is echter verkennend; resultaten van voornamelijk veldproeven in Nederland worden besproken. Een vervolg op deze literatuurstudie zou zich kunnen richten op resultaten van veldproeven die in het buitenland uitgevoerd zijn. Als laatste worden er in dit rapport aanbevelingen gedaan om de koppeling tussen bodembeheer en ecosysteemdiensten duidelijker te maken.



Tabel 1: Ecosysteemdiensten die van belang kunnen zijn voor de kwaliteit van de bodem (TCB, 2003)

<b>Ecosysteemdiensten</b>	
bodemvruchtbaarheid (VROM: productiefunctie)	1. nutriënten retentie en levering 2. bodemstructuur en organische stof 3. ziekten en plaagwering
adaptatie en veerkracht (VROM: weerstand en flexibiliteit)	4. weerstand tegen stress, herstelvermogen 5. vermogen tot omzetting naar ander bodemgebruik (flexibiliteit)
buffer en reactorfuncties (VROM: milieufuncties)	6. fragmentatie en afbraak organisch materiaal 7. zelfreinigend vermogen 8. waterretentie 9. klimaatfuncties (vocht, temperatuur, broeikasgassen)
biodiversiteit	10. habitatfunctie

## 2 Relatie tussen bodemparameters en ecosysteemdiensten

In 2003 is een samenvatting gemaakt van bodembeheersmaatregelen in de melkveehouderij die het bodemleven en hun functies kunnen beïnvloeden (van Eekeren et al., 2003). Er werden in dit rapport 3 functies genoemd: reguleren nutriëntenstroom, bodemstructuur en ziektevering.

In dit rapport wordt de term ‘ecosysteemdiensten’ gebruikt, die naast bovengenoemde 3 functies (diensten) ook andere eigenschappen en/ of processen binnen het ecosysteem omvatten, zoals het zelfreinigende vermogen en klimaatfuncties van de bodem (Tabel 1). Om een koppeling tussen ecosysteemdiensten en bodembeheersmaatregelen te kunnen maken, is het eerst nodig om aan te geven wat het verband is tussen de ecosysteemdiensten en bodemparameters (indicatoren) die van belang zijn voor ecologische processen (Tabel 2). Bodemparameters kunnen bodemorganismen zijn, bijvoorbeeld regenwormen, maar ook abiotische kenmerken, zoals pH of de beschikbare hoeveelheid fosfaat in de bodem. Bodembeheersmaatregelen, zoals het toevoegen van organische mest, kunnen invloed hebben op de bodemparameters. Met behulp van Tabel 2 is dan af te leiden wat het effect van een bodembeheersmaatregel uiteindelijk zal zijn op een ecosysteemdienst. De koppeling tussen deze bodemparameters en bodemprocessen is gebaseerd op de ecologische en bodemkundige kennis van bij het RBB-project betrokken deskundigen (Rutgers et al., 2005).

### *Leeswijzer*

In Hoofdstuk 3 en 4 wordt per bodembeheersmaatregel de invloed op het bodemleven aangegeven in de melkveehouderij en de akkerbouw en dit wordt weer gekoppeld aan ecosysteemdiensten. Aan het einde van elke paragraaf is aangegeven met een plus (+) en min (-) wat het effect is op de bodemparameters en op de ecosysteemdiensten. De tabellen zijn bedoeld om een samenvatting weer te geven van elke alinea. Sommige studies hebben het effect van meerdere bodembeheersmaatregelen op het bodemleven onderzocht, en komen daardoor bij meerdere paragrafen ter sprake. De tabellen in Hoofdstuk 5 vatten de resultaten van Hoofdstuk 3 en 4 samen en geven het effect van bodembeheersmaatregelen op de ecosysteemdiensten aan.

Tabel 2: Relatie tussen ecosysteemdiensten en bodemparameters (gewijzigd op basis van Rutgers et al., 2005).

<b>Ecosysteemdiensten</b>	<b>Bodemparameters</b>
1. nutriënten retentie en levering	- schimmel- en bacteriebiomassa - organisch stofgehalte - potentiële N mineralisatie - C/N ratio organische stof - mycorrhiza schimmels
2. bodemstructuur en organische stof	- biomassa/ aantal regenwormen en potwormen - organisch stofgehalte - schimmel- en bacteriebiomassa - stabiele aggregaten
3. ziekten en plaagwering	- biodiversiteit bodemorganismen - vruchtwisseling - mycorrhiza schimmels - kwantiteit en kwaliteit organische stof
4. weerstand tegen stress, herstelvermogen	- biodiversiteit bodemorganismen - stabiele allometrische relaties - vruchtwisseling - stabiele aggregaten
5. vermogen tot omzetting naar ander bodemgebruik (flexibiliteit)	- biodiversiteit bodemorganismen - vruchtwisseling - wateroplosbaar P
6. fragmentatie en afbraak organisch materiaal	- biomassa/ aantal regenwormen en potwormen - potentiële C mineralisatie - pH - C/N organisch stof - schimmel- en bacteriebiomassa
7. zelfreinigend vermogen	- uitspoeling nutriënten - bacteriebiomassa - potentiële C mineralisatie - bodemrespiratie - microbiële biodiversiteit
8. waterretentie	- waterdoorlatendheid - biomassa/ aantal regenwormen - doorworteling vegetatie - organisch stofgehalte - stabiele aggregaten - bodemstructuur/ kleigehalte
9. klimaatfuncties (vocht, temperatuur, broeikasgassen)	- organisch stofgehalte - potentiële C mineralisatie en bodemrespiratie - waterdoorlatendheid - bulkdichtheid - nitrificatie/ denitrificatie - uitstoot ammoniak
10. habitatfunctie	- biodiversiteit bodemorganismen - kwantiteit/ kwaliteit organische stof - intensiteit grondbewerking - stabiele aggregaten

## 3 Het effect van bodembeheer op ecosysteemdiensten in de melkveehouderij

### 3.1 Rotatie grasland/voedergewas

Scheuren van grasland tot bouwland heeft als voordeel dat de bodem beter doorwortelbaar wordt, stikstof uit klaverblaadjes ter beschikking komt voor het voedergewas en de activiteit van bacteriën stimuleert door een meer homogene verdeling van organische stof in de bodem. Nadeel is dat de biomassa van schimmels, organische stof en het aantal wormen afnemen. Veel bodemorganismen herstellen in rotatie naar gras, maar specifieke groepen, zoals pendelaars (regenwormen die verticaal tunnels graven), omnivore en carnivore nematoden, nemen af in rotatie vergeleken met permanent grasland. Regenwormen hebben een positief effect op de aanvoer van nutriënten doordat ze planten residuen fragmenteren en transporteren. Ook dragen ze bij aan een goede bodemstructuur doordat ze deeltjes mixen en tunnels graven, wat weer bijdraagt aan infiltratie van water. Om de biomassa van regenwormen te herstellen tot het niveau van een permanent grasland, zou de periode met gras in rotatie langer moeten duren. Een gras/klaver mix kan helpen om de regenwormenbiomassa te herstellen. Interacties tussen verschillende functionele groepen van nematoden kunnen een rol spelen in het voedselweb en op de nutriënten flux in de bodem, maar die relaties zijn complex. Complexe interacties tussen verschillende trofische groepen zijn mogelijk nog niet hersteld in rotatie (van Eekeren et al., submitted). Permanent grasland heeft de voorkeur om optimaal gebruik te maken van de ecosysteemdiensten (water infiltratie, nutriënten voorziening, biodiversiteit) van de bodem. De omzetting van grasland naar akker levert op korte termijn nutriënten op, maar op langere termijn neemt de organische stof en functionele groepen die bijdragen aan de bodemstructuur en de veerkracht van de bodem af. Vruchtwisseling (gras/klaver afgewisseld met een voedergewas) heeft als voordeel dat het klavercystenaaltje beheerst kan worden en draagt dus bij aan de functie ziektevering (samengevat in van Eekeren et al., 2003). Dit wil niet zeggen dat ziekten en plagen in het voedergewas zijn uitgesloten; op gescheurd grasland kunnen bepaalde pathogene aaltjes schade geven aan voedergewassen (Smit et al., 2007). Tabel 3.1 geeft een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 3.1: Invloed rotatie grasland/voedergewas op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed rotatie op		ecosysteemdiensten									
bodemparemeter		nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitaatfunctie
beworteling	+	+	+								
activiteit bacteriën	+	+	+				+	+			
schimmelbiomassa	-	-	-				-				
organische stof	-	-	-	-				-	-	-	-
regenwormenbiomassa	-		-				-		-		
complexiteit	-			+/-	-	-					-
nematodengemeenschap											
<b>Synthese</b>		+/-	+/-	+/-	-	-	+/-	+/-	-	-	-
		(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(1)

## 3.2 Leeftijd grasland

De biomassa van schimmels is in oude graslanden (>10 jaar oud) significant hoger dan in jonge graslanden (< 10 jaar oud), terwijl de bacteriebiomassa niet verschilt tussen jonge en oude graslanden (De Vries et al., 2007). Het organische stofgehalte is hoger in oude graslanden, maar de potentiële stikstof mineralisatie is niet verschillend. De verschillen tussen jonge en oude velden kunnen vooral toegeschreven worden aan verschillen in eigenschappen van organische stof. Witte klaver was negatief gecorreleerd met schimmelbiomassa. Dit kan een effect zijn van leeftijd, aangezien er minder witte klaver bedekking is naarmate de graslanden ouder zijn. Anderzijds kan het komen door een lagere C/N ratio van het strooistel van witte klaver, door een hogere exudatie van ammonium, of door minder wortelbiomassa van klaver vergeleken met Engels raaigras. Schimmels in oudere graslanden kunnen langere tijd herstellen van verstoring door ploegen en zaaien, en waarschijnlijk verklaart dit ook voor een deel de hogere schimmelbiomassa in oudere velden.

De leeftijd van graslanden heeft, zoals de vorige beschreven studie ook al suggereerde, effect op het bodemleven. De biomassa van bacteriën en de mineralisatie van stikstof is binnen 5 jaar drie keer zo hoog als in 1 jaar oud grasland (BoBI data, Koeien en Kansen, beschreven in Koopmans et al., 2006). Dit betekent dat er na 5 jaar al een mogelijke bijdrage is aan de ecosysteemdienst nutriënten voorziening. Andere indicatoren zijn echter nog niet beschreven. Interacties tussen bodemfauna en schimmels en bacteriën zijn complex en daarom is het moeilijk te bepalen wat het uiteindelijke effect zal zijn op de ecosysteemdiensten. Bodemfauna (micro-arthropoden en nematoden) kan direct

invloed hebben op de stikstofkringloop door het grazen op schimmels en bacteriën, maar ook indirect door het fragmenteren van organisch materiaal en het verspreiden van microbiële sporen (Bardgett and Cook, 1998). Zelfs interacties binnen trofische groepen hebben invloed op de uitkomst van de netto stikstof mineralisatie (Postma-Blaauw, et al., 2005).

Het omploegen van 50 jaar oud grasland en eenmalige omzetting in bouwland op de Bovenbuurt in Wageningen (Postma-Blaauw et al., in prep.) leidt tot een achteruitgang van het aantal en de diversiteit van nematoden en bacteriën, maar de functionele samenstelling is minder veranderd door de omzetting. Predatore mijten en regenwormen veranderen in functionele samenstelling en diversiteit. Grotere bodemorganismen lijken gevoeliger voor korte termijn veranderingen in het bodemgebruik dan kleinere, door bijvoorbeeld verlies van habitat. Kleinere organismen lijken meer op de lange termijn aangetast te worden, door bijvoorbeeld verlies van organisch materiaal. Dit heeft weer consequenties voor de stikstofmineralisatie. Mineralisatie neemt af na omzetting, maar blijft betrekkelijk hoog door het hoge organische stofgehalte. Dit leidt tot relatief hoge stikstof uitspoeling. Een akker die na 30 jaar wordt omgezet naar permanent grasland geeft na 3 jaar nog weinig verschil in aantal bacteriën, maar wel een verdubbeling van schimmels en N mineralisatie. Ook is er een herstel van de functionele groepen van nematoden en regenwormen richting de compositie in graslanden, maar de samenstelling van predatore mijten is nog steeds verschillend van die van grasland. Het duurt dus langer dan 3 jaar voordat de bacteriële biomassa en bodemfauna weer representatief zijn voor grasland.

Zie Tabel 3.2 voor een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 3.2: Invloed oud grasland op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed oud grasland op bodemparameter		ecosysteemdiensten									
		nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
schimmel-en bacteriebiomassa	+	+	+				+	+	+		
organische stof	+	+	+	+					+	+	+
microbiële diversiteit	+			+	+	+		+			+
diversiteit nematoden	+			+	+	+					+
<b>Synthese</b>		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
		(3)	(3)	(2)	(1)	(1)	(3)	(3)	(3)	(1)	(2)

### 3.3 Direct inzaaien van maïs in gras in plaats van volledig ploegen

Bij het direct inzaaien van maïs in een partnergewas, zoals grasklaver, pure klaver of rogge, wordt slechts een klein deel van de grond bewerkt waarbij maïs in dezelfde werkgang wordt ingezaaid (van Eekeren et al., 2007). Dit heeft als voordeel dat er minder problemen zijn met verlies van stikstof (onderploegen van gras voor inzaaien verhoogt de stikstof mineralisatie) en beschadiging van regenwormen. Het partnergewas concurreert met de maïs om hoofdzakelijk vocht en nutriënten. In de gangbare maïsteelt wordt het partnergewas doodgespoten. In de biologische landbouw kan het afsnijden van de wortels van gras of klaver ervoor zorgen dat het gras gedeeltelijk of in het geval van klaver, helemaal afsterft. Winterrogge is een eenjarig gewas en de groei kan gemakkelijk stopgezet worden door het in de bloei te maaien. Door maaien of snijden kan dus de concurrentie van het partnergewas voor maïs worden verminderd. Bij direct inzaaien is echter wel extra bemesting voor de maïs nodig, omdat er minder stikstof beschikbaar is als het partnergewas nog leeft. Als het partnergewas klaver is, en deze wordt na inzaaien gedood, is een lagere bemesting nodig dan bij een partnergewas als grasklaver of winterrogge. Direct inzaaien onderdrukt de ontwikkeling van onkruiden tussen de maïsrijen, vooral wanneer het partnergewas zo lang mogelijk in leven wordt gehouden.

Het direct inzaaien van maïs heeft een kleiner effect op het bodemleven dan het onderploegen van gras voor het inzaaien van maïs. De stikstofmineralisatie verloopt veel geleidelijker bij direct inzaaien, waardoor de kans op uitspoeling vermindert. Ook is er minder erosie van grond en een betere structuur. Bij traditioneel verbouwde maïs is de kans op waterstagnatie groter. Het aantal regenwormen is hoger in direct ingezaaide grond dan in gespitte grond. Zie tabel 3.3 voor een samenvatting van de resultaten.

Tabel 3.3: Invloed direct inzaaien i.p.v. volledig ploegen op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed direct inzaaien op	ecosysteemdiensten									
<b>bodemparameter</b>	nutriënten	bodemstructuur	plaaigering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
stikstofmineralisatie	-						+			
regenwormen	+	+				+		+		
<b>Synthese</b>	-	+	?	?	?	+	+	+	?	?
	(1)	(1)				(1)	(1)	(1)		

### 3.4 Voorkomen bodemverdichting

Vertrapping en berijden verkleint de macroporiën van de bodem waardoor er minder lucht is voor het bodemleven. Ook de waterinfiltratie neemt af waardoor er meer anaerobe plekken ontstaan. Klaver geeft minder draagkracht dan gras. De manier van berijden, begrazen en de weersomstandigheden tijdens berijden zijn cruciaal om verdichting te voorkomen. Bodemstructuurvormende functies van grasland zijn van groot belang om verdichting te voorkomen, echter, het bodemleven wat hieraan bijdraagt wordt direct negatief beïnvloedt door vertrappings- en rijshade (samengevat in van Eekeren et al., 2003).

In 2005 is op een blijvend grasland met klaver een veldproef (Aver Heino) gedaan waarbij drijfmest werd uitgereden op een bodem die te nat leek voor een verantwoorde drijfmesttoediening (De Boer & van Eekeren, 2005). Twee maal in maart werd 30 ton per ha drijfmest uitgereden met een 25 ton zware, getrokken zodenbemester. Een significant negatief effect van berijden op de droge stof opbrengst is alleen gevonden na de eerste oogst. Geen significante effecten van berijden zijn gevonden op de bodemdichtheid, vochtgehalte, bodemstructuur, aantal wortels, macroporiën, biomassa schimmels en bacteriën, aantal wormen, aantal en soorten nematoden en stikstof mineralisatie. Door berijden nam het celvolume van de bacteriën significant toe. Dit kan wijzen op een lagere predatiedruk door protozoa en nematoden. Opbrengstdaling kwam mogelijk door schade aan de graszode en niet door schade aan de bodemstructuur, aangezien geen schade aan de bodemstructuur werd gevonden.

Het lijkt erop dat eenmalig of tweemaalig berijden geen grote effecten heeft op het bodemleven. In andere studies werd gevonden dat bodemverdichting van bos of landbouw de schimmel-/bacteriebiomassa verhouding en het aantal en de activiteit van regenwormen reduceert (Aritajat et al., 1977; Ponder et al., 2000; Schnurr-Putz, 2006). Shestak en Busse (2005) vonden echter geen effect van verdichting op eigenschappen van micro-organismen (bacterie- en schimmelbiomassa, PLFA, Biolog, respiratie) in bos, klei of zandbodems. Breland en Hansen (1996) vonden een afname van de stikstofmineralisatie in verdichte zandbodem, waarschijnlijk door een toename in de fysische bescherming van organisch materiaal voor micro-organismen. Bovendien nam de grootte van de poriën af die nog toegankelijk zijn voor nematoden, waardoor de stikstof mineralisatie verder afneemt. In een studie in de Wieringermeer werd 1 tot 4 keer per jaar, gedurende 5 jaar, met een landbouwmachine gereden over een tijdelijk grasland (Bouwman & Arts, 2000). De landbouwmachine droeg verschillende gewichten. Een lage verdichting (4.5 t) had een positief effect op de droge stofopbrengst, waarschijnlijk door een beter wortel-bodem contact. Echter, in de meest compacte bodem (gewicht van 14.5 ton) werd er dieper dan 20 cm bijna geen wortels gevonden. Verdichting had een effect op de verdeling van de voedingstypes van nematoden: onder hogere verdichting van de grond werden er meer plantenetende nematoden en minder bacterie-etende, omnivore en predatore nematoden gevonden. De opbouw van het voedselweb leek dus minder stabiel. Het lijkt er dus op dat een hogere bodemverdichting, door bijvoorbeeld frequenter berijden in hetzelfde spoor, een effect heeft op het bodemleven.

Een toename van de veedichtheid verlaagt het organisch materiaal, de diameter van stabiele aggregaten en de hoeveelheid mineraliseerbare stikstof. Het verhoogt de



bulkdichtheid, de pH en het totale gehalte aan stikstof (Dormaar et al., 1990; Dormaar & Willms, 1998). De diversiteit en het aantal Oribatida en Mesostigmata mijten is hoger bij een lage dan bij een hoge begrazing (Clapperton et al., 2002). Het aantal springstaarten en macroporiën neemt af bij een toenemend aantal schapen (10, 20 30 schapen ha<sup>-1</sup>), maar soms wordt het tegenovergestelde gevonden; in zwaar begraasde graslanden neemt het aantal springstaarten toe (samengevat in Bardgett & Cook, 1998). Bacterie-etende nematoden nemen toe in begraasde graslanden. Dit werd toegeschreven aan een toename in aantallen bacteriën in begraasde graslanden. Bovengronds grazen op planten heeft ook effect ondergronds; er is meer allocatie van koolstof van bovengrondse plantendelen naar de wortels. Dit heeft weer een positief effect op de groei van plantenetende nematoden en de microfauna in de rhizosfeer. Meer onderzoek is echter nodig om aan te tonen of dit een algemeen resultaat is (samengevat in Bardgett & Cook, 1998).

Onder toenemende veedichtheid is er een toename van het percentage bacterie-etende nematoden ten opzichte van het percentage schimmel-etende nematoden (Mulder et al., 2005). Dit zou toegeschreven kunnen worden aan veranderingen in het voedselaanbod voor deze nematoden (schimmel- en bacteriebiomassa) onder hogere begrazing. Allometrische relaties in voedselwebben in begraasde graslanden lijken minder stabiel dan in voedselwebben in onbegrasde ecosystemen (graslanden, bossen) (Mulder et al., 2006).

Tabel 3.4 geeft een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 3.4: Invloed voorkomen bodemverdichting op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed voorkomen bodemverdichting op <b>bodemparameter</b>		<b>ecosysteemdiensten</b>									
		nutriënten	bodemstructuur	plaaigwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
macroporiën	+	+	+				+	+	+		
regenwormen	+		+				+	+			
verdeling voedingstypen nematoden	+			+	+	+				+	
stabiele aggregaten	+		+		+			+		+	
organisch materiaal	+	+	+	+				+	+	+	
mineraliseerbaar N	+	+									
bulkdichtheid	-							+	+		
aantal springstaarten	+/-				+/-	+/-				+/-	
diversiteit mijten	+			+	+	+				+	
stabiele allometrische relaties	+				+						
<b>Synthese</b>		+	+	+	+	+/-	+	?	+	+	+
		(4)	(5)	(2)	(8)	(6)	(5)		(6)	(2)	(7)

### 3.5 Bekalken

Bekalken leidt tot een verhoogde pH en activiteit van bacteriën, en leidt daardoor tot een snellere afbraak van organische stof. Mineralisatie van stikstof wordt hierdoor bevorderd. Fosfaat is echter minder beschikbaar voor planten bij een hogere pH. Een hogere pH stimuleert regenwormen. Op korte termijn kan de bodemstructuur dus verbeterd worden, maar op de lange termijn gaat het organische stofgehalte en dus het voedselaanbod voor het bodemleven achteruit. Resultaten zijn gebaseerd op de veldproef ‘Ossekampen’ en de literatuur (samengevat in van Eekeren et al., 2003).

In Hengstven is in 2004 op grasland met drie pH trappen gemeten: pH 4.5 (controle), pH 5.5 en pH 6.0 (Koopmans et al., 2006). Kalk is in 2002 toegevoegd. Er werden geen effecten op het bodemleven gevonden. Mogelijk is de termijn van 2 jaar nog te kort om effecten te meten, aangezien er in de Ossekampen wel effecten op het bodemleven gevonden zijn (van Eekeren et al., 2003).

Tabel 3.5 geeft een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 3.5: Invloed bekalken op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed bekalken op		ecosysteemdiensten									
bodemparameter		nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitaatfunctie
pH	+						+				
activiteit bacteriën	+	+	+				+	+			
beschikbaarheid fosfaat	-					-					
regenwormen	+		+				+		+		
organische stof	-	-	-	-					-	-	-
<b>Synthese</b>		+/-	+/-	-	?	-	+	+	+/-	-	-
		(1)	(2)	(1)		(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(1)

### 3.6 Gras/klaver mengsel versus gras

Klaver kan door symbiose met de bacterie *Rhizobium* in de wortels veel stikstof vastleggen, wat bijdraagt aan de ecosysteemdienst levering van nutriënten. De wortelbiomassa van klaver is echter lager dan die van gras, waardoor de verbetering van de bodemstructuur weer minder is. Dit zou ondervangen kunnen worden door andere

groepen van organismen in het bodemvoedselweb, zoals regenwormen. Regenwormen correleren positief met het aandeel van klaver (samengevat in van Eekeren et al., 2003).

De schimmel- en bacterie biomassa is lager onder een mengsel van gras/klaver dan onder gras (De Vries et al., 2006). Het stikstofgehalte in het gras/klaver mengsel is hoger, wat een verklaring kan zijn voor een lagere schimmelbiomassa in het gras/klaver mengsel aangezien bacteriën een competitief voordeel hebben ten opzichte van schimmels bij een hoog stikstofgehalte. Onder gras is de stikstofuitspoeling lager dan onder het gras/klaver mengsel. Schimmelbiomassa en stikstofuitspoeling zijn negatief gecorreleerd. Dit suggereert dat hoge schimmelbiomassa het risico van stikstofuitspoeling kleiner maakt, maar een complete stikstof balans is nodig om dit te bevestigen. Recent onderzoek heeft aangetoond dat bodems met een hogere schimmelbiomassa inderdaad minder stikstof uitspoelen (De Vries et al., in prep.).

Een gras/klaver mengsel kan een mogelijk positief effect hebben op de plaagwering door een hogere biodiversiteit van planten, maar dit kon echter niet aangetoond worden voor drie bodempathogenen (Hiddink et al., 2005). Een hogere biodiversiteit van planten heeft mogelijk een positief effect op de flexibiliteit van de bodem. De waterdoorlatendheid en stabiele aggregaten kunnen onder klaver verbeteren vergeleken met een monocultuur van gras (Mytton et al., 1993). De afbraak van organisch materiaal van klaver zal waarschijnlijk sneller zijn dan bij gras door een lagere C:N ratio van het organisch materiaal van klaver. Het effect van klaver op de koolstofopslag is mogelijk negatief: bij een verhoogd CO<sub>2</sub> gehalte wordt er meer stikstof opgeslagen in de wortelknobbeltjes, en dit kan er voor zorgen dat het organisch materiaal zelfs sneller wordt afgebroken dan bij planten die geen stikstof vastleggen (Sousanna & Hertwig, 1996).

Tabel 3.6 geeft een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 3.6: Invloed gras/klaver mengsel op bodemleven en ecosystemendiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosystemendiensten.

invloed klaver op		ecosysteemdiensten									
bodemparemeter		nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
<i>Rhizobium</i>	+	+					+			-	
beworteling	-		-						-		
regenwormen	+		+				+		+		
schimmelbiomassa	-	-	-				-				
plantendiversiteit	+			+	+	+					+
waterdoorlatendheid	+								+		
stabiele aggregaten	+		+		+				+		+
<b>Synthese</b>		+/-	+/-	+	+	+	+/-	?	+/-	-	+
		(5)	(5)	(1)	(2)	(1)	(3)		(5)	(1)	(2)

## 3.7 Bemesting

### 3.7.1 Bemestingsniveau

Bij een hoger bemestingsniveau neemt de schimmelbiomassa, de kolonisatie van mycorrhiza schimmels en de beworteling af. Dit heeft een negatief effect op de bodemstructuur en de afbraak van organisch materiaal. De activiteit van bacteriën, aantallen protozoa en bacterie-etende nematoden neemt echter toe, wat weer een positief effect heeft op de mineralisatie van nutriënten. Uiteindelijk kunnen de negatieve en positieve effecten van een hoog bemestingniveau op de bodemstructuur en op de levering van nutriënten elkaar opheffen, alleen het negatieve effect van een slechte beworteling op de opname van water door planten lijkt niet te worden gecompenseerd. Een ander nadeel is dat alleen bacteriën nog de functie 'bodemstructuur' vervullen en de nutriëntenkringloop niet meer efficiënt verloopt door het wegvalen van schimmels. Hierdoor wordt de afhankelijkheid van bemesting weer groter. Ziekten en plaagwering staan bij een hoog bemestingsniveau mogelijk onder druk omdat een functionele groep in het voedselweb wegvalt ( de schimmels en dus ook mycorrhiza), wat ook de stabiliteit en veerkracht van de bodem negatief beïnvloedt. Ook het zelfreinigend vermogen kan negatief beïnvloedt worden als de biodiversiteit afneemt. Deze resultaten zijn gehaald uit gegevens van het BoBI project en van proefvelden van bedrijven in het gebied van de milieucoöperaties Vereniging Eastermars Lânsdouwe (VEL) en Vereniging Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer Achtkarspelen (VANLA) (samengevat in van Eekeren et al., 2003).

In Gent zijn in 2004 tijdelijk grasland en blijvend grasland bemonsterd (BBB project). Binnen deze graslanden werden twee bemestingsniveaus bemonsterd, 0 kg N/ha en 300 kg N/ ha. In blijvend grasland waren de aantallen pendelende regenwormen, bacterie-etende en predatore nematoden hoger en de aantallen bodembewonende regenwormen en plantenetende nematoden lager dan in tijdelijk grasland. Uitsplitsing naar bemestingsniveaus leverden bij deze velden echter geen significante verschillen op (Koopmans et al., 2006).

De schimmel/bacterie verhouding neemt af met een toename van het stikstofniveau in zandgronden met zowel gras als in zandgronden met een mengsel van gras/klaver (De Vries et al., 2006). Een afname in de schimmel/bacterie verhouding kan een mogelijk negatief effect hebben op de stikstofkringloop en kan een verhoogde kans op uitspoeling betekenen.

In een andere studie van De Vries et al. (2007) had een toename van stikstofbemesting een negatief effect op de schimmel- en bacterie biomassa, maar de verhouding tussen schimmelbiomassa en bacteriebiomassa werd niet beïnvloedt. Stikstof kan indirect schimmels negatief beïnvloeden door veranderingen in de samenstelling van de plantengemeenschap of door veranderingen in de samenstelling van wortellexudaten. Stikstof kan ook de activiteit van extracellulaire enzymen van schimmels remmen en zo hun groei negatief beïnvloeden. De bacteriebiomassa nam waarschijnlijk af bij een hogere stikstofbemesting omdat meer stikstof werd toegediend aan velden met een lager organisch stofgehalte.

In veldproeven in de Noordelijke Friese Wouden (VEL/VANLA) nam het aantal regenwormen en het aantal nematoden welke indicatief zijn voor latere successiestadia (stabielere ecosystemen) significant af bij toenemende N bemesting (0, 76, 182, 258 kg N<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>). Bij de laagste concentratie N bestond de gift uit alleen drijfmest, bij hogere concentraties N uit drijfmest + anorganische stikstof (De Goede et al., 2003). De aantallen potwormen namen juist toe bij toenemende concentratie aan anorganisch stikstof, mogelijk door de negatieve correlatie tussen aantallen regenwormen en potwormen. Een toename van stikstofbemesting leidde hier, op basis van de nematodensamenstelling, tot een bodemsysteem wat minder stabiel lijkt.

Op de proefhoeve in Melle (Universiteit Gent) is in 1997 een proef aangelegd met maïs waarbij het effect van verschillende niveaus van N-bemesting (minerale mest: 0, 100 en 200 kg N/ha) op het bodemleven is onderzocht (Koopmans et al., 2006). Het verschil in bemestingsniveau bij gebruik van minerale mest gaf in 2005 geen significante verschillen in bodemleven.

Tabel 3.7.1 geeft een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 3.7.1: Invloed hoog bemestingsniveau op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed hoog bemestingsniveau op <b>bodemparameter</b>	<b>ecosysteemdiensten</b>									
	nutriënten	bodemstructuur	plaaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
schimmelbiomassa	-	-	-			-	-	-		
beworteling	-	-	-					-		
activiteit bacteriën, nematoden	+	+				+				
mycorrhiza	-	-	-	-	-		-			-
nematoden indicatief voor later successiestadium	-			-	-					
kwaliteit organisch stof	+	+	-							
<b>Synthese</b>	+/- (6)	- (3)	- (2)	- (2)	- (2)	+/- (3)	- (3)	- (3)	? (1)	- (1)

### 3.7.2 Zodebemesting

Zodebemesting (4-8 cm diep) leidt tot een verhoogd voedselaanbod voor bodemleven omdat de ammoniakemissie lager is dan bij bovengronds uitrijden. Regenwormen die in de bovenste laag van de bodem leven nemen af in aantal, terwijl de pendelaars (regenwormen die verticale gangen graven) toenemen. Dit kan bijdragen aan de

bodemstructuurvorming. Andere effecten zijn nog niet duidelijk. Deze resultaten zijn gehaald uit gegevens van het VEL/VANLA project (samengevat in van Eekeren et al., 2003).

Zodebemesting zorgt er voor dat er meer direct contact is tussen het bodemleven en de mest dan bij bovengronds uitrijden. Dit zou bacteriën ten opzichte van schimmels kunnen stimuleren, wat een negatieve invloed zou kunnen hebben op de weerstand en flexibiliteit van het systeem. Bovendien kunnen de stabiele bodemaggregaten afnemen bij meer grondbewerking. Zodebemesting zorgt er waarschijnlijk voor dat de mest snel wordt opgenomen, en bevordert dus zo de afbraak van organisch materiaal. Dit kan er echter wel voor zorgen dat het zelfreinigend vermogen, waterretentie, en de opslag van koolstof mogelijk negatief beïnvloedt worden. Bepaalde groepen bodemorganismen (regenwormen, schimmels) worden negatief beïnvloedt door de snijdende werking van de machine en het directe contact tussen de bodem en het substraat, en dit kan een negatief effect hebben op de habitatfunctie van de bodem.

Het effect van injectie van drijfmest versus bovengronds opbrengen van drijfmest aan de oppervlakte is onderzocht in de Noordelijke Friese Wouden (De Goede et al., 2003). Injectie heeft een negatief effect op regenwormen die in de strooisellaag leven. Uitgerekend is dat injectoren die 20 cm uit elkaar staan 15-30% van de regenwormen die 5 cm of langer zijn, beschadigen. Injectie zorgt er wel voor dat de bodembewonende regenwormen (endogeic) toenemen. Zij kunnen ontsnappen aan de injectoren en mogelijk zelfs profiteren van de ingebrachte mest. Potwormen ondervinden geen negatief effect van injectie. Nematoden die indicatief zijn voor nutriëntenrijke omstandigheden nemen toe bij injectie. In een veldproef werd hetzelfde ook aangetoond. Drijfmest toevoegen aan de oppervlakte van velden die normaal geïnjecteerd worden, heeft geen significant effect op de aantallen regenwormen. Bodemademhaling wordt positief beïnvloed door het aanbrengen van mest aan de oppervlakte.

Tabel 3.7.2 geeft een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 3.7.2: Invloed zodenbemesting op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed zodenbemesting op bodemparameter	ecosysteemdiensten									
	nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
ammoniakemissie	-								+	
activiteit bacteriën	+	+		-	-	+				
stabiele aggregaten	-	-		-				-		-
regenwormen	+/-	+/-								
schimmels	-	-				-				-
bodemrespiratie	+						-		+	
<b>Synthese</b>	+/- (1)	+/- (1)	? (1)	- (1)	- (1)	+/- (1)	- (1)	- (1)	+ (1)	- (1)

### 3.7.3 Vaste mest, drijfmest, minerale mest, groenbemesting, geen mest

Vaste mest heeft een positief effect op het aantal pendelaars, wat bijdraagt aan de functie bodemstructuur. Het aantal protozoa en nematoden, de actieve schimmelbiomassa en het organisch stofgehalte is hoger bij vaste mest dan bij drijfmest. Het voedselaanbod lijkt dus hoger bij vaste mest. Dit draagt bij aan een hogere nutriëntenlevering, betere capaciteit van de bodem om water en warmte vast te houden. Meer organische stof in de bodem levert meer niches voor het bodemleven. Een proefveld op Aver Heino leverde deze gegevens (samengevat in van Eekeren et al., 2003).

Het effect van stalmest (C/N 12.3), drijfmest (C/N 6.8) en geen mest op schimmel/bacterie verhoudingen is onderzocht op gras en een mengsel van gras/klaver op Aver Heino (De Vries et al., 2006). Een hoge schimmel/bacterie verhouding wordt vaak gerelateerd aan een meer duurzaam bodemsysteem omdat verondersteld wordt dat in een schimmel-gedomineerd voedselweb een lagere kans is op uitspoeling van stikstof. De schimmel/bacterie verhouding in de bodem bij gebruik van verschillende mesttypes verschilden niet, mogelijk omdat de C/N verhoudingen van beide mesttypes te laag waren om schimmels te stimuleren. Stalmest werd oppervlakkig aangebracht en drijfmest werd geïnjecteerd. Blijkbaar had injectie geen direct negatief effect op schimmelhyfen. Daarnaast duurt het decennia voordat mest effect heeft op de kwaliteit van het organische materiaal, terwijl deze proef pas 3 jaar liep.

Het effect van runderdrijfmest, vaste geitenmest en groencompost in grasland op zand (Verhoeven 2004) is onderzocht tijdens het BBB project (Koopmans et al., 2006). Vaste mest had een positieve invloed op de activiteit van bacteriën, maar een negatieve invloed op de regenwormenbiomassa. Toevoeging van compost verhoogde het organische stofgehalte en de wortelbiomassa. De behandelingen waren echter maar in 2 herhalingen uitgevoerd en gedurende 4 jaar, waardoor de effecten nog moeilijk te bepalen zijn.

Het jaarlijks toedienen (voor 23 jaar) van vaste mest of geen bemesting resulteerde in 29% hogere aantallen en 18% meer biomassa van regenwormen dan wanneer drijfmest was toegevoegd aan semi-natuurlijke graslanden in Hempensmeer (Timmerman et al., 2006). Deze maatregelen kunnen dus bijdragen aan de bodemstructuur en fragmentatie van organisch materiaal.

Het effect van mestsamenstelling (relatieve gehalten van stikstof, kalium, fosfaat en verschillende typen organische stof) op Engels raaigras (*Lolium perenne*) (opbrengst, N-gehalte, wortelbiomassa) en op het bodemleven (bacteriën, schimmels en nematoden) is onderzocht in potproeven met zand met een laag organisch stofgehalte (VEL/VANLA bedrijf) en een hoog organisch stofgehalte (Bioveembedrijf) (van Eekeren et al., 2006). Behandelingen waren drijfmest, minerale mest en geen mest. Zestien verschillende mestpartijen werden gebruikt; zij varieerden in concentraties minerale stikstof, organisch gebonden stikstof en werkzame stikstof. Aan iedere pot werd eenzelfde hoeveelheid stikstof toegevoegd (1,2 g N/pot, equivalent van 170 kg N/ha). Geen bemesting gaf in alle gevallen de laagste droge stof opbrengst. Bij de laatste oogst, 1 jaar na inzetten, gaf minerale mest in beide bodems de hoogste droge stof opbrengst, gevolgd door drijfmest. De wortelbiomassa was even groot bij minerale mest en bij drijfmest toediening. Wortelbiomassa bij geen bemesting was de helft van de wortelbiomassa bij drijfmest en bij minerale mest. Bemesting stimuleert dus, bij deze concentraties aan nutriënten, de bodemstructuur. Drijfmest verhoogde het organische stofgehalte, maar minerale mest niet. De bijdrage van organische mest aan de bodemstructuur zal dus het beste zijn. De pH steeg het meeste bij de drijfmest behandeling. Minerale mest stimuleerde het aantal plantenetende nematoden, drijfmest stimuleerde het aantal carnivoren en bacterie-etende nematoden. Geen bemesting gaf de hoogste Maturity Index, een geïntegreerde maat voor de nematodenbiodiversiteit in de bodem, gevolgd door drijfmest. De Maturity Index was het laagste bij minerale mest. Een toename van organisch gebonden N correleerde positief met het aantal bacterie-etende nematoden. Predatore nematoden correleerde negatief met de hoeveelheid werkzame stikstof. Drie type bemesting konden worden onderscheiden: 1) geen bemesting of mestgift met kleine hoeveelheid organische stof 2) mestgift met veel werkzame stikstof (minerale mest) en lage organische stikstofinput 3) mestgift met hoge organische stof input. De bijbehorende voedselwebstructuren waren 1) hoge dichtheid schimmels en bacteriën 2) hoge dichtheid plantenetende nematoden en lage dichtheid overige (nematoden, schimmels, bacteriën) trofische groepen 3) hoge aantallen predatore nematoden (kan een indicator zijn voor een meer stabiel voedselweb) en een dominantie van schimmels of van bacteriën.

Het organische stofgehalte van grasland op zand nam, in vergelijking tot geen bemesting, toe bij toediening van runderdrijfmest, stalmest, humest (bermmaaisel gecomposteerd met drijfmest) en kunstmest (De Boer et al., 2007). Het gehalte aan stikstof in de bodem nam af bij alle behandelingen, behalve bij humest. De stikstof in humest en stalmest gaf geen nalevering in volgende jaren, dus waarschijnlijk was dit de stikstof die moeilijk afbreekbaar is. De pH van de bodem daalde bij toevoeging van kunstmest, maar niet bij toevoeging van organische mest. Dit betekent dat organisch mest de bodem dus beter buffert. Kunstmest stimuleerde het aantal plantenetende nematoden. Dit komt waarschijnlijk doordat kunstmest een direct effect heeft op de wortelgroei van planten.



Potwormen, bacterie-etende nematoden en bacteriële activiteit waren hoger bij toediening van organische mest dan bij geen bemesting of bemesting met kunstmest.

Het effect op bodemleven van mesttype (drijfmest, stalmest, geen mest) is getest op een veldproef (Berkendijkproef) met continue teelt van maïs op Aver Heino in 2004 (van Schooten et al., 2006). De koolstofmineralisatie in de behandeling met stalmest was hoger dan die vergeleken met drijfmest. Verder werden er in deze veldproef geen verschillen gevonden tussen het effect van drijfmest en stalmest op bodembioologische activiteit.

In dezelfde veldproef (Berkendijkproef) was het effect op bodemleven van winterbeheer getest (van Schooten et al., 2006). Behandelingen waren winterbraak of nazaai met groenbemester (rogge). Er was geen effect van winterbeheer op het organische stofgehalte. De aanvoer van organische stof door mest was duidelijk hoger dan de aanvoer uit groenbemesters. Veldjes die in de winter braak lagen, hadden een lager vochtgehalte dan veldjes met de groenbemester. Winterbeheer met rogge had een positief effect op de koolstofmineralisatie. Het effect van een groenbemester op de droge stofopbrengst kon alleen worden aangetoond bij de behandeling waarop in het verleden geen mest was toegediend. Groenbemesters kunnen dus het vocht beter vasthouden, maar hadden in deze proef weinig invloed op de bodembioologische activiteit.

Er bleken weinig verschillen in het aantal regenwormen tussen kunstmest, stalmest, drijfmest en geen mest op veldproef De Marke (van Eekeren et al., 2007). Mineralisatie van stikstof was het hoogste in de stalmest en drijfmest behandeling.

De grootste verschillen tussen mesttypes worden gevonden tussen organische mest (drijfmest, compost) en minerale mest. De verschillen binnen organische mest op het bodemleven zijn klein en daarom worden in Tabel 3.7.3 alleen de verschillen tussen organische en minerale mest weergegeven.

Tabel 3.7.3: Invloed mesttype op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed organische mest op		ecosysteemdiensten									
bodemparameter		nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitaatfunctie
mineralisatie stikstof	+	+									
regenwormen/potwormen	+		+				+		+		
organische stof	+	+	+	+					+	+	+
predatore nematoden	+			+							
activiteit bacteriën	+	+					+	+			
<b>Synthese</b>		+	+	+	+	?	+	+	+	+	+
		(4)	(3)	(3)	(1)		(3)	(1)	(3)	(3)	(3)
invloed minerale mest op		ecosysteemdiensten									
bodemparameter		nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitaatfunctie
Maturity Index nematoden	-			-	-	-					-
schimmel-en bacteriebiomassa	-	-	-				-	-			
<b>Synthese</b>		-	-	-	-	-	-	-	?	?	-
		(1)	(1)	(4)	(4)	(4)	(1)	(1)			(4)
invloed groenbemesting op		ecosysteemdiensten									
bodemparameter		nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitaatfunctie
vochtgehalte	+		+			+			+	+	
koolstofmineralisatie	+						+	+		-	
<b>Synthese</b>		?	+	?	?	+	+	+	+	+/-	?
			(1)			(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	

### 3.7.4 Toevoegmiddelen

In 2004 en 2005 is het bedrijf van Boer Spruit systematisch op vele milieuaspecten doorgemeten (Sonneveld & Bouma, 2005). Boer Spruit voegt Fysische Ionen Regulator (FIR) aan het voer van de koeien toe. De mest wordt bovendien bovengronds aangebracht in plaats van in de grond wat wettelijk verplicht is om de ammoniakemissie te reduceren. De fabrikant van FIR claimt dat dit product invloed heeft op het verteringsproces in de koe en op de samenstelling van de geproduceerde mest. De mest zou minder ammonium bevatten en een gunstiger microbiële samenstelling hebben. In 2004 is een bodembioologische inventarisatie uitgevoerd volgens de systematiek van BoBI en zijn de waarden vergeleken met 6 andere melkveehouderijbedrijven op veengrond (Schouten et al., 2005). De aantallen en diversiteit van micro-arthropoden waren hoger dan het gemiddelde van de bedrijven. Er werd bovendien een nieuwe mijtensort gevonden. Daarnaast was er een hoog aandeel van thelytoke micro-arthropoden (thelytook = ongeslachtelijke voortplanting, een strategie die alleen toegepast kan worden in een stabiele omgeving) en was er een hoog percentage aan fungivore grazers. Dit zijn kenmerken van een extensief management. Ook was het organische stofgehalte, de diversiteit van regenwormen en potwormen relatief veel hoger dan in de andere bedrijven. Het aantal regenwormen en potwormen was juist weer lager, en dat kan veroorzaakt zijn door het vroege tijdstip van monsternamen in het jaar. De natuurlijke variatie in dichtheid is groter dan die in diversiteit, dus diversiteit is eigenlijk een betere indicator voor de beoordeling van bodemkwaliteit. Er is echter geen meting geweest op het bedrijf van Boer Spruit voordat hij FIR ging gebruiken, dus de resultaten zijn moeilijk te interpreteren.

Het effect van de toevoegmiddelen Euromestmix (MX) en Effectieve Micro-organismen (EM) aan drijfmest op het bodemleven, is onderzocht in de Noordelijke Friese Wouden op bedrijfsniveau en in veldproeven (VEL/VANLA, De Goede et al., 2003). Euromestmix bevat kleimineralen (bentonite) en wordt toegevoegd aan de mest. Dit zou toxische stoffen kunnen binden en stikstofionen in de mest minder reactief maken, wat weer zou leiden tot minder ammoniak uitstoot. Bovendien wordt de mest niet geïnjecteerd, maar aan de oppervlakte aangebracht. Dit zou minder schadelijk zijn voor het bodemleven. EM bevat melkzuurbacteriën, cyanobacteriën, actinomycetes, gist en andere micro-organismen en dit zou moeten leiden tot een verhoogde microbiële diversiteit. EM wordt aan de oppervlakte van de bodem aangebracht. Op bedrijfsniveau had drijfmest met MX een negatief effect op aantallen regenwormen, maar een positief effect op strooiselbewoners. Ook waren de potwormen in de bovenste 15 cm significant hoger dan in de andere behandelingen. Aantallen van nematoden die indicatief zijn voor nutriëntenrijke omstandigheden namen af vergeleken met de controle (alleen drijfmest die geïnjecteerd is). Drijfmest met EM had een intermediair effect op de regenwormen, tussen drijfmest met MX en controle in. Een effect van EM op potwormen was niet gevonden. In de veldproef resulteerde drijfmest met MX in een hogere stikstof mineralisatie door regenwormen dan in drijfmest zonder MX. Het had ook een positief effect op schimmelende nematoden. Drijfmest met MX en drijfmest met EM hadden een positief effect op aantallen regenwormen. EM had een positief effect op nematoden die indicatief zijn voor nutriëntenrijke omstandigheden. Het effect van EM op regenwormen en nematoden is niet eenvoudig te verklaren aangezien de bacteriegemeenschap in de bodem niet veranderd leek door toevoeging van EM.

Het toevoegen van Effectieve Micro-organismen (EM) aan drijfmest had geen effect op plantengroei, stikstofopname, afbraak van organisch materiaal en ook niet op de bacteriegemeenschap in een potexperiment (van Vliet et al., 2006). Dit is ook niet verbazingwekkend aangezien het aantal bacteriën in het toevoegmiddel zeer laag is vergeleken met het aantal bacteriën in de mest. Bovendien zijn de bacteriën in de mest aangepast aan condities in de mest, terwijl de bacteriën in het toevoegmiddel dat niet zijn. Het toevoegen van Agri-mest, een middel waarvan gezegd wordt dat het mineralen bevat die biochemische processen beïnvloeden, aan gras in een potexperiment zorgde ervoor dat het gras minder stikstof opnam. Dit zou kunnen komen doordat de mineralen stikstof binden en daardoor minder beschikbaar maken voor plantopname.

Het effect van EM en MX is niet opgenomen in een tabel omdat de effecten op het bodemleven niet eenduidig en moeilijk te verklaren zijn.

## 3.8 Andere mogelijke maatregelen

### 3.8.1 Enten

Enten van een specifiek bodemorganisme aan grasland kan in theorie zinvol zijn. De bacterie *Rhizobium* kan bijvoorbeeld bijdragen aan stikstofbinding; mycorrhiza schimmels kunnen bijdragen aan opname van water en nutriënten; de schimmel *Trichoderma* en de bacterie *Pseudomonas* kunnen bijdragen aan ziektevering tegen kiemschimmels (samengevat in van Eekeren et al., 2003). De condities moeten zo gekozen worden dat het inoculum een kans heeft om te kunnen overleven. In de praktijk is het concurrentievoordeel van autochtone organismen vaak groter.

### 3.8.2 Beluchting

Op een verdichte graszode is in april 2007 met beluchtingmachines de bodem belucht (Folder Melk & Mineralen, 2007). Het doel was om de verdichting op te heffen en de beworteling van gras te stimuleren, zonder dat er weer geploegd hoeft te worden voor herinzaai. De bovengrondse organische stof productie is lager met beluchting, maar de bodemstructuur en beworteling is verbeterd. Effecten op bodemleven zijn niet gemeten.



## 4 Het effect van bodembeheer op ecosysteemdiensten in de akkerbouw

### 4.1 Rotatie

In een veldpoef in Bennekom bleek dat veldjes met een permanente graslandhistorie (50 jaar) ziektewerender waren ten aanzien van *Rhizoctonia solani* (lakschrurft, een groot probleem in de aardappelenteelt) dan veldjes met een langdurige akkerbouwrotatie (20 jaar). Een hoger ziektewerend vermogen in de bodem werd in verband gebracht met een verhoogde microbiële biodiversiteit (Garbeva et al., 2006; Tabel 4.1).

In het algemeen wordt gesteld dat een ruime rotatie van gewassen noodzakelijk is om schade door bodempathogenen te voorkomen. Echter, in specifieke gevallen kan er ziektewering worden opgebouwd door continu hetzelfde gewas te telen, bijv. ziektewering van *Rhizoctonia* ('take-all decline') bij continue teelt van tarwe (samengevat in Postma et al., 2004).

Tabel 4.1: Invloed rotatie op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed ruime rotatie op		ecosysteemdiensten									
bodemparameter		nutriënten	bodemstructuur	plagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitaatfunctie
microbiële biodiversiteit	+	?	?	+	+	+	?	+	?	?	+
<b>Synthese</b>		?	?	+	+	+	?	+	?	?	+
				(1)	(1)	(1)		(1)			(1)

### 4.2 Intensiteit ploegen

De intensiteit van ploegen is positief gecorreleerd met emissie van CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O en negatief gecorreleerd met organisch koolstof in de bodem (Kessavalou et al., 1998). Minder ploegen draagt dus bij aan de klimaatfuncties van de bodem. Regenwormen, mijten en springstaarten nemen af in aantal onder gangbare grondbewerking vergeleken met geen grondbewerking (House et al., 1985). Ook komen er relatief meer schimmels dan

bacteriën voor bij minimale grondbewerking (Zwart et al., 1994). Zie Tabel 4.2 voor een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 4.2: Invloed ploegen op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed ploegen op		ecosysteemdiensten									
bodemparemeter		nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitaatfunctie
emissie CO <sub>2</sub> en N <sub>2</sub> O	+						+	+		-	
organische koolstof	-	-	-	-					-	-	-
aantal regenwormen	-		-				-		-		
aantal mijten	-				-	-					-
aantal springstaarten	-				-	-					-
schimmelbiomassa	-	-	-				-				
<b>Synthese</b>		-	-	-	-	-	+/-	+	-	-	-
		(2)	(3)	(1)	(1)	(1)	(3)	(1)	(2)	(1)	(2)

### 4.3 Voorkomen bodemverdichting

Het effect van bodemverdichting op bodemorganismen is in de akkerbouw in Nederland niet zo uitgebreid onderzocht als in de melkveehouderij, maar waarschijnlijk zijn de effecten hetzelfde (zie tabel 3.4).

### 4.4 Bekalken

In de Bovenbuurt in Wageningen is een veldproef op zand opgezet in 1982. Een driejarige vruchtwisseling met aardappels, maïs en haver werd toegepast. Het veld werd behandeld met kalk of sulfur om pH 6.1, 5.4, 4.7 en 4.0 te verkrijgen. De schimmel-bacterie biomassaverhouding nam af bij toenemende pH (Tobor-Kaplon, 2006; Tabel 4.4). Schimmels zijn mogelijk minder gevoelig voor een lage pH dan bacteriën, en kunnen zo de competitie met bacteriën beter aan. De bacteriegroei snelheid was twee keer zo hoog bij pH 6.1 dan bij pH 4, mogelijk omdat er minder kosten verbonden zijn aan detoxificatie bij hogere pH, of door meer predatie bij een hogere pH. Bodems met een lage pH waren gevoeliger voor een tweede verstoring dan bodems met pH 6.1.

Tabel 4.4: Invloed bekalken op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed bekalken op		ecosysteemdiensten									
bodemparemeter		nutriënten	bodemstructuur	plaaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
schimmelbiomassa	-	-	-				-				
bacteriegroeisnelheid	+	+	+				+				
pH	+				+	?					
<b>Synthese</b>		+/-	+/-	?	+	?	+/-	?	?	?	?
		(1)	(1)		(1)		(1)				

## 4.5 Mesttype

In de bemestingsproef Mest als Kans, aangelegd in 1999, werd op een akker (vruchtwisseling: tarwe, aardappelen, uien, diversen, 2 jaar grasland) het effect van kunstmest, groencompost en stalmest op het bodemleven gemeten (Koopmans et al., 2006). De potentiële stikstofmineralisatie was het hoogste bij de minerale mest. In compost kwamen de hoogste aantallen schimmel-etende nematoden en de laagste aantallen bacterie-etende nematoden voor.

In de bemestingsproef Rusthoeve, werd op een akker (vruchtwisseling: zomertarwe, aardappelen, gras-klaver, zaaiui, bruine boon en suikerbiet) het effect van vaste mest, groencompost, GFT compost en drijfmest op het bodemleven gemeten (Koopmans et al., 2006). De potentiële N en C mineralisatie was het hoogste in vaste mest en groencompost, en het laagste in drijfmest en GFT compost. Het aantal planten-etende nematoden was het hoogste in de compostvarianten, mogelijk door hogere dichtheden van wortels in deze varianten. Aantallen bacterie-etende nematoden waren hoger in vaste mest dan in drijfmest.

Op de Lovinkhoeve, een proefveld met een vruchtwisseling van 4 jaar met wintertarwe, suikerbiet, gerst en aardappelen, leidde 20 jaar organische bemesting tot een 30% hoger organisch stofgehalte, een 30% hogere stikstofmineralisatie, meer aantallen bacterie-etende protozoa en nematoden vergeleken met kunstmest. De stikstofverliezen namen met 40% af, waardoor 35% minder minerale mest kon worden gebruikt (Bloem et al., 1994). Organische mest bevatte 40% minder stikstof dan kunstmest, dus deze verschillen kunnen ook onder de maatregel 'bemestingsniveau' ondergebracht worden.

Op de proefhoeve in Melle (Universiteit Gent) is in 1997 een proef aangelegd waarbij het effect van drijfmest, compost en minerale mest op het bodemleven is onderzocht (Koopmans et al., 2006). In Oktober 2005 werd bemonsterd. Compost (200 kg N/ha) had de hoogste stikstof mineralisatie en alle nematodengroepen waren het hoogste



in aantal, behalve de plantenetende groepen. Ook gaf compost het hoogste organische stof gehalte in de bodem en hogere gehalten aan nutriënten. Drijfmest had een tussenpositie.

Over het algemeen kan compost de ziektevering van de bodem stimuleren, of er is geen effect op ziektevering. In slechts 3% van de uitgevoerde bio-assays met compost was een verminderde ziektevering van de bodem gevonden (Termorshuizen et al., 2006).

Tabel 4.5 geeft een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 4.5: Invloed mesttype op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed organische mest op		ecosysteemdiensten									
bodemparemeter		nutriënten	bodemstructuur	plaagvering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
organische stof	+	+	+	+					+	+	+
stikstofverliezen	-	+						+			
complexiteit	+			+	+	+					+
nematodengemeenschap											
<b>Synthese</b>		+	+	+	+	+	?	+	+	+	+
		(2)	(1)	(4)	(3)	(3)		(1)	(1)	(1)	(3)
invloed minerale mest op		ecosysteemdiensten									
bodemparemeter		nutriënten	bodemstructuur	plaagvering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
stikstofmineralisatie	+/-	+/-									
organische stof	-	-	-	-					-	-	-
<b>Synthese</b>		+/-	-	-	?	?	?	?	-	-	-
		(2)	(1)	(1)					(1)	(1)	(1)

## 4.6 Achterlaten gewasresten

Koolstofrijke producten, zoals gewasresten, verhogen het organische stofgehalte, stimuleren de groei van micro-organismen en de vastlegging van nutriënten (Vinten et al., 2002; van der Wal et al., 2006). Dit voorkomt de uitspoeling van nutriënten. Koolstofrijke producten stimuleren bovendien ook andere bodemorganismen zoals springstaarten, mijten en regenwormen die bijdragen aan de fragmentatie van het organische materiaal. Een nadeel van gewasresten, en dan vooral gewasresten die veel stikstof bevatten zoals

bieten en koolgewassen, is het gevaar van uitspoeling van nutriënten en de uitstoot van N<sub>2</sub>O gas. Ook kan door onderploegen van gewasresten van vooral koolgewassen de kans op bodemziektes toenemen. Een manier om de nadelen tegen te gaan is het weghalen van stikstofrijke gewasresten, het toepassen van de gewasresten in vergistinginstallaties en het uitgeste product weer op het land te brengen. Het vergiste product bevat nog alle stikstof, maar in beter opneembare vorm. Het product bevat bovendien de moeilijk afbreekbare fractie van organisch materiaal en deze fractie draagt het meeste bij aan het stabiele, organische materiaal van de bodem (Smit et al., 2007).

Tabel 4.6 geeft een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 4.6: Invloed gewasresten op bodemleven en ecosysteemdiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten.

invloed gewasresten op		ecosysteemdiensten									
bodemparemeter		nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
organische stof	+	+	+	+					+	+	+
schimmel- en bacteriebiomassa	+	+	+				+				
emissie N <sub>2</sub> O	+									-	
uitspoelen nutriënten	+									-	
bodemziektes (bij gebruik kool)	+			-							
<b>Synthese</b>		+	+	+/-	?	?	+	?	+	+/-	+
		(2)	(2)	(3)			(2)		(2)	(3)	(2)

## 4.7 Bestrijdingsmiddelen

Op het bedrijf van de familie Robben zijn drie niveaus van fungiciden aangebracht aan de teelt van aardbeien (Koopmans et al., 2006). Niveaus zijn 1) geen gebruik van fungiciden, 2) gangbare inzet van fungiciden zoals in de praktijk van het bedrijf en 3) maximale inzet van fungiciden. Bij gangbare en maximale inzet zijn bovendien ook insecticiden, acariciden en herbiciden aangebracht. Na een teeltseizoen nam de schimmelbiomassa af bij gangbare dosering, maar weer toe bij maximale dosering. Mogelijk wordt de schimmelgroei beperkt bij gangbare dosering, maar kan het bij hogere dosering weer toenemen omdat andere schimmelsoorten de lege niches overnemen en ongehinderd kunnen groeien. Bij een hogere dosering van fungiciden namen de plantenetende nematoden toe. Fungiciden schakelen mogelijk de schimmels uit die plantenetende

nematoden aantasten, of de fysiologie van de wortels wordt beïnvloed waardoor vraat van nematoden kan toenemen. Strooiselbewonende regenwormen waren afwezig bij maximale dosering.

Volgens de literatuur zijn er nauwelijks effecten van herbiciden, maar mogelijk wel van fungiciden (vooral fungiciden met koper) en insecticiden op het bodemleven (zie review van Bünemann et al., 2006). Grondontsmetting met nematiciden tegen plantenetende nematoden kan een reductie in aantallen protozoa en bacterie-etende nematoden veroorzaken (Bloem et al., 1994). De bacteriële gemeenschap kan veranderen door chemische middelen, mogelijk omdat bepaalde bacteriën die de chemische middelen kunnen afbreken, worden gestimuleerd (Fliessbach & Mäder, 2004). Chemische middelen worden vaak al beperkt vanwege risico's voor de kwaliteit van het grondwater en oppervlaktewater. Verder onderzoek naar de effecten van bestrijdingsmiddelen op het bodemleven zijn daarom misschien niet nodig (Bloem, pers. comm.).

Tabel 4.7 geeft een samenvatting van deze resultaten.

Tabel 4.7: Invloed bestrijdingsmiddelen op bodemleven en ecosystemendiensten. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een toename of afname van de bodemparameter aan, en een positief of negatief effect op de ecosystemendiensten.

invloed bestrijdingsmiddelen op		ecosysteemdiensten									
bodemparameter		nutriënten	bodemstructuur	plaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie
schimmelbiomassa	-	-	-				-				
regenwormen	-		-				-		-		
biodiversiteit	-			-	-	-					-
bodemorganismen											
<b>Synthese</b>		-	-	-	-	-	-	?	-	?	-
		(1)	(1)	(2)	(2)	(2)	(3)		(1)		(2)

## 5 Conclusies en aanbevelingen

- 1) Een hoge leeftijd van grasland, het voorkomen van frequente bodemverdichting en het gebruik van organische mest in de melkveehouderij lijken bodembeheersmaatregelen die positief bijdragen aan ecosysteemdiensten. Het direct inzaaien van een partnergewas in grasland en het gebruik van groenbemesting zijn mogelijk interessante maatregelen bij rotatie van grasland met een voedergewas, maar meer studies zijn nodig om dit te bevestigen. In de akkerbouw lijkt het gebruik van organische mest een belangrijke maatregel te zijn. Rotatie van gewassen draagt mogelijk ook positief bij aan ecosysteemdiensten.
- 2) Het meeste onderzoek aan bodembeheersmaatregelen in de melkveehouderij is gedaan aan graslanden op zand. De maatregelen voor de akkerbouw zijn voor het grootste deel gedaan aan kleigronden. Dezelfde bodembeheersmaatregelen hebben mogelijk een ander effect op andere bodemtypes en dit moet verder onderzocht worden.
- 3) De effecten van bodembeheersmaatregelen op de ecosysteemdiensten ‘nutriënten retentie en levering’, ‘bodemstructuur en organische stof’, ‘afbraak organisch materiaal’ en ‘waterretentie’ zijn redelijk goed onderzocht of te voorspellen, maar het effect van maatregelen op de ecosysteemdiensten ‘weerstand tegen stress’, ‘flexibiliteit’, ‘zelfreinigend vermogen’ en ‘klimaatfuncties’ in de melkveehouderij en akkerbouw verdienen meer aandacht (zie Tabel 5.1 en 5.2).
- 4) In Nederland zijn maatregelen in de akkerbouw tot nu toe minder intensief onderzocht dan maatregelen op grasland. Hier zou dus ook nog meer onderzoek naar gedaan moeten worden. Op proefbedrijf Vredepeel liggen veldproeven waarin hoofdzakelijk naar pathogene aaltjes gekeken wordt door Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO). Dit is mogelijk een interessante locatie om andere bodemparameters ook te meten binnen het BoBI project.
- 5) Stabiele bodemaggregaten zeggen veel over de kwaliteit van de bodem. Er zijn eenvoudige methoden beschikbaar om stabiele bodemaggregaten te meten (Seybold & Herrick, 2001). Ook in het veld kan het eenvoudig gemeten worden. In het Landelijk Meetnet zou deze methode meegenomen kunnen worden als extra bodemparameter. Het LBI heeft stabiele bodemaggregaten ook al eerder proberen te bepalen, maar heeft het nog niet opgenomen in hun standaard bodembepalingen.
- 6) De kwantiteit en kwaliteit van het organische stofgehalte is een bodemparameter die voor veel ecosysteemdiensten van belang is. Fracties van organische stof (labiele en recalcitrante koolstof) kunnen mogelijk een interessante aanvulling zijn op de bodemparameters die op dit moment binnen het BoBI project gemeten worden.

Tabel 5.1: Samenvatting van de invloed van bodembeheersmaatregelen op ecosysteemdiensten in de melkveehouderij. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een positief of negatief effect op de ecosysteemdiensten aan. Een +/- geeft aan dat het effect zowel positief als negatief kan zijn.

ecosysteemdiensten											
bodembeheers- maatregel	ecosysteemdiensten										Synthese waardeoordeel
	nutriënten	bodemstructuur	plagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie	
rotatie (grasland/voedergewas)	+/- (1)	+/- (2)	+/- (1)	- (1)	- (1)	+/- (2)	+/- (1)	- (2)	- (1)	- (1)	-
leeftijd grasland	+ (3)	+ (3)	+ (2)	+ (1)	+ (1)	+ (3)	+ (3)	+ (3)	+ (1)	+ (2)	+
direct inzaaien	- (1)	+ (1)	? (1)	? (1)	? (1)	+ (1)	+ (1)	+ (1)	? (1)	? (1)	+?
voorkomen bodemverdichting	+ (4)	+ (5)	+ (2)	+ (8)	+/- (6)	+ (5)	? (1)	+ (6)	+ (2)	+ (7)	+
bekalken	+/- (1)	+/- (2)	- (1)	? (1)	- (1)	+ (2)	+ (1)	+/- (2)	- (1)	- (1)	-
klaver	+/- (5)	+/- (5)	+ (1)	+ (2)	+ (1)	+/- (3)	? (1)	+/- (5)	- (1)	+ (2)	+/-
hoog bemestingsniveau	+/- (6)	- (3)	- (2)	- (2)	- (2)	+/- (3)	- (3)	- (3)	? (1)	- (1)	-
zodembemesting	+/- (1)	+/- (1)	? (1)	- (1)	- (1)	+/- (1)	- (1)	- (1)	+ (1)	- (1)	+/-
organische mest	+ (4)	+ (3)	+ (3)	+ (1)	? (1)	+ (3)	+ (1)	+ (3)	+ (3)	+ (3)	+
minerale mest	- (1)	- (1)	- (4)	- (4)	- (4)	- (1)	- (1)	? (1)	? (1)	- (4)	-
groenbemesting	? (1)	+ (1)	? (1)	? (1)	+ (1)	+ (1)	+ (1)	+ (1)	+/- (1)	? (1)	+?
<b>Synthese aantal studies</b>	<b>27</b>	<b>25</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>25</b>	<b>13</b>	<b>27</b>	<b>11</b>	<b>22</b>	

Tabel 5.2: Samenvatting van de invloed van bodembeheersmaatregelen op ecosystemendiensten in de akkerbouw. Het aantal studies waarop het waardeoordeel is gebaseerd staat tussen haakjes. Een plus (+) of min (-) geeft een positief of negatief effect op de ecosystemendiensten aan. Een +/- geeft aan dat het effect zowel positief als negatief kan zijn.

bodembeheers- maatregel	ecosysteemdiensten										Synthese waardeoordeel
	nutriënten	bodemstructuur	plaaagwering	weerstand	flexibiliteit	afbraak organisch materiaal	zelfreinigend vermogen	waterretentie	klimaatfuncties	habitatfunctie	
ruime rotatie	?	?	+	+	+	?	+	?	?	+	+
ploegen	-	-	-	-	-	+/-	+	-	-	-	-
bekalken	+/-	+/-	?	+	?	+/-	?	?	?	?	+/-?
organische mest	+	+	+	+	+	?	+	+	+	+	+
minerale mest	+/-	-	-	?	?	?	?	-	-	-	-?
gewasresten	+	+	+/-	?	?	+	?	+	+/-	+	+?
bestrijdingsmiddelen	-	-	-	-	-	-	?	-	?	-	-
<b>Synthese aantal studies</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	



## Referenties

- Aritajat, U., Madge, D.S., Gooderham, P.T. 1977. Effects of Compaction of Agricultural Soils on Soil Fauna .1. Field Investigations. *Pedobiologia* **17**:262-282.
- Breure, A.M., Rutgers, M., Bloem, J., Brussaard, L., Didden, W., Jagers op Akkerhuis, G., Mulder, C., Schouten, A.J., van Wijnen, H.J. 2003. Ecologische kwaliteit van de bodem. RIVM rapport 607604005.
- Bloem, J., Lebbink, G., Zwart, K. B., Bouwman, L.A., Burgers, S., De Vos, J.A., De Rooter, P.C. 1994. Dynamics of Microorganisms, Microbivores and Nitrogen Mineralization in Winter-Wheat Fields under Conventional and Integrated Management. *Agriculture Ecosystems & Environment* **51**:129-143.
- Bouwman, L.A., Arts, W.B.M. 2000. Effects of soil compaction on the relationships between nematodes, grass production and soil physical properties. *Applied Soil Ecology* **14**:213-222.
- Breland, T.A., Hansen, S. 1996. Nitrogen mineralization and microbial biomass as affected by soil compaction. *Soil Biology & Biochemistry* **28**:655-663.
- Bünemann, E.K., Schwenke, G.D., van Zwieten, L. 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms—a review. *Australian Journal of Soil Research* **44**:379-406.
- Clapperton, M. J., D. A. Kanashiro, Behan-Pelletier, V. M. 2002. Changes in abundance and diversity of microarthropods associated with Fescue Prairie grazing regimes. *Pedobiologia* **46**:496-511.
- Collard, S.J., Zammit, C. 2006. Effects of land-use intensification on soil carbon and ecosystem services in Brigalow (*Acacia harpophylla*) landscapes of southeast Queensland, Australia. *Agriculture Ecosystems & Environment* **117**:185-194.
- De Boer, H.C., van Eekeren, N. 2007. Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klaver, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit. WUR rapport nr. 47.
- De Boer, H.C., van Eekeren, N., Hanegraaf, M.C. 2007. Ontwikkeling van opbrengst en bodemkwaliteit van grasland op een zandgrond bij bemesting met organische mest of kunstmest. WUR rapport nr. 69.
- De Goede, R.G.M., Brussaard, L., Akkermans, A.D.L. 2003. On-farm impact of cattle slurry manure management on biological soil quality. *Njas-Wageningen Journal of Life Sciences* **51**:103-133.
- De Vries, F.T., Bloem, J., van Eekeren, N., Brussaard, L., Hoffland, E. 2007. Fungal biomass in pastures increases with age and reduced N input. *Soil Biology & Biochemistry* **39**:1620-1630.
- De Vries, F.T., Hoffland, E., van Eekeren, N., Brussaard, L., Bloem, J. 2006. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biology & Biochemistry* **38**:2092-2103.
- Dormaar, J.F., Willms, W.D. 1998. Effect of forty-four years of grazing on fescue grassland soils. *Journal of Range Management* **51**:122-126.
- Dormaar, J.F., Willms, W.D. 1990. Sustainable Production from the Rough Fescue Prairie. *Journal of Soil and Water Conservation* **45**:137-140.



- Fliessbach, A., Mader, P. 2004. Short- and long-term effects on soil microorganisms of two potato pesticide spraying sequences with either glufosinate or dinoseb as defoliant. *Biology and Fertility of Soils* **40**:268-276.
- Garbeva, P., Postma, J., van Veen, J.A., van Elsas, J.D. 2006. Effect of above-ground plant species on soil microbial community structure and its impact on suppression of *Rhizoctonia solani* AG3. *Environmental Microbiology* **8**:233-246.
- Hiddink, G.A., Termorshuizen, A.J., Raaijmakers, J.M., van Bruggen, A.H.C. 2005. Effect of mixed and single crops on disease suppressiveness of soils. *Phytopathology* **95**:1325-1332.
- House, G.J., Parmelee, R.W. 1985. Comparison of Soil Arthropods and Earthworms from Conventional and No-Tillage Agroecosystems. *Soil & Tillage Research* **5**:351-360.
- Kessavalou, A., Mosier, A.R., Doran, J.W., Drijber, R.A., Lyon, D.J., Heinemeyer, O. 1998. Fluxes of carbon dioxide, nitrous oxide, and methane in grass sod and winter wheat-fallow tillage management. *Journal of Environmental Quality* **27**:1094-1104.
- Koopmans, C.J., Smeding, F.W., Rutgers, M., Bloem, J., van Eekeren, N. 2006. Biodiversiteit en bodembeheer in de landbouw. LBI rapport nr. LB14.
- Mulder, C., Den Hollander, H., Schouten, T., Rutgers, M. 2006. Allometry, biocomplexity, and web topology of hundred agro-environments in The Netherlands. *Ecological Complexity* **3**:219-230.
- Mulder, C., Dijkstra, J.B., Setälä, H. 2005. Nonparasitic Nematoda provide evidence for a linear response of functionally important soil biota to increasing livestock density. *Naturwissenschaften* **92**:314-318.
- Mytton, L.R., Cresswell, A., Colbourn, P. 1993. Improvement in Soil Structure Associated with White Clover. *Grass and Forage Science* **48**:84-90.
- Ponder, F., Li, F.M., Jordan, D., Berry, E.C. 2000. Assessing the impact of *Diplocardia ornata* on physical and chemical properties of compacted forest soil in microcosms. *Biology and Fertility of Soils* **32**:166-172.
- Postma, J., Hospers, M., Colon, L. 2004. *Rhizoctonia*-decline in aardappelen in de biologische landbouw. Met eigen pootgoed minder *Rhizoctonia*. PRI Nota 284.
- Postma-Blaauw, M.B., De Goede, R.G.M., Bloem, J., Faber, J.H., Brussaard, L. Agricultural (de-)intensification differentially affects abundances, functional diversity and community structure in soil micro-, meso- and macrofauna. Submitted.
- Postma-Blaauw, M.B., De Goede, R.G.M., Bloem, J., Jack H. Faber, J.H., Brussaard, L. Agricultural (de-)intensification differentially affects taxonomic diversity of predatory mites, enchytraeids, nematodes and bacteria. Submitted.
- Rutgers, M., Mulder, C., Schouten, A.J., Bogte, J.J., Breure, A.M., Bloem, J., Jagers op Akkershuis, G.A.J.M., Faber, J.H., van Eekeren, N., Smeding, F.W., Keidel, H., De Goede, R.G.M., Brussaard, L. 2005. Typering van bodemecosystemen. Duurzaam bodembegebruik met referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM rapport 607604007
- Soussana, J.F., Hartwig, U.A. 1996. The effects of elevated CO<sub>2</sub> on symbiotic N-2 fixation: A link between the carbon and nitrogen cycles in grassland ecosystems. *Plant and Soil* **187**:321-332.

- Schouten, A.J., Bloem, J., Jagers op Akkerhuis, G.J. 2005. Resultaten bodembologisch onderzoek op het bedrijf van de familie Spruit. Intern RIVM rapport.
- Schouten, A.J., Brussaard, L., De Ruiter, P.C., Siepel, H., van Straalen, N.M. 1997. Een indicatorsysteem voor life support functies van de bodem in relatie tot biodiversiteit. RIVM rapport 712910005.
- Schnurr-Putz, S., Baath, E., Guggenberger, G., Drake, H.L., Kusel, K. 2006. Compaction of forest soil by logging machinery favours occurrence of prokaryotes. *Fems Microbiology Ecology* **58**:503-516.
- Seybold, C. A., Herrick, J.E. 2001. Aggregate stability kit for soil quality assessments. *Catena* **44**:37-45.
- Shestak, C.J., Busse, M.D. 2005. Compaction alters physical but not biological indices of soil health. *Soil Science Society of America Journal* **69**:236-246.
- Smit, A., Zwart, K., van Beek, C., Brunt, D. 2007. DiaBOLO fase 1; werkplan en systematische analyse. Wageningen, Alterra-rapport 1544.1
- Sonneveld, M.P.W. Bouma, J. 2005. Nutrienten management op het melkveebedrijf van de familie Spruit. WUR rapport nr. 2005-049.
- TCB, 2003. Advies duurzamer bodemgebruik op ecologische grondslag. Rapport TCB A33(2003), Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.
- Termorshuizen, A.J., van Rijn, E., van der Gaag, D.J., Alabouvette, C., Chen, Y., Lagerlof, J., Malandrakis, A.A., Paplomatas, E.J., Ramert, B., Ryckeboer, J., Steinberg, C., Zmora-Nahum, S. 2006. Suppressiveness of 18 composts against 7 pathosystems: Variability in pathogen response. *Soil Biology & Biochemistry* **38**:2461-2477.
- Timmerman, A., Bos, D., Ouwehand, J., De Goede, R.G.M. 2006. Long-term effects of fertilisation regime on earthworm abundance in a semi-natural grassland area. *Pedobiologia* **50**:427-432.
- Tobor-Kaplon, M.A. 2006. Soil life under stress. PhD thesis WUR.
- Van der Wal, A., van Veen, J.A., Pijl, A.S., Summerbell, R.C., De Boer, W. 2006. Constraints on development of fungal biomass and decomposition processes during restoration of arable sandy soils. *Soil Biology & Biochemistry* **38**:2890-2902.
- Van Eekeren, N., Bommelé, L., Bloem, J., Schouten, A.J., Rutgers, M., De Goede, R., Reheul, D., Brussaard, L. Biological soil quality after 36 years ley-arable cropping, permanent grassland and continuous arable cropping. Submitted.
- Van Eekeren, N., de Boer, H.C., van den Pol-van Dasselaar, A. 2007. Effect van mestsoorten op biologische bodemkwaliteit, resultaten De Marke. LBI rapport.
- Van Eekeren, N., de Visser, M., André, G., Lantinga, E., Bloem, J., Smeding, F.W. 2006. Effect van mestkwaliteit op gewasgroei en bodemleven. Bioveem rapport nr. 16.
- Van Eekeren, N., Heeres, E. Smeding, F.W. 2003. Leven onder de graszode. LBI rapport nr. LV 52.
- Van Eekeren, N., Prins, U., Oomen, G. 2007. Direct inzaaien van maïs in een partnergewas. LBI rapport nr. LV65.
- Van Eekeren, N., Smeding, F.W., De Vries F.T., Bloem, J., 2005. Analysis of the soil food web structure under grass and grass-clover. In: Wachendorf, M., Helgadottir, A.,

- Parente, G. (Eds), Sward dynamic, N-flows and forage utilisation in legume-based systems, Proceedings of the 2nd COST 852 764 workshop in Grado, pp. 37-40.
- Van Schooten, H.A., van Eekeren, N., Hanegraaf, M.C., van der Burgt, G.J., De Visser, M. 2006. Effect meerjarige toepassing groenbemester en organische mest op bodemkwaliteit bij continueelt maïs. ASG rapport nr. 01.
- Van Vliet, P.C.J., Bloem, J., de Goede, R.G.M. 2006. Microbial diversity, nitrogen loss and grass production after addition of Effective Micro-organisms (R) (EM) to slurry manure. *Applied Soil Ecology* **32**:188-198.
- Van Vliet, P.C.J., de Goede, R.G.M. 2006. Effects of slurry application methods on soil faunal communities in permanent grassland. *European Journal of Soil Biology* **42**:S348-S353.
- Vinten, A.J.A., Whitmore, A.P., Bloem, J., Howard, R., Wright, F. 2002. Factors affecting N immobilisation/mineralisation kinetics for cellulose-, glucose- and straw-amended sandy soils. *Biology and Fertility of Soils* **36**:190-199.
- Zwart, K.B., Burgers, S., Bloem, J., Bouwman, L.A., Brussaard, L., Lebbink, G., Didden, W.A.M., Marinissen, J.C.Y., Vreekenbuijs, M.J., de Ruiter, P.C. 1994. Population-dynamics in the belowground food webs in two different agricultural systems. *Agriculture Ecosystems & Environment* **51**:187-198.

**RIVM**

Rijksinstituut  
voor Volksgezondheid  
en Milieu

Postbus 1  
3720 BA Bilthoven  
[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)