

Wageningen UR Livestock Research

Partner in livestock innovations



Rapport 305

Bodemkwaliteit en ziektevering in de veehouderij: gras en maïs

Inventarisatie

December 2009



LIVESTOCK RESEARCH
WAGENINGEN UR

Colofon

Uitgever

Wageningen UR Livestock Research
Postbus 65, 8200 AB Lelystad
Telefoon 0320 - 238238
Fax 0320 - 238050
E-mail info.livestockresearch@wur.nl
Internet <http://www.livestockresearch.wur.nl>

Redactie

Communication Services

Copyright

© Wageningen UR Livestock Research, 2009
Overname van de inhoud is toegestaan,
mits met duidelijke bronvermelding.

Aansprakelijkheid

Wageningen UR Livestock Research (formeel ASG Veehouderij BV) aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Wageningen UR Livestock Research, formeel 'ASG Veehouderij BV', vormt samen met het Centraal Veterinair Instituut en het Departement Dierwetenschappen van Wageningen Universiteit de Animal Sciences Group van Wageningen UR.

Losse nummers zijn te verkrijgen via de website.



De certificering volgens ISO 9001 door DNV onderstreept ons kwaliteitsniveau. Op al onze onderzoeksopdrachten zijn de Algemene Voorwaarden van de Animal Sciences Group van toepassing. Deze zijn gedeponeerd bij de Arrondissementsrechtbank Zwolle.

Abstract

This report addresses the questions: What is soil quality and soil health according to different perspectives? For what has the soil quality or is the soil healthy; for production, environment, living soil itself? Which management affects soil quality and health? How to investigate soil health for which aim in livestock systems?

Keywords

Soil quality, disease suppressiveness, soil health, maize, grass, livestock systems

Referaat

ISSN 1570 - 8616

Auteur(s)

Simone Radersma

Titel

Bodemkwaliteit en ziektevering in de veehouderij: gras en maïs
Rapport 305

Samenvatting

Dit rapport zoekt antwoord op de vragen: Wat is bodemkwaliteit, -weerbaarheid, -gezondheid volgens verschillende benaderingen? Welke benadering is het beste voor de veehouderij? Waarvoor heeft de bodem kwaliteit: voor productie, voor milieu, voor een levende bodem? Welke (management) invloeden spelen mee? Hoe onderzoek je bodemkwaliteit en ziektevering in de veehouderij?

Trefwoorden

Bodemkwaliteit, bodemweerbaarheid, bodemgezondheid, bodemziektenvering, maïs, gras, veehouderij



LIVESTOCK RESEARCH

WAGENINGEN UR

Rapport 305

Bodemkwaliteit en ziektevering in de veehouderij: gras en maïs

Soil quality and disease suppressiveness in grass and maize: Inventory

Simone Radersma

December 2009

Voorwoord

Grondgebonden veehouderij is afhankelijk van de bodem. Steeds meer veehouders komen tot dat besef. Tegelijkertijd is er nog slechts beperkt inzicht in het effect van een goede bodem. Het is zelfs niet duidelijk wat een goede bodem precies inhoudt voor bepaalde situaties. In dit rapport wordt een poging gedaan om een helder beeld te krijgen van de containerbegrippen bodemkwaliteit, bodemweerbaarheid, bodemgezondheid en ziektevering, die vaak door elkaar gebruikt worden in verschillende betekenissen. De verschillende benaderingen worden naast elkaar gezet, en leiden tot een logische insteek voor onderzoek naar bodemkwaliteit & -ziektevering binnen de grondgebonden veehouderij, dat wil zeggen in het bodemgebruik gras en maïs. Dit project is gefinancierd door het ministerie van LNV vanuit de kennisbasisgelden (KB4 Duurzame Landbouw). Ik verwacht dat dit rapport bijdraagt aan meer inzicht in het belang van de bodem voor de veehouderij.

Speciale dank gaat uit naar de collegas binnen en buiten WUR, Joeke Postma, Jaap Bloem, Aad Termorshuizen, Marjoleine Hanagraaff, Gerard Korthals en Jürgen Köhl voor hun commentaar en/of aanvullende informatie.

Dr. Ir. Agnes van den Pol-van Dasselaar
Clusterleider Grondgebonden Veehouderij

Samenvatting

Dit rapport is bedoeld als verheldering van de containerbegrippen bodemkwaliteit, bodemweerbaarheid, bodemgezondheid en bodem ziektevering en als gereedschap voor de uitwerking van verder onderzoek naar bodemkwaliteit en -ziektevering in de veehouderij. Met de nodige aanpassing kan het ook dienen als gereedschap voor de uitwerking van verder onderzoek naar bodemkwaliteit en ziektevering in andere landbouw sectoren.

Bodemkwaliteit, bodemweerbaarheid, bodemgezondheid en (bodem)ziektevering zijn een serie containerbegrippen, die door elkaar voor min of meer overlappende begripsgebieden worden gebruikt. In dit rapport zijn meerdere benaderingen naast elkaar gezet en is de aan- en afwezigheid van verbanden/overlappen tussen de verschillende benaderingen duidelijk gemaakt. De breedte in benaderingen varieert van ziektevering tegen één specifieke ziekte met als enig doel een verbeterde productie, tot een omvatting van alle biologische, chemische en fysische kwaliteiten, gebreken en ziekten in de bodem voor één of meerdere bodem x gewas combinaties voor een serie van doelen (productie, milieu, bodembiodiversiteit, veerkracht van bodem). Een brede benadering geeft een vollediger beeld van mogelijke bodemkwaliteit en ziekteveringsproblemen, en voorkomt dat “een kuchje wordt behandeld terwijl het gebroken been wordt verwaarloosd”, maar een te brede benadering leidt snel tot onoverzichtelijke en vaag blijvende algemeenheden in de trant van “hoe gezonder hoe beter”.

In dit rapport wordt een systeem aangereikt waarmee de verschillende benaderingen van bovengenoemde serie containerbegrippen en een verscheidenheid aan doelen alsmede andere invloeden hierop wordt afgevoerd op relevantie voor het bodemgebruik binnen de veehouderij. Hierbij wordt één spoor met een aantal keuzes gevolgd. Voor de veehouderij wordt hier gekozen voor een brede benadering aangeduid met de term ‘Bodemkwaliteit en –ziektevering’. Deze term omvat bodemchemische, -fysische en –biologische kwaliteiten en problemen voor de verschillende doelen, productie, milieu, weerstand en flexibiliteit en habitat biodiversiteit, alsmede het gebied van bodemziektevering.

Keuze van doelen maakt een prioritering, uitgaande van een veehouderij waarin een economische productie prioriteit heeft, maar zónder vergaande afwentelingen op de omgeving. Dit is het meest voorkomende scenario binnen de veehouderij in Nederland op dit moment. Andere sporen op basis van andere keuzes zijn ook mogelijk.

Met die spoorkeuze is de gekozen prioritering in doelen: op de eerste plaats productie en daarmee primaire aandacht voor productieve diensten van de bodem. Ondergeschikt aan het productiedoel, de weerbaarheid en flexibiliteit voor zover nodig voor langdurig stabiele productie. Op de tweede plaats komen de milieu en bodembiodiversiteitsdoelen, ten bate van de bredere duurzaamheid; geen negatieve bijeffecten van productie op de omgeving. Zo mogelijk worden alle doelen behartigd. Bij onvermijdelijk tegengestelde belangen mogen ten bate van productieve doelen bepaalde milieugrenzen niet overschreden worden. Milieubelastingsgrenzen bestaan al (nitraat grondwater, P-overschot, N-overschot). Vergelijkbaar zouden bij tegengestelde belangen ook bepaalde bodembiodiversiteitsgrenzen niet overschreden mogen worden. Echter, duidelijke bodembiodiversiteitsbelastinggrenzen bestaan nog niet, en zijn misschien niet mogelijk: Hoeveel biodiversiteit is genoeg en hoeveel te weinig?

Ten bate van de hoognodige afbakening bij zo’n brede benadering zijn per bodem x gewas groep alle bodemkwaliteit en -ziekteveringsproblemen in de veehouderij op bodembiochemisch, -chemisch en -fysisch gebied, ten bate van de verschillende doelen, verzameld. De splitsing in bodem x gewas situaties is gemaakt omdat in de veehouderij duidelijk onderscheid is tussen problemen in gras en maïs. Bovendien wordt zowel gras als maïs voor een groot deel langdurig op hetzelfde perceel (en bodem) verbouwd. De verschillende bodemtypen zand, klei en veen, hebben ook duidelijk verschillende problemen. Daarentegen wordt de keuze om biologische, chemische en fysische problemen gezamenlijk aan te pakken genomen omdat in de voorkomende bodem x gewas situaties niet overduidelijk één probleem op het gebied van bodemkwaliteit en -ziektevering de kroon spant, zonder relatie met andere problemen.

De verzamelingen van bodemkwaliteit en ziekteveringsproblemen per bodem x gewas geven aan dat voor elke bodem x gewassituatie een specifieke set metingen nodig is om oorzaak -gevolgrelaties tussen bodemeigenschappen en problemen (en interacties) bloot te leggen. Aangezien de verzameling bodemkwaliteit- en ziekteveringsproblemen per bodem x gewas verschilt, zullen de sets metingen ook verschillen om te voorkomen dat irrelevante metingen genomen worden en relevante metingen voor specifieke situaties missen. Van management en andere invloeden in de veehouderij, die effect kunnen hebben op de verzamelingen bodemkwaliteit en ziekteveringsproblemen is een lijst gemaakt. Deze lijst kan aan de ene kant dienen als checklist van mogelijke beïnvloedende factoren, die of constant gehouden moeten worden in experimenten of mede bepaald moeten worden als onderzoek bijvoorbeeld op velden van meerdere veehouders gedaan wordt. Aan de andere kant kan deze lijst dienen om na te gaan hoe bodemfactoren, die als oorzaken van bodemkwaliteit- en ziekteveringsproblemen zijn ontmaskerd, beïnvloed kunnen worden door management.

Summary

This report is meant to clarify the container terms soil quality, soil health and soil disease suppressiveness, to serve as a tool for design of further research in soil quality and soil disease suppressiveness of grass and maize fields within livestock systems. With the necessary adjustments it can serve as a tool for the design of further research in soil quality, health and disease suppressiveness in other agricultural systems as well.

Especially soil quality and soil health are container terms, which mean different things for different people. To begin with, an effort is made to collect, compare and give the relative position of the different definitions of soil quality and soil health. The scope in definitions ranges from resistance against one specific disease with increasing production as only aim, to a view in which biological, chemical and physical quality and health aspects of the soil for one or more soil x crop combinations aims at production, environmental sustainability, soil biodiversity and resilience of the soil. A broad view on soil quality and health prevents that "a cough is treated while the broken leg is neglected", but leads quickly to foggy universalities, like "the healthier the better".

In this report, a system is developed by which the wide scope of soil quality and soil health perceptions, a range of aims as well as a series of influences from outside (management, weather) can be checked on their relevance for the soil-use in livestock systems. For clarity, one track with a series of choices is followed: Firstly, a broad approach is chosen and defined as "soil quality and soil disease suppressiveness", because in grass and maize there are no overruling single problems like a specific disease, but all qualities and problems may be interrelated. Secondly, the main aim of Dutch livestock systems is chosen; an economically viable production limited by environmental demands. Other tracks are similarly possible. The chosen track leads to the following prioritization of aims: First, production and therewith primary attention to the productive ecosystem functions of the soil. As far as necessary for sustained production, resistance and resilience of soil are another primary aim. Second, environment and soil biodiversity are aims for the wider sustainability. If possible all aims are addressed. However, in case of unavoidably competing interests, productive aims have priority and environmental limits as well as soil biodiversity limits should be set to prevent unallowable damage. Environmental limits exist and are used (nitrate levels in groundwater, maximum N supply levels, maximum P-supply levels), but soil biodiversity limits do not yet exist and may be impossible to define.

All soil quality and disease suppressiveness problems (biological/chemical/physical) for all above mentioned aims in livestock systems are collected per soil x crop combination. The separate collections per soil x crop are made because grass and maize show clear differences in problems, as do soil types clay/peat/sand. On the other hand, I choose to combine biological, chemical and physical soil health problems, because in the soil x crop combinations of livestock systems there is no single problem of overriding importance, without relation to other problems. The collections of soil health problems per soil x crop combination, make clear that for each soil x crop combination a special set of measurements is needed to reveal causal relations between soil characteristics and soil quality and disease suppressiveness problems. Because the collections of soil quality and disease suppressiveness problems differ per soil x crop combination, sets of measurements will differ as well, to prevent that either irrelevant measurements are done, or relevant measurements for specific situations will be missing. Overlap exists where soil quality and disease suppressiveness problems are the same for different soil x crop combinations.

A list is made of management and other influences on soil quality and disease suppressiveness problems in livestock systems. This list can serve as checklist of influencing factors, which have either to be kept constant in experiments, or have to be measured/determined if for instance different farmers fields are used for research. On the other hand, this list can be used to adjust management towards tackling soil quality and disease suppressiveness problems.

Inhoudsopgave

Voorwoord

Samenvatting

Summary

1	Inleiding	1
2	Wat is bodemkwaliteit/-weerbaarheid/-gezondheid	2
2.1	Definities.....	2
2.2	Samenhang diverse definities/benaderingen.....	4
2.3	Voor de veehouderij: bodemkwaliteit en ziektevering.....	5
3	Bodemkwaliteit en ziektevering waarvoor?	6
3.1	Sleuteleigenschappen van een multifunctionele bodem.....	7
3.1.1	Goede bodemstructuur	7
3.1.2	Bodem organische stof	7
3.1.3	Bodem biota.....	7
3.2	Productieve diensten; vragen aan de bodem ten bate van productie	8
3.2.1	Ziekten- en plaagvering	8
3.2.2	Nutriëntenretentie en levering.....	8
3.2.3	Afbraak organisch materiaal	8
3.2.4	Waterafvoer, -berging en -levering	9
3.3	Milieudiensten: vragen aan de bodem ten bate van het milieu.....	9
3.3.1	Nutriëntenretentie	9
3.3.2	Afbraak organisch materiaal	9
3.3.3	Waterafvoer en -berging	9
3.3.4	Afbraak van schadelijke stoffen en bufferen van schadelijke werking	10
3.3.5	Opslag van koolstof	10
3.4	Weerstand, flexibiliteit en bodembiodiversiteit: Vragen aan de bodem ten bate van de Bodem.....	11
3.4.1	Weerstand tegen en herstelvermogen na stress.....	11
3.4.2	Flexibiliteit tov veranderend bodemgebruik	11
3.4.3	Habitat voor divers bodemleven	11
3.5	Belang voor de veehouderij	12
4	Welke management- en omgevingsfactoren beïnvloeden bodemkwaliteit en ziektevering in de veehouderij?	17
4.1	Betreding en berijding	18
4.2	Grondbewerking.....	18
4.3	Bekalking.....	18
4.4	Mesttoedieningsmethode	19
4.5	Nutrienten in meststoffen	19
4.6	Organische stof in meststoffen	19
4.7	Zware metalen en diergeneesmiddelen in meststoffen	19
4.8	Bestrijdingsmiddelen	20
4.9	Beregening, drainage en waterpeilbeheer	20

4.10 Vruchtwisseling, bouwplan, scheuren van gras, gewasresten en groenbemesters	20
4.11 Soort en leeftijd van gras	20
4.12 Maaien en beweiden	20
4.13 Contaminanten uit lucht	21
4.14 Weersinvloeden	21
4.15 Belang voor de veehouderij	21
5 Discussie en conclusies	22

1 Inleiding

Bodemweerbaarheid, bodemgezondheid en bodemkwaliteit zijn containerbegrippen met -afhankelijk van de verschillende invullingen- een grotere of kleinere overlap.

Dit rapport is bedoeld als verheldering van deze serie containerbegrippen en als gereedschap/logica voor het opzetten en uitwerken van verder onderzoek naar bodemweerbaarheid in de veehouderij.

Met de nodige aanpassing kan het ook dienen als gereedschap voor de uitwerking van verder onderzoek naar bodemweerbaarheid in andere landbouw sectoren.

Het gereedschap, de logica voor het ontwikkelen van onderzoek naar bodemkwaliteit/weerbaarheid/gezondheid in de veehouderij gebeurt hier aan de hand van een serie vragen.

De vraag "wat is bodemkwaliteit/weerbaarheid/gezondheid" wordt gesteld om duidelijk te maken dat deze serie begrippen heel veel verschillende betekenissen kunnen hebben. Voor een aantal van die betekenissen is gezocht naar punten van overlap en verschil. Daarna is een keuze gemaakt voor de best passende benadering en definitie in de veehouderij (hoofdstuk 2).

De vraag "bodemkwaliteit/weerbaarheid/gezondheid waarvoor?" wordt gesteld om duidelijk te maken dat, afhankelijk van de doelen die aan de bodem gesteld worden, de kwaliteit/weerbaarheid/gezondheid anders kan zijn. Vervolgens is voor de veehouderij een prioritering van doelen gekozen, die aansluit bij de meerderheid van de veehouderijbedrijven (hoofdstuk 3).

Voor onderzoek aan bodemweerbaarheid is bovendien van belang te weten welk dagelijks management of welke andere omgevingsfactoren invloed uitoefenen op elk aspect van bodemkwaliteit/weerbaarheid/gezondheid, zodat die meegenomen worden in het onderzoek, of gebruikt worden om weerbaarheids aspecten en hun oorzaken te beïnvloeden. Dit wordt voor de veehouderij behandeld in hoofdstuk 4. Tenslotte trekken we conclusies.

2 Wat is bodemkwaliteit/-weerbaarheid/-gezondheid

2.1 Definities

Bodemkwaliteit, bodemweerbaarheid en bodemgezondheid, zijn containerbegrippen die door wetenschappers, beleidsmensen en mensen uit de praktijk gebruikt worden. Daarbij wordt er meestal niet bij stil gestaan dat ieder een andere invulling van zo'n term kan hebben.

In tabel 1 zijn enige definities bijeengebracht van bodemweerbaarheid en bodemkwaliteit. De meningen over de overlap tussen de termen bodemkwaliteit, bodemweerbaarheid en bodemgezondheid verschillen. Bovendien zijn er duidelijke verschillen in de 'breedte' van de definitie van deze begrippen, en de intrinsieke doelen van deze begrippen. Aangezien de twee begrippen bodemgezondheid en bodemweerbaarheid in de literatuur moeilijk van elkaar te onderscheiden waren, staan ze in tabel 1 samen in één kolom.

Een ruime definiëring van het begrip bodemkwaliteit/bodemweerbaarheid/bodemgezondheid heeft als voordeel dat het leidt tot een integrale aanpak van bodemonderzoek en –problemen. Een nadeel van zo'n ruime definiëring is, dat het kan leiden tot vage doelen zoals "hoe gezonder hoe beter", en het risico loopt te verzanden in een te grote complexiteit. Een nauwere definiëring van bodemweerbaarheid als ziektevering, heeft het voordeel van exacte, goed afgebakende onderzoeksvragen en uitwerkingen. Een nadeel is echter de relatief grote kans op "symptoom behandeling", als de werkelijke oorzaken liggen in de complexiteit van bodemeigenschappen.

Volgens Rutgers et al (2007) zijn de termen bodemgezondheid en bodemkwaliteit synoniem, wat begrijpelijk is aangezien hun definitie de ruimste is wat betreft de doelen van een weerbare bodem (alle ecosysteem diensten van de bodem), en ze fysische/chemische gebreken meenemen als deel van bodemgezondheid. Zanen et al (2009) onderscheiden drie deelgebieden: Bodem kwaliteit als het fysisch en chemische goed functioneren van de bodem, bodemgezondheid als de biologische component van bodemkwaliteit, oftewel het biologisch goed functioneren van de bodem, die ook leidt tot algemene ziektevering, en die aangevuld wordt met specifieke bodem ziektevering). De doelen zijn meer ecologisch: Stabiliteit, flexibiliteit en biodiversiteit. Doran en Safley (1997) zien bodemgezondheid als een breder begrip dan bodemkwaliteit, met bodem als levend systeem. De definitie van bodemgezondheid van Doube & Smidt (1997) is vergelijkbaar met de definitie van bodemkwaliteit van Hanegraaf & Visser (2004) (afgeleid van Baere et al (1999), Schroder et al (2002)). Maar voor Doube & Smidt is het enige doel 'productie' terwijl voor Hanegraaf & Visser (2004) ook milieueffecten een doel zijn. Voor onderzoekers uit de pathogene richting is bodemweerbaarheid beperkt tot alleen de weerbaarheid tegen ziekten in het algemeen (algemene ziektevering) of tegen een specifieke ziekte (specifieke ziektevering)(Postma et al, 2008) met onverminderde productiviteit als doel.

Fysische en chemische gebreken zijn *geen onderdeel* van bodemgezondheid in de definitie van bodemgezondheid/weerbaarheid van Zanen et al (2009), maar kunnen de biologische eigenschappen *wel* beïnvloeden. In de andere definities is ruimte voor fysische/chemische gebreken binnen de term bodemgezondheid/bodemweerbaarheid, hoewel de nadruk vaak blijft liggen op biologische bodemgezondheid. In de definities van bodemkwaliteit spelen de chemische en fysische 'kwaliteiten' juist vaak de hoofdrol.

Een ruime set 'doelen' van bodemgezondheid wordt gegeven door Rutgers et al (2007) in wat zij noemen 'ecosysteem diensten' van de bodem, met als hoofdgroepen: 1) productiefuncties, 2) weerstand en flexibiliteit, 3) milieudiensten en 4) habitat voor biodiversiteit. Deze hoofdgroepen ecosysteemdiensten zijn gebruikt in tabel 1 om de doelen van bodemgezondheid van de verschillende definities/auteurs te geven.

Enige definities van bodemweerbaarheid en bodemkwaliteit

Tabel 1 Geeft aan of fysische/chemische gebreken *deel* zijn van bodemweerbaarheid of alleen gezien worden als *invloed*hebbend op een alleen biologische

Definitie Bodemgezondheid / bodemweerbaarheid	Fysisch / Chemisch ¹	Doelen ²	Definitie Bodemkwaliteit	Refs
Soil Health = The continued capacity of soil to function as a vital living system within ecosystem and land-use boundaries, to sustain biological productivity, promote the quality of air and water environments and maintain plant, animal and human health.	deel	pm	A suite of physical, chemical and biological properties that together 1) provide a medium for plant growth, 2) regulate and partition water flow and storage in the environment and 3) serve as an environmental buffer .	Doran & Safley (1997)
Healthy soils are those, in which the capacity of plants to convert sunlight and CO ₂ to structural carbohydrate (the capacity to grow) remains near the upper limit of potential productivity (set by environmental constraints) over an extended period	deel	p		Doube en Schmidt (1997)
Bodemweerbaarheid = Algemene ziektevering gevormd uit complex van biologische/fysische/chemische eigenschappen van elke bodem (en dus niet overdraagbaar van bodem op bodem) + Specifieke ziektevering door één organisme (wel overdraagbaar)	deel	p		Postma et al (2008)
Bodemweerbaarheid = Bodemgezondheid (goed bodembologisch functioneren) + algemene ziektevering + specifieke ziektevering	invloed	wb	Omvat bodembologische, bodemchemische en bodemfysische kenmerken, beantwoordend aan door mens gestelde vragen	Zanen et al (2009)
Beantwoorden aan vraag naar 'ecologische diensten': 1) productiviteit, 2) weerstand & flexibiliteit, 3) milieudiensten en 4) bescherming bodembiodiversiteit, door bodembologische, -chemische en -fysische factoren.	deel	pmwb	Idem bodemgezondheid	Rutgers et al (2007)
		pm	Het vermogen van de bodem om gewassen op langere termijn van voldoende water en nutriënten te voorzien zodat de gewassen tot een hoge productie per eenheid productiefactor komen met een lage belasting voor de omgeving	Baere et al. (1999) Schroder et al (2002) Hanegraaf & Visser (2004)

¹ Bodemweerbaarheid

² p - productie
m - milieu
w – weerstand & flexibiliteit
b – biodiversiteit

De bredere definities van bodemgezondheid of de definities met meer intrinsieke doelen, neigen richting het subjectievere 'hoe gezonder hoe beter' en 'hoe meer bodemleven hoe beter' gebaseerd op "expert judgement". De nauwere definities kunnen beter afbakenen (bv naar bodem x gewas), en kunnen exactere vragen stellen, maar lopen het risico een eenzijdig gezonde bodem te leveren, die ongezond is ten opzichte van andere doelen of aspecten (chemisch/fysisch).

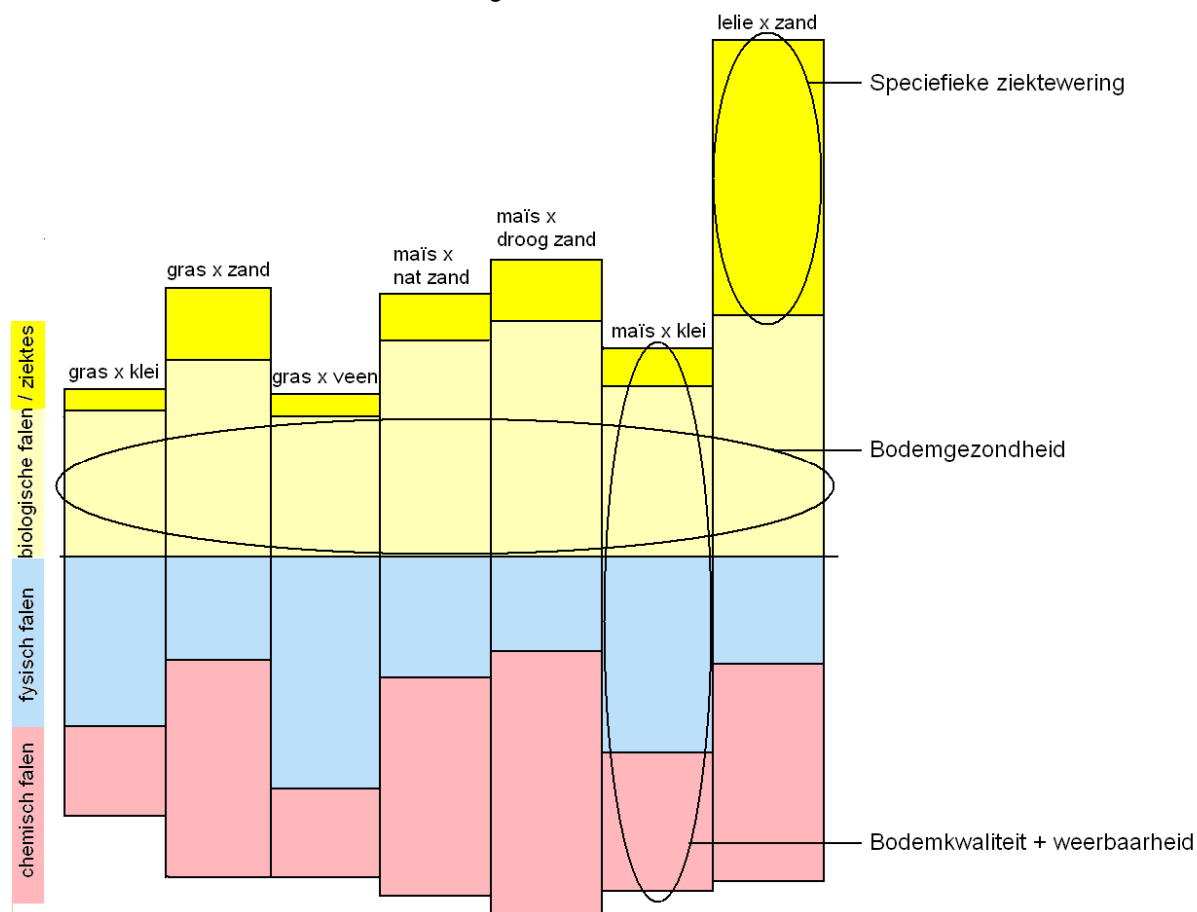
2.2 Samenhang diverse definities/benaderingen

De samenhang van de verschillende benaderingen van bodemkwaliteit / bodemweerbaarheid / bodemgezondheid zijn geschetst in figuur 1. Wat gezond en niet gezond is hangt deels af van gewas x bodem. Dit is in de figuur weergegeven door naast elkaar staande verticale kolommen voor de meest voorkomende bodem x gewas combinaties in de veehouderij. Aangezien gras en maïs relatief weinig specifieke ziektes hebben, is lelie x zand toegevoegd als contrast omdat lelie veel meer last heeft van specifieke ziektes dan gras of maïs. Voor iedere bodem x gewas combinatie is er een onderverdeling gemaakt in 1) specifieke ziekten (vs resistentie), 2) algemeen biologisch falen (vs functioneren/weerbaarheid), 3) fysische falen (vs kwaliteit) en 4) chemisch falen (vs kwaliteit). De ellipsen zijn getekend om het werkgebied van de verschillende benaderingen van bodemweerbaarheid aan te geven. Specifieke ziekten voor één bepaald gewas (één donker geel blokje / bovenste grijze blokje van een kolom) vormen het werkgebied van specifieke bodemweerbaarheid, de pathologische benadering van bodemweerbaarheid. Bodemgezondheid kan gezien worden als een goed biologisch functioneren voor een doorsnee van gebruiken (gemiddelde van alle licht gele blokjes voor alle gewassen op één of meerdere bodems). Deze bredere definitie van bodemweerbaarheid neigt naar het subjectievere 'hoe gezonder hoe beter' gebaseerd op 'expert judgement'.

De breedste benadering omvat biologische, fysische en chemische gebreken en kwaliteiten, maar dekt slechts alle blokjes uit één gewas x bodem kolom (lange verticale ellips in figuur 1).

Deelnemers aan een discussie naar aanleiding van dit rapport waren het er over eens dat de term 'bodemweerbaarheid' of nauwkeuriger uitgedrukt 'bodem ziektevering' beperkt moet blijven tot specifieke en algemene ziektevering van bodems en dat "bodemkwaliteit" als term beter geschikt is voor het beter of minder functioneren van de bodem op biologisch, chemisch en fysisch vlak.

Figuur 1 Overzicht van gebieden van bodemweerbaarheid / bodemkwaliteit opgebouwd uit bodem(on)gezondheid op fysisch, chemisch en biologisch gebied. De hoogte van de blokjes zijn een ruwe inschatting van de grootte van de problemen op chemisch, fysisch en biologisch (algemeen functioneren + specifieke ziektes) vlak. De ellipsen geven enkele gebieden van verschillende benaderingen / definities van bodemkwaliteit / bodemweerbaarheid / bodemgezondheid



2.3 Voor de veehouderij: bodemkwaliteit en ziektevering

De best passende benadering voor de veehouderij met gras en maïs als gewassen lijkt te zijn: **bodemkwaliteit en -ziektevering** – De mate waarin de bodem functioneert op fysisch, chemisch en biologisch gebied, inclusief de vering van bodemziekten per bodem x gewas combinatie, ten bate van één of meer nader te specificeren doel(en).

De keuze voor 'per bodem x gewas combinatie' komt voort uit de praktijk waarin gras of maïs grotendeels langjarig op dezelfde percelen staan, en er dus duidelijk onderscheid ontstaat tussen gras- en maïs percelen. Onderscheid tussen gras en maïs is bovendien nodig omdat deze 'gewassen' sterk verschillen: meerjarig vs eenjarig, met dicht en ondiep wortelstelsel vs met diep en schaars wortelstelsel, en ook het bodem management sterk verschilt, bv veel/weinig ploegen. Bodemsoort (klei/veen/zand) heeft ook duidelijk invloed op de te verwachten bodemkwaliteitsproblemen.

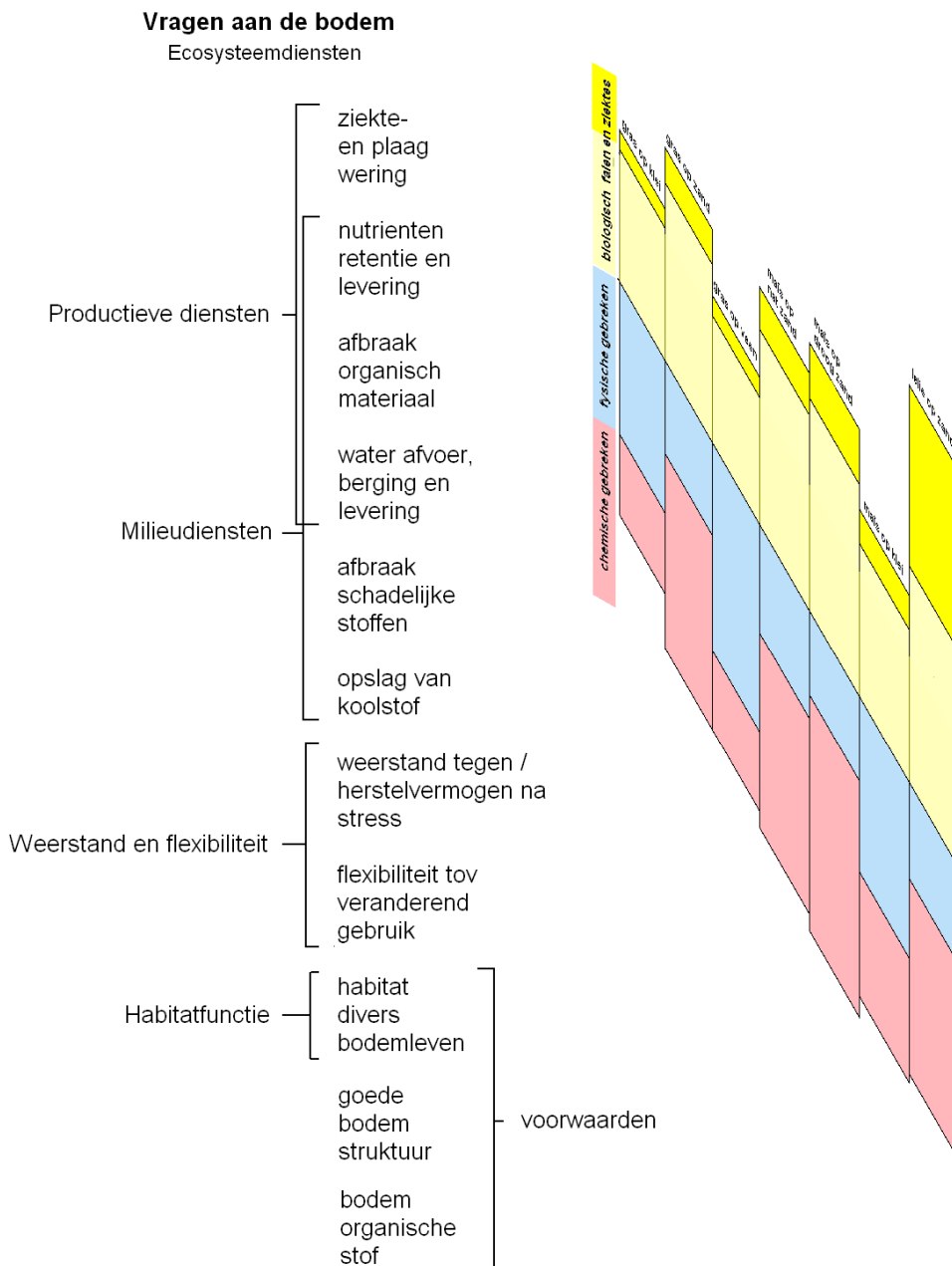
Het samen behandelen van biologische/chemische/fysische kwaliteiten en ziektevering is nodig omdat in maïs en gras geen enkel overwegend ziekte/gebrek de hoofdrol speelt, zonder verband met andere bodemeigenschappen. De bodemkwaliteit lijkt eerder een combinatie te zijn van biologische, fysische en chemische bodemeigenschappen.

Bij het samen behandelen van biologische/chemische/fysische ziekten/gebreken loop je bovendien niet het risico dat je 'een hoestje behandelt en een gebroken been over het hoofd ziet'.

3 Bodemkwaliteit en ziektevering waarvoor?

Behalve dat de ruimere of nauwere betekenis van ‘bodemweerbaarheid/kwaliteit’ bepaalt wat een gezonde of ongezonde bodem is, is er ook nog de vraag “gezond waarvoor?”. Is een bodem gezond voor een gewas (hoge productie van goede kwaliteit), voor de omgeving (geen milieuvuiling) of voor zichzelf (weerstand tegen verstoring en gezond voor bodemleven)? Om de vraag “gezond waarvoor?” te beantwoorden zijn de ‘ecosysteemdiensten’ van Rutgers et al (2007) enigszins aangepast als ‘vragen aan de bodem’ dwars op de verschillende benaderingen uit figuur 1 weergegeven in figuur 2: Elke vraag grijpt aan op één of meerdere gebieden van bodemkwaliteit en ziektevering, en heeft dus verband met minimaal één blokje maar in de meeste gevallen op meer blokjes uit figuur 1.

Figuur 2 Doelen / vragen aan de bodem als dimensie dwars op de diverse bodemweerbaarheidsconcepten



Deze vragen aan de bodem bepalen mede wat als gezond en ongezond gezien wordt. Ook hierbij geldt weer dat wat gezond is vanuit het ene perspectief, ongezond kan zijn vanuit het andere perspectief.

De hoofdzakelijke aanpassingen op de indeling van Rutgers et al (2007) zijn, a) onderscheid tussen diensten en voorwaarden/eigenschappen: Diensten zijn wat de bodem gevraagd wordt te *doen*: Leveren, opslaan, weerstand bieden e.d. Voorwaarden omvatten de paar bijna voor alle diensten noodzakelijke bodemeigenschappen, wat de bodem moet *hebben*. Hieronder valt goede bodemstructuur, genoemd als dienst bij Rutgers et al (2007) maar ook bodem organische stof. Habitat voor divers bodemleven is een dienst in de zin van gevarieerde huisvesting bieden. De aanwezigheid van bodemleven zelf is meer een voorwaarde voor goed functioneren van de bodem, vergelijkbaar met goede bodemstructuur en aanwezigheid van bodem organische stof. Overigens kan een bodem zonder deze 'voorwaarden' nog wél functioneren voor specifieke doelen (bijv. water filteren in duinen).

3.1 Sleuteleigenschappen van een multifunctionele bodem

3.1.1 Goede bodemstructuur

Bodemstructuur wordt o.a. beïnvloed door korrelgrootte verdeling, organische stof, bodembiota en door bodembewerking, betreding en berijding. Bodemstructuur heeft invloed op lucht en water gehalte en beweging in de bodem, op bodembiodiversiteit en activiteit, op beworteling, en daarmee indirect op de meeste van de onderstaande ecosysteemdiensten, niet alleen op de productieve diensten. Wat een goede structuur is hangt enigszins af van bodemtype en gewas, en van fysische, chemische en biologische factoren.

3.1.2 Bodem organische stof

Bodem organische stof wordt o.a. beïnvloed door organisch input materiaal, pH, bodemtextuur, bodemvoedselweb, lucht, vocht en temperatuur. Bodem organische stof heeft invloed op bodemstructuur, bodembiodiversiteit en de meeste ecosysteemdiensten: Ziekte- en plaagwering, nutriëntenretentie en levering, waterafvoer, -berging en levering, bufferen schadelijke stoffen, opslag van koolstof, weerstand en herstel na stress/verstoring en flexibiliteit ten opzichte van veranderend bodemgebruik. Een toename van organische stof in minerale bodems is in het algemeen gunstig voor de meeste doelen (productie, biodiversiteit, weerstand/flexibiliteit). Wat betreft milieu doelen is een toename aan organische stof zowel gunstig als ongunstig: Ongunstige bijeffecten van een hoge organische stof opbouw door organische materialen met veel nutriënten is een continu lekken van nutriënten naar grondwater. Organische stof kan op vele verschillende manieren verdeeld worden in fracties: bijvoorbeeld de onderverdeling in fulvozuren, humine zuren en humine, die meer gebaseerd is op chemische extractie. Zwaardere en lichtere organische stof fracties, een fysische karakterisering, kunnen een idee geven van de bodem organische stof dynamiek. Het gehele organische stofsysteem van een bodem kan gekarakteriseerd worden als mor of moder, en is gerelateerd aan het bodemvoedselweb. Losse organische stoffracties, zoals oplosbaar organisch C en heet water extraheerbaar C e.d., kunnen als indicator dienen voor bepaalde doelen, evenals ratios zoals C:N. De manier van organische stof bepalen, zou logischerwijs aan moeten sluiten bij de gevraagde ecosysteemdienst(en).

3.1.3 Bodem biota

Bodemorganismen spelen ook een rol in veel bodemprocessen en beïnvloeden daarmee de meeste ecosysteemdiensten: Ziekte en plaag wering, nutriëntenretentie en levering, afbraak organisch materiaal, water afvoer, afbraak schadelijke stoffen, opslag van koolstof, weerstand en herstel na stress/verstoring en flexibiliteit ten opzichte van veranderend bodemgebruik. Overigens is voor specifieke andere ecosysteemdiensten niet zozeer de *biodiversiteit* van belang als wel bepaalde (groepen) bodemorganismen (bijv. pendelwormen voor water afvoer). Een bepaalde (management)invloed kan dus schadelijk zijn voor de *biodiversiteit* van bodemleven, zonder direct schadelijk te zijn voor bepaalde *functies* van bodemleven, aan de ene kant omdat een bepaalde

functie (bv water afvoer) niet geschaad wordt door uitsterven van een bepaald bodemorganisme (bv protozoa X) en aan de andere kant omdat veel functies van bodemleven door meerdere soorten organismen uitgevoerd worden en groepen met een betere tolerantie voor bv een vergiftiging de functie overnemen (Giller et al, 1998). Slechts enkele bodemfuncties worden door heel weinig (verschillende) organismen behartigd, waardoor de functie werkelijk sterk afneemt als die organismen sterven of hun activiteit wordt belemmerd. Dit is bijvoorbeeld het geval voor nitrificatie en N-fixatie (Sparling, 1997; Brussaard et al, 1997; Giller et al, 1998). De meeste andere activiteiten worden bij inactief van het ene organisme overgenomen door andere organisme. Bodemleven als geheel vertoont een groot aanpassingsvermogen (Giller et al, 1998; Avrahami et al, 2003).

3.2 Productieve diensten; vragen aan de bodem ten bate van productie

3.2.1 Ziekten- en plaagwering

Voor een goede gewas productie moeten ziektes en plagen de plantengroei niet belemmeren. Het bodemweerbaarheidsconcept van o.a. Postma et al (2008), sluit het best aan bij deze ecosysteemdienst. Hierin wordt algemene ziektewering / bodemweerbaarheid geleverd door het bodemeigen complex van biologische / organische factoren, en wordt specifieke ziektewering geleverd door één specifiek organisme / biologische activiteit tegen één bepaalde ziekte. Specifieke weerbaarheid is dan ook overdraagbaar naar andere bodems (zoals een vaccin) door 'enten' van het betreffende actieve organisme, algemene weerbaarheid is zo verstrengeld met alle andere bodemeigenschappen dat het niet overdraagbaar is. Het bevorderen van algemene en specifieke ziektewering moet voorkomen dat noodgrepen als fumigatie en solarisatie fataal wordt voor het gehele bodemleven in de bovengrond, met onzekere effecten op het ecologisch evenwicht op de langere termijn en voor alle andere functies van bodemleven, zoals nutriënten retentie en levering, afbraak van organische stof, afbraak schadelijke stoffen, weerstand en herstel en natuurlijk de biodiversiteit in de bodem zelf. De weerbaarheid tegen ziekten en plagen is sterk afhankelijk van het gewas en bodem. De relatie met bodem fysische en chemische eigenschappen is alleen globaal bekend (bv invloed van pH, zware/lichte bodems, bodem organisch stof gehalte op frequentie van voorkomen van ziektes). Voor het doel ziekte en plaagwering zou een benadering die algemene ziektewering (bodem specifiek) plus specifieke ziektewering (gewas specifiek) combineert het meest relevant zijn, inclusief de relaties met fysische en chemische factoren.

3.2.2 Nutriëntenretentie en levering

Voor een goede gewas productie moet de bodem op het juiste moment genoeg van alle voor plantengroei benodigde nutriënten leveren. Dit betekent, vrijmaken van nutriënten als de gewasbehoefte hoog is en vasthouden van nutriënten als de gewasbehoefte en/of beworteling laag is. Van invloed op nutriëntenretentie en -levering zijn: vorm (geadsorbeerd, gecomplexed, in oplossing, (in)organisch) en omzetbaarheid/beschikbaarheid van nutriënten, afbraak van organisch materiaal en biologische activiteit (mineralisatie, immobilisatie), bodemchemische reacties, gebalanceerde beschikbaarheid van nutriënten voor betreffende gewas, bodemstructuur voor doorwortelbaarheid en bodemvocht. Dus moet de bodem zowel fysisch, chemisch als biologisch goed functioneren en verschilt de benodigde (timing van) nutriënten levering en retentie met de gewasspecifieke beworteling en nutriëntenbehoefte door de tijd. Een goede levering kan vaak samengaan met een minder goede retentie (maar niet noodzakelijkerwijs) en vice versa: bv. nitraat is goed beschikbaar voor plantopname maar spoelt wél makkelijk uit, kationen aan de CEC zijn goed beschikbaar voor plantopname maar spoelen minder uit. Voor het doel nutriënten retentie en levering is een benadering die biologische, fysische en chemische invloeden meeneemt per bodem x gewas combinatie het meest relevant.

3.2.3 Afbraak organisch materiaal

Voor een goede gewas productie moet organisch materiaal (mest, gewasresten etc) omgezet worden in bodem organische stof met al zijn fysische en chemische functies, zoals nutriënten retentie en levering, water berging en afvoer, goede bodem structuur. Te snelle/volledige afbraak van organische

stof werkt negatief op de koolstof opslag. Van invloed op afbraak van organisch materiaal zijn biologische activiteit (gerelateerd aan respiratie), type/structuur organische verbindingen, zuurstof, bodemvocht, temperatuur, nutriënten beschikbaarheid. Afbraak van organisch materiaal is wel bodem afhankelijk maar in mindere mate gewas specifiek en kan dus gezien worden als algemene bodemgezondheid op biologisch, chemisch en fysisch vlak, met wel enige afhankelijkheid van bodemtype: Door complex en aggregaat vorming van organische stof met klei (en silt) is de afbraak van organische stof beperkter in zwaardere bodems dan in zandgronden, met gevolgen voor nutriënten levering (mogelijk lager) en C-opslag (hoger). Voor het doel afbraak van organisch materiaal zou een benadering die biologische, fysische en chemische invloeden meeneemt per bodemtype (niet per gewas) het meest relevant zijn.

3.2.4 Waterafvoer, -berging en -levering

Voor een goede productie moet het gewas beschikken over een doorlopende waterbeschikbaarheid om de celspanning op peil te houden en transpiratie, respiratie en CO₂-opname via de huidmondjes mogelijk te maken. Een goede waterberging houdt een voldoende groot deel van de neerslag in de doorwortelde bodemlaag. Een goede levering bestaat uit een goede berging plus eventuele capillaire opstijging van water uit diepere bodemlagen of grondwater. Aan de andere kant moet een teveel aan water goed afgevoerd kunnen worden om voldoende lucht in de bodem te houden die nodig is voor bijna alle gewaswortels en voor veel bodemleven en bodemprocessen.

Waterafvoer, -berging en -levering wordt vooral beïnvloed door bodemstructuur. Vochtgehalte (en lucht), en waterbeweging in de bodem hebben invloed op de biologische activiteit, en daarmee op afbraak van organisch materiaal en schadelijke stoffen, nutriënten levering en retentie en C-opslag. Voor deze ecosysteem dienst zijn dus vooral de bodemfysische en de beïnvloedende bodem chemische en biologische eigenschappen van belang, die duidelijk verschillen per bodemtype (klei, zand, veen). Gewassen hebben verschillende tolerantie niveaus voor droge of natte omstandigheden, voornamelijk afhankelijk van hun beworteling en waterbehoefte. Voor het doel water afvoer, berging en levering zou een benadering die biologische, fysische en chemische invloeden meeneemt per bodem x gewas combinatie dus het meest relevant zijn.

3.3 Milieudiensten: vragen aan de bodem ten bate van het milieu

3.3.1 Nutriëntenretentie

Voor het milieu is het van belang dat de bodem geen excessieve hoeveelheden nutriënten doorlaat tot het grondwater of in de vorm van schadelijke gassen (NH₃, N₂O, CH₄, H₂S) de lucht in laat ontsnappen. Dit hangt af van aanwezigheid en vorm/beschikbaarheid van C, N en S, bodemleven verantwoordelijk voor omzetting in de betreffende gassen en zuurstof/doorluchting en dus structuur en waterafvoer in de bodem (zie paragraaf 3.2.2).

3.3.2 Afbraak organisch materiaal

Voor het milieu is het van belang dat de bodem organisch materiaal afbreekt als “afvalverwerkings mechanisme” en omdat hiermee bodem organische stof gevormd wordt (zie paragraaf 3.2.3)

3.3.3 Waterafvoer en -berging

Voor het milieu is het van belang dat water goed door de bodem afgevoerd wordt o.a. om korstvorming aan de oppervlakte en afspoeling/erosie van bovengrond (met hoge nutriëntengehalten) en dichtslibben van waterlopen te voorkomen. Goede waterafvoer is eveneens nodig om anaerobe situaties waarin schadelijke gassen worden gevormd (CH₄, H₂S) te voorkomen (van den Pol – van Dasselaar, 1998; Kamp & Bos, 2006).

Een slechte waterafvoer kan leiden tot een verlaging van NH₃ emissie (Huijsmans, 2003) en een verlaging van N₂O flux op nattere gronden (bij waterverzadigingsgraad > 0,8, minder N₂O, meer N₂) maar tot een verhoging van N₂O flux op drogere gronden bij waterverzadigingsgraad 0,5-0,8 (Kroes et

al 2000). Overmatige waterhoeveelheden die door macroporiën snel worden afgevoerd kunnen positieve en negatieve effecten hebben op uitspoeling naar het grondwater: Negatief in geval van oplossen en meevoeren van mest en bestrijdingsmiddelen direct vanaf de oppervlakte, positief door minder contact van water met de bodemmatrix en daardoor minder oplossen en meevoeren van nutriënten in de bodem naar het grondwater (zie paragraaf 3.2.4).

3.3.4 *Afbraak van schadelijke stoffen en bufferen van schadelijke werking*

Voor het milieu is het van belang dat schadelijke stoffen afkomstig van bv. pesticiden en diergeneesmiddelen afgebroken worden, zodat geen uitspoeling naar het grondwater of ophoping in de bodem plaatsvindt. Bufferen door de bodem van de schadelijke stoffen kan de schadelijke werking verminderen. De buffercapaciteit van de bodem voor bv zware metalen is o.a. afhankelijk van pH, organische stofgehalte, klei %, ijzeroxidegehalte, redox potentiaal en aanwezigheid van complexerende organische moleculen in de bodemoplossing (Giller et al, 1998; Jjemba, 2002).

Ophoping van schadelijke stoffen bij lage buffercapaciteit van de bodem zou de biologische activiteit in de bodem kunnen verminderen en daarmee veel bodemfuncties ondermijnen: ziekte en plaagwering, afbraak van organische stof en schadelijke stoffen zelf evenals de nutriënten retentie en levering. Van invloed op afbraak en bufferen van schadelijke stoffen zijn, de aard van de stof, binding aan bodemdeeltjes (organisch en mineraal) en alle directe of indirecte invloeden op de (activiteit van) afbrekende bodemorganismen. Zware metalen, die ook onderdeel kunnen zijn van pesticiden en diergeneesmiddelen kunnen niet worden afgebroken, en hopen zich dus op in de bodem of komen in het grondwater of in de plant terecht. De (tijdelijke) buffercapaciteit hangt wel samen met bodemtype. Soort gewas lijkt van minder belang. Voor het doel afbraak en bufferen van schadelijke stoffen zou een benadering die biologische, fysische en chemische invloeden per bodemtype meeneemt het meest relevant zijn.

3.3.5 *Opslag van koolstof*

Een recente ecosysteem dienst aan het milieu, waar de bodem een rol in zou kunnen spelen is de opslag van koolstof ter compensatie van de uitstoot van CO₂ en de effecten van broeikasgassen. De snelheid van plantengroei en mineralisatie van bodem organische stof gaan veelal gelijk op; beide hoog in warme klimaten en beide laag in koude klimaten, wat betekent dat in koude klimaten C-vastlegging in biomassa de C-opslag in de bodem beperkt en in warme klimaten snelle C-mineralisatie uit de bodem de C-bodemopslag beperkt. Het opslaan van biomassa uit warme streken in bodems in koudere streken gebeurt in feite al jaren: C dat via veevoer uit de tropen als mest in de Nederlandse bodem terechtkomt. Dit heeft echter negatieve bijeffecten voor het milieu doordat behalve C ook andere mineralen getransporteerd worden wat leidt tot nutriëntenoverschotten in NL bodems (vooral P) en nutriënten verliezen in veevoerproductie landen. Mogelijk zou het opslaan in de bodem van een inerte vorm van C (bv houtskool) deze vraag naar opslag van koolstof kunnen beantwoorden zonder negatieve bijeffecten op andere ecosysteem diensten, vooral in warmere streken waar C-vastlegging in biomassa snel gaat. Opslag van koolstof in de bodem hangt dus af van temperatuur en vocht in de bodem, van afbreekbaarheid van organisch materiaal, activiteit van bodemleven en afbraakproducten, en van complexvorming met minerale delen. Opslag van koolstof in de bodem is veelal negatief gecorreleerd met afbraak van organische stof en nutriëntenlevering: Factoren die deze functies vergroten verkleinen veelal de C-opslag en vice versa (zie paragrafen 3.2.2 en 3.2.3). Voor het doel opslag van koolstof zou een benadering die biologische, fysische en chemische invloeden per bodemtype meeneemt het meest relevant zijn. Gewas is alleen relevant als het ook de leverancier van het organisch materiaal voor C-opslag is.

3.4 Weerstand, flexibiliteit en bodembiodiversiteit: Vragen aan de bodem ten bate van de Bodem

3.4.1 Weerstand tegen en herstelvermogen na stress

Ter voorkoming van bodemdegradatie (=onomkeerbaar verlies van hulpbronnen), is het van belang dat de bodem weerstand kan bieden tegen verstoringen en stress of veerkracht/herstelvermogen bezit om van verstoringen en stress te 'genezen'. Invloeden van buiten zoals zure regen, zware metalen maar ook hitte of overstroming kunnen een aanslag doen op de bodem. Weerstand tegen en herstelvermogen na shock/stress wordt o.a. in verband gebracht met bodem biodiversiteit. De hypothese is dat bij een grotere biodiversiteit, een shock of stress die (bijna) fataal wordt aan één (soort) bodemorganisme, minder snel tot het totale wegvallen van (een) bepaalde bodemfunctie(s) zal leiden omdat andere bodemorganismen deze functies over kunnen nemen (Pankhurst, 1997; Van Eekeren et al, 2008), maar deze hypothese is nog niet bewezen (Giller et al, 1998). Mogelijke andere invloeden op weerstand en herstelvermogen zijn een stabiele bodemstructuur en organische stof. Weerstand en herstelvermogen hangen daarmee af van zowel biologische, fysische als chemische bodemeigenschappen. Bodemtype speelt daarmee ook een rol, maar gewas waarschijnlijk minder.

3.4.2 Flexibiliteit tov veranderend bodemgebruik

Er zijn altijd bodems (geweest) waarbij eerst zorgvuldig management nodig is/was om ze bruikbaar te maken voor een bepaald doel (bv de vorming van enkeerd en beeekeerd gronden uit van oorsprong schrale dekzanden, of geschikt maken van duinzand voor bollenteelt). Ook moet er bij elke monocultuur en vruchtwisseling rekening gehouden worden met het tegengaan van (bodem) ziektes. Ook in de natuur zijn niet alle bodems goed voor iedere natuurlijke vegetatie. Flexibiliteit ten opzichte van veranderend bodemgebruik is dus meer een gewenste dienst, dan een natuurlijke dienst van de bodem. Desondanks kan langdurig management voor een beperkt gebruik een bodem een "nieuwe" ongeschiktheid voor alternatief gebruik en daarmee een inflexibiliteit meegeven: bv voor natuurontwikkeling kan ophoping van bepaalde nutriënten (bv P) ten opzichte van andere nutriënten leiden tot een zeer eenzijdige vegetatie ontwikkeling. Afhankelijk van het lange termijn perspectief op andere gebruiken zou al te eenzijdige bodemgeschiktheid vermeden kunnen worden om een bepaalde flexibiliteit te handhaven. Dit gaat richting het streven naar een "gemiddelde" bodemgezondheid in de trant van de horizontale ellips in figuur 1, maar dan over biologische, chemische en fysische aspecten. Onevenwichtigheden in nutriënten aanbod ten opzichte van de vraag van andere gewassen of vegetaties en specifieke ziektes/plagen beïnvloeden de flexibiliteit. Ook specifieke gevallen van fysische eigenschappen behorend bij een bepaald gebruik kunnen de gebruiksflexibiliteit belemmeren (bv groente na natte rijst). Flexibiliteit hangt dus voornamelijk af van het huidige gebruik, het gewas en het bijbehorende management, dat effecten kan hebben op biologische, chemische en fysische bodemeigenschappen.

3.4.3 Habitat voor divers bodemleven

Behoud van bodembiodiversiteit is een doel/dienst op zich, omdat het vanuit biologisch oogpunt waarde heeft om soortenrijkdom te behouden, ook in de bodem. Een rijke bodembiodiversiteit wordt o.a. beïnvloed door een bodemstructuur met een grote variëteit aan niches voor de verschillende groepen bodemleven (Brussaard, 1997) en door (diversiteit aan) organisch materiaal inputs (Coleman et al, 2005). Hoeveelheden van verschillende groepen bodemleven zijn niet gecorreleerd; springstaarten en mijten zijn in grotere getale aanwezig waar aantallen wormen, nematoden en bacteriën juist laag zijn en vice versa (RIVM, 2007; van Eekeren et al 2003). Diversiteit en hoeveelheid aan slakken is het grootst op cultuurgrond (Doube & Schmidt, 1997), maar wordt zelden beschouwd als aanwinst voor de biodiversiteit.

Tabel 2 Referentie bodemparameters voor bodems van melkveehouderijbedrijven op klei, löss, veen en zand waarin geen onderscheid is gemaakt tussen gras en maïs (RIVM, 2007)

	Klei	Löss	Veen	Zand
Bact. biomassa ($\mu\text{gC g}^{-1}$)	634	620	215	81
Bact. activiteit ($\text{pmol g}^{-1} \text{h}^{-1}$)	436	108	115	105
Bact. diversiteit (aantal DNA banden)	62	59	56	68
Pot. C-min ($\text{mg C kg}^{-1} \text{wk}^{-1}$)	142	65	303	50
Pot. N-min ($\text{mg N kg}^{-1} \text{wk}^{-1}$)	7,9	5,9	28,2	5,6
Funct. diversiteit (helling awcd-curve)	0,35	0,45	0,3	0,52
Funct. Activiteit ($\mu\text{g C g}^{-1}$)	117	341	76	486
Schimmel biomassa ($\mu\text{g C g}^{-1}$)			38	
Nematode (aantal / 100g)	6137	4817	9363	4240
Nematode div. (aantal taxa)	29	27	30	29
Potwormen (aantal m^{-2})	78500	46850	31700	32505
Potwormen div. (aantal taxa)	6,4	7,3	10,4	8,7
Regenwormen (aantal m^{-2})	743	336	336	77
Regenwormen div. (aantal taxa)	8,3	7,0	7,0	2,8
Micro-arthropoden (aantal m^{-2})	22330	16590	70735	20660
Micro-arthropoden div (aantal taxa)	31	32	40	24
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	74	74	87	64

3.5 Belang voor de veehouderij

Voor veehouderij die in eerste instantie gericht is op voedselproductie, ligt de eerste prioriteit bij productieve diensten. Weerstand en flexibiliteit zullen voor een op voedselproductie gerichte veehouderij een aan de productie ondergeschikte bodemdienst zijn: In hoeverre zijn weerstand en flexibiliteit nodig om de productie op lange termijn in stand te houden. Vanwege de vraag naar en druk op *duurzame* productie, (duurzaam is hier zonder afwentelingen op de omgeving) moeten die productieve diensten verwerkelijkt worden met minimale negatieve bijeffecten op het milieu. Voor situaties waarbij milieubelangen in strijd komen met productiebelangen, worden grenzen gesteld aan het maximaal toegestane negatieve effect op milieu (bijv. nitraat in grondwater, N-overschot, P-overschot). De ecosysteemdienst "habitat voor bodembiodiversiteit" kan ook in strijd komen met de dienst 'productie'. Het is duidelijk dat bovengrondse biodiversiteit in de landbouw vaak minimaal is.

Het RIVM heeft 'standaarden' voor tien Nederlandse bodem x landbouwsituaties ontwikkeld door 18 biologische indicatoren (en vier chemische) te meten aan wat door experts werd gezien als "goed beheerde bodems" (RIVM, 2007). Deze standaarden voor de 18 biologische indicatoren in de vier veehouderijsystemen zijn gereproduceerd in tabel 2 en geven dus streefwaarden voor biodiversiteit en biomassa per groep, geen minima. Streefwaarden zijn bruikbaar als er geen tegengestelde belangen tussen productieve doelen en habitat voor bodembiodiversiteit zijn. Zijn die er wél en ligt de prioriteit bij productie, dan zouden (verplichte) minima voor biologische variabelen beter kunnen werken. Het is echter de vraag of dit mogelijk is: Welke hoeveelheid van welke (groepen) organismen is minimaal benodigd?

Hier wordt dus gekozen voor prioriteit 1) productie (incl. weerbaarheid/veerkracht en flexibiliteit) en prioriteit 2) milieu en habitat biodiversiteit. Voor veehouderij die minder gericht is op productie en meer op zaken als natuurbeheer, imago e.d. kan de prioritering anders liggen.

Een inschatting van bodemkwaliteit+weerbaarheids problemen is weergegeven in tabel 3 voor de zes bodem x gewascombinaties die het grootste deel van de veehouderij uitmaken. Hieronder worden ze opgesomd.

A. Goede bodemstructuur

Waar is structuur een probleem?

- verdichting in maïs/gras op zand (nat & droog)
- verdichting in maïs/gras op klei

B. Ziekte- en plaagwering

Waar zijn ziektes/plagen een probleem?

- aaltjes in maïs op zand (nat en droog)
- aaltjes in gras op zand
- fusarium in maïs (geen bodemziekte, geen probleem voor maïs, mogelijk (toekomstig) probleem voor veevoer)

C. Nutriënten retentie en –levering

Waar is nutriëntenverlies en/of nutriëntenlevering een probleem?

- hoge nutriëntenuitspoeling in maïs op zand (droog)
- hoge denitrificatie in maïs/gras op klei, veen en nat zand
- te lage nutriënten levering aan gras/maïs op zand

D. Afbraak organisch materiaal

Waar is afbraak van organisch materiaal een probleem?

- te hoge organische materiaalafbraak en maaiveldddaling in gras op veen
- netto organische stof afbraak en laag organisch stofgehalte in maïs, vooral op zand

E. Water afvoer, berging en levering

Waar is water afvoer, berging en levering een probleem?

- droogte in gras op (droog) zand en klei (soms ook op veen)
- droogte in maïs op (droog) zand
- waterafvoer na stortbuien vooral op maïs op klei en fijn zand
- waterafvoer bij (ver)hoog(d) grondwaterpeil op veen

F. Afbraak schadelijke stoffen

Waar zijn schadelijke stoffen een probleem?

- toemaakdek met zware metalen in gras op veen
- mogelijk: Cu en Zn in velden bemest met koemest of vooral varkensmest, vooral op zand (bodems met lagere buffercapaciteit en lagere pH)
- mogelijk: diergeneesmiddelen in velden bemest met koemest of varkensmest

G. Opslag van koolstof

Waar kun je koolstof het beste opslaan?

- bodems met hoge opslagcapaciteit, bv. klei met laag o.s.gehalte (opbouw o.s. % nog mogelijk)
- bodems met lage/verstoorde o.s.mineralisatie (door vervuiling/vergiftiging of door zuurstofgebrek)
- alle bodems bij aanvoer inerte C bijv. houtskool

H. Weerstand tegen en herstelveeomogen na stress/verstoring

Waar is weerstand tegen en herstelveeomogen na een verstoring/stress een probleem?

- schrale bodems met monocultuur (bv maïs op zand)
- gebieden met veel verstoringen/stress (droogte, waterlogging, hitte, vervuiling)

I. Flexibiliteit tov veranderend gebruik

Waar is flexibiliteit ten opzichte van veranderend gebruik een probleem?

- natuur na grasland met ongebalanceerde nutriëntenvoorraden (overdosis P tov N en K)
- mogelijk: Bij verhuur van gras of maïsland aan bv bollentelers

J. Habitat divers bodemleven

Waar is habitat voor een divers bodemleven een probleem?

- maïs op zand (en klei) vanwege de monocrop en daling in bodem organische stof

Tabel 3 Inschatting van problemen met brede bodemkwaliteit + weerbaarheid (fysisch, chemisch, biologisch) in de veehouderij
(v = mogelijk een probleem, - = geen probleem)

Ecosysteemdiensten	gras op klei	gras op zand	gras op veen	mais op nat zand	mais op droog zand	mais op klei
A. goede bodemstructuur	verdichting	verdichting ondergrond	-	verdichting	verdichting	verdichting
B. ziekte en plaag wering	-	aaltjes	-	aaltjes	aaltjes	-
C. nutriënten retentie en levering	denitrificatie	lage levering	denitrificatie	lage levering denitrificatie	uitspoeling lage levering	denitrificatie
D. afbraak organisch materiaal	-	-	hoge afbraak	hoge afbraak	hoge afbraak	-
E. water afvoer berging en levering	afvoer droogte	droogte	afvoer	-	droogte	afvoer
F. afbraak schadelijke stoffen	-	Cu+Zn? Diergeneesmiddelen?	zware metalen ¹	Cu+Zn? Diergeneesmiddelen?	Cu+Zn? Diergeneesmiddelen?	-
G. opslag van koolstof	Afhankelijk van grondsoort, C-vorm en afbreekbaarheid					
H. weerstand en herstelvermogen	-	-	-	v	v	-
I. flexibiliteit tov veranderend gebruik	-	v	v	v	v	-
J. habitat voor bodembiodiversiteit	-	-	-	v	v	v

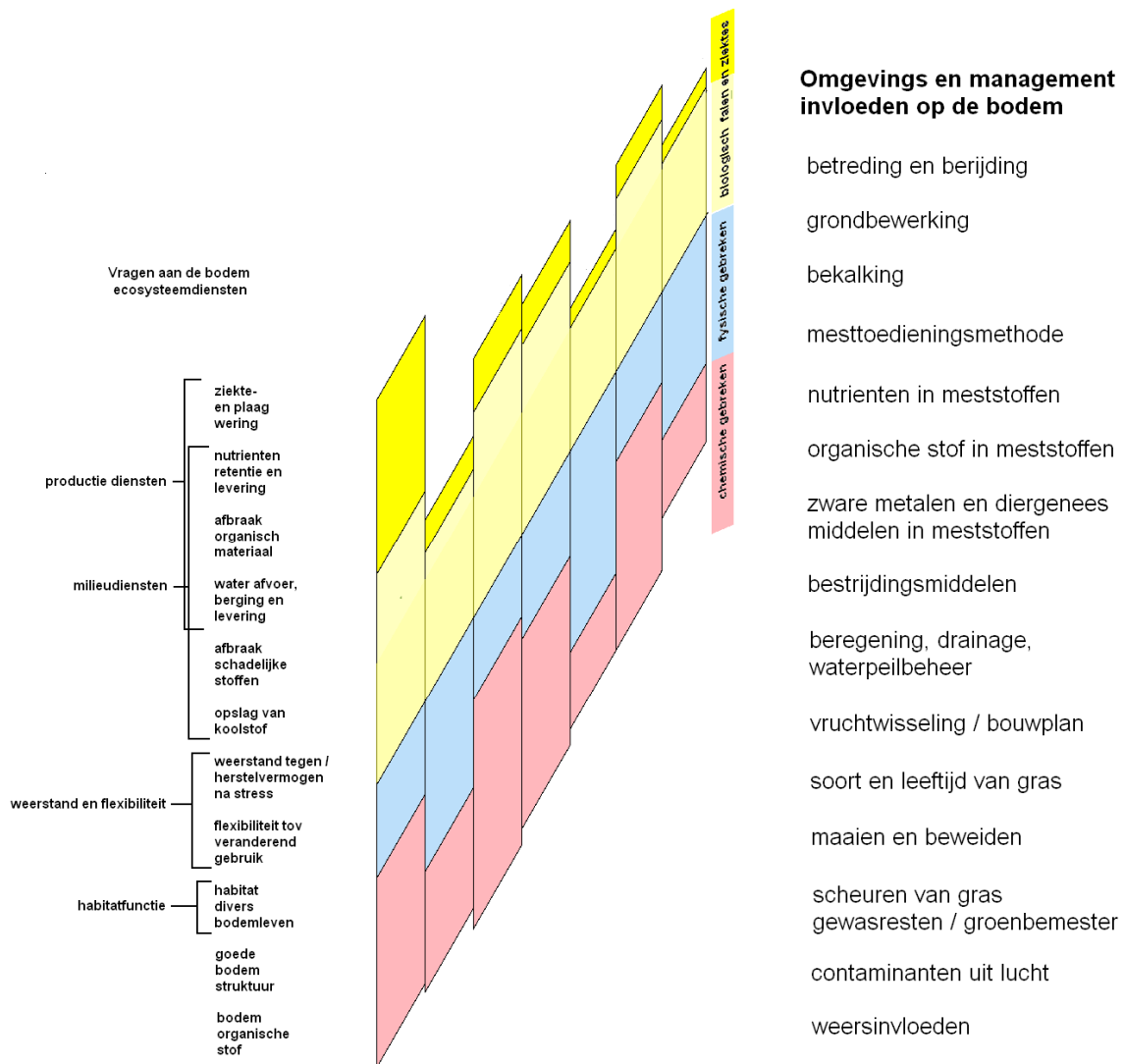
1 in geval van oud verontreinigd toemaakdek

Aangezien tabel 3 aangeeft dat er binnen één bodem x gewascombinatie vaak meerdere bodemkwaliteit- en ziekteeringsproblemen (kunnen) spelen, kunnen die problemen het best gezamenlijk onderzocht en opgelost worden. Op die manier loop je minder kans het ene probleem te verergeren bij aanpak van een ander probleem en bovendien is het goed mogelijk dat verschillende problemen elkaar versterken en dus sowieso beter samen opgelost kunnen worden. Voor verder onderzoek naar bodemkwaliteit en ziekteering in de veehouderij, dat een set van problemen per bodem x gewas gezamenlijk aanpakt, is het van belang dat metingen relatie hebben met de voorkomende problemen. In tegenstelling tot een benadering die uitgaat van algemene "bodem gezondheid" voor flexibel gebruik, en waarbij één en dezelfde set metingen wordt gedaan op alle bodem x gewas situaties, zou ik er dus voor pleiten om voor elke gewas x bodem situatie in de veehouderij een set indicatoren / metingen te ontwikkelen die de bodemkwaliteit en ziekteering van die specifieke bodem x gewas situatie zo goed mogelijk adresseert. Dat betekent dat bodemkwaliteit en ziekteering van "maïs op droog zand" een andere, bredere set metingen nodig heeft, die aanwijzingen geeft over meer bodemkwaliteit- en ziekteeringsproblemen dan bijvoorbeeld "gras op klei". Er kan wel overlap zijn in de twee sets. Het zal nodig/nuttig zijn om het mechanisme van werking tussen meting/indicator en bodemkwaliteit- en ziekteeringsprobleem zo duidelijk mogelijk te krijgen. Vooral op bodembologisch vlak zal dit hoogstwaarschijnlijk nog problemen opleveren, door gebrek aan kennis op gebied van meetbare biologische eigenschappen voor de verscheidene functies, en door flexibiliteit en aanpassingsvermogen van de bodembiota.

4 Welke management- en omgevingsfactoren beïnvloeden bodemkwaliteit en ziektevering in de veehouderij?

De bodemkwaliteit en ziektevering hangt af van 1) hoe breed de benadering is gekozen en 2) waar vóór de bodem kwaliteit moet hebben. Dit wordt bovendien doorlopend beïnvloed door management en omgeving. Slechts een deel van alle (management)invloeden is gericht op bodemkwaliteit en ziektevering, veel andere (management)invloeden zijn niet gericht op bodemkwaliteit en ziektevering maar hebben hier wel effect op in negatieve of positieve zin, direct of indirect. In figuur 3 worden management- en omgevingsinvloeden in de veehouderij dwars op figuur 1 gezet om aan te geven dat deze invloeden aangrijpen op één of meer aspecten van de verschillende gebieden van falen en functioneren van de bodem.

Figuur 3 Management- en omgevingsinvloeden in de veehouderij dwars op bodemkwaliteit + weerbaarheid benaderingen en de mogelijke doelen



4.1 Betreding en berijding

Koeien betreden de weilanden. Dit kan leiden tot structuurverlies, vooral in natte perioden, het sterkst op klei- en veengronden, en afhankelijk van beweidingdruk (aantal koeien per ha en duur van beweiden: standweide > rotatie > strip grazen). Berijding door machines kan leiden tot grotere slijtage van de graszode en van structuurverlies. Compactie is een probleem vooral bij veen, klei en leem, bij laag organisch stofgehalte, gebruik van zware machines, natte bodem, hoge bandenspanning, twee of meer keer hetzelfde spoorgebruik, maïsland > grasland (bij zelfde bodemtype) (Kamp & Bos, 2006;). Structuurverlies heeft negatieve gevolgen voor de ecosysteem diensten water afvoer, berging en levering en voor habitat divers bodemleven, voor nutriënten levering (via mineralisatie en bewortelbaarheid) en nutriënten retentie (via watervasthoudend vermogen) en voor afbraak organische stof door afname van luchtgehalte (minimaal 10 %) en -samenstelling (minimaal 12% O₂) in de bodem (Van Eekeren et al, 2003; Kamp & Bos, 2006). Op lichte zandgrond kan bodemverdichting leiden tot extra capillaire opstijging en daarmee een positief effect hebben op waterlevering, vochthuishouding, en de daardoor beïnvloede bodemprocessen (Hanegraaf & de Visser, 2004).

4.2 Grondbewerking

Grondbewerking (ca. 30 cm diep) is bedoeld om onkruid en gewas/gras resten onder te werken, en bodemdichtheid in de bovengrond te verminderen. Diepe grondbewerking leidt vaak alleen tijdelijk tot een afgenomen bodemdichtheid (Moebius et al, 2007) en voornamelijk in de bovengrond. Diepe grondbewerking van grasland decimeert de wormenpopulatie onder/na meerjarig gras (van Eekeren; 2008), verstoort bodemleven en werkt gewasresten (te) diep onder (Hanegraaf & de Visser 2004). Diep inploegen van de graszode en wortels vergroot het vochthoudend vermogen dieper in het profiel, wat vooral positief kan zijn op droog zand (Hanegraaf & de Visser, 2004). Geen grondbewerking (no-tillage) met gebruik van herbiciden, leidt tot kleine verhogingen of verlagingen in productie van gras (Kotorova & Kovac, 1999) of maïs (Smith et al, 1992). Geen grondbewerking leidt tot verhoogde uitstoot van broeikasgassen (Ball et al, 1999; Vinten et al, 2002). No-tillage heeft positieve effecten op aggregaatstabiliteit (Wright et al, 1999) en de waterdoorlatendheid en gasdiffusie in diepere bodemlagen zijn beter bij no-tillage (Douglas & Goss, 1987). Ondiepe grondbewerking (10-15 cm diep) zou een alternatief kunnen zijn om negatieve effecten van diepe grondbewerking en negatieve effecten van no-tillage te vermijden.

4.3 Bekalking

Bekalking verhoogt de pH en beïnvloed daarmee het bodemvoedselweb en vele bodemprocessen, waaronder organische stof afbraak en nutriënten mineralisatie (Haynes & Swift, 1988; van Eekeren et al, 2003). Bekalking wordt in Nederland voornamelijk gedaan om de pH op peil te houden (niet onder pH_{KCl} 4.8 voor gras (Handboek melkveehouderij, 2009), maar heeft ook positieve effecten op structuur en wormenpopulatie en daarmee op waterafvoer en afbraak van dode graswortels (de vervuilde laag van onafgebroken materiaal onder gras) (van Eekeren et al, 2003; Kamp & Bos, 2006). Zware metalen zijn in basische omstandigheden gebonden aan humus en klei, maar lossen op onder zure, natte omstandigheden en kunnen dan in hoge concentraties vrij in de bodemoplossing voorkomen, giftig voor bodemleven en plantenwortels (Kamp & Bos, 2006). Bekalking en pH verhoging hebben als negatieve bijwerking (op het milieu) dat het de ammoniak uitstoot bevordert (Kamp & Bos, 2006), en pH stijgingen leiden tot een verhoging in bacterie : schimmel verhouding in de bodem (de Vries et al, 2006) en tot verlaging van bodem organisch stof gehalte door versnelde afbraak van organisch C (van Eekeren et al, 2003).

4.4 Mesttoedieningsmethode

Er zijn verschillende manieren om organische mest toe te dienen. Oorspronkelijke oppervlakte toediening is niet meer toegestaan vanwege het hoge percentage ammoniak verliezen. Zodenbemesting in gras kan negatieve effecten hebben op wormenpopulatie en andere bodembiota door fysische verstoring, giftig hoge concentraties van ammoniak, fenolen en sulfaatverbindingen en tijdelijk zuurstofarme omstandigheden (van Eekeren et al, 2003). Op maïspcerelen wordt in het voorjaar dierlijke mest ingebracht met een bouwlandinjecteur. Ook hierbij wordt de (drijf)mest direct in de grond gespoten en kunnen theoretisch de bovengenoemde effecten voorkomen.

4.5 Nutrienten in meststoffen

Kunstmeststoffen bevatten nutriënten in minerale vorm, die direct opneembaar zijn voor gewas en microben. Vooral nitraat, dat niet adsorbeert aan de bodem in Nederland (geen/nauwelijks AEC) kan snel uitspoelen, wanneer het niet wordt geïmmobiliseerd door microben of op andere wijze bindt aan bodemorganische stof (Davidson et al, 2003). Kalium wordt deels geadsorbeerd aan de bodem (CEC) en fosfaat wordt geadsorbeerd en gefixeerd aan, of vormt complexen met bodemdeeltjes (Tan, 1993), naast mogelijke microbiële immobilisatie bij hoge C:P van organische stof. In organische meststoffen zijn nutriënten gebonden aan organische stof en komen vrij met mineralisatie van organische stof of door andere microbiële activiteiten of chemische processen (enzymen, hydrolyse). Aangezien de microbiële activiteit rondom wortels vaak veel groter is dan in bulkgrond, worden in de grond rondom wortels (rhizosfeer) vaak veel meer nutriënten vrijgemaakt dan in bulkgrond (Marschner, 1995), de rhizosfeer activiteit verschilt per gewas/plant (Radersma, 2002). Type binding van organisch nutriënt in interactie met gewas(wortels) heeft ook effect op de nutriëntbeschikbaarheid. Micronutriënten worden in Nederland zelden of nooit als kunstmest gegeven, maar maken wel deel uit van organische mest en niet automatisch van de meeste kunstmeststoffen. Ze kunnen wel apart toegediend worden.

4.6 Organische stof in meststoffen

Verschillende organische meststoffen bevatten verschillende verhoudingen in koolstof : nutriënt (C:N, C:P e.d.) en verschillende verhoudingen en soorten organisch C, die makkelijker (suikers, cellulose, eiwitten) of moeilijker (lignine, polyphenolen e.d.) afbreekbaar zijn, door hun verschillende structuren (ketting, ring, vertakkingen en soort verbinding) (Kamp & Bos, 2006; Tan, 1993). Ook leveren ze verschillende types bodemorganisch stof op. Over de relatie organische stof in meststoffen → bodembiota → bodem organische stof fractie – functie organische stof fractie (en verhoudingen tussen fracties) voor ecosysteem diensten is maar weinig bekend of alleen uit enkele factor tests (Atiyeh et al, 2002; Qualls, 2004). De meeste kennis is of op gebied van fractioneren van bodem organische stof vanuit chemisch oogpunt / mogelijkheden, of op de algemene relatie tussen meststof, percentage bodem organische stof en ecosysteem diensten, zonder verdere specificering naar de verschillende functies van organische stof en hoe die samenhangen met verschillende fracties of eigenschappen van organische stof.

4.7 Zware metalen en diergeneesmiddelen in meststoffen

Zware metalen (Cu, Zn) komen in lage tot onverwacht hoge concentraties (0.5%) voor in sommige kunstmeststoffen (Smolders et al, 2008). Zware metalen (Cu, Zn) uit voer en voetbaden (Smolders et al, 2008) en resten of afbraakproducten van diergeneesmiddelen (Jongbloed et al, 2001; Vaclavik et al, 2004; Svendsen et al, 2005) komen voor in dierlijke mest, in sterk variabele niveaus afhankelijk van de gebruikte inputs door de boer. Zware metalen worden niet afgebroken in het milieu en hopen zich daardoor op, met op de lange termijn negatieve gevolgen voor bodemleven (Bünemann et al, 2006), plant en dier/mens of spoelen uit naar het grondwater. Resten van (afbraakproducten van) diergeneesmiddelen worden in meerdere of mindere mate afgebroken in het dier en de bodem waarbij de integraal van de functie van belasting en afbraak over tijd moet uitwijzen of ophoping plaatsvindt en de gevolgen voor bodemleven, plant en dier/mens merkbaar schadelijk zijn.

4.8 Bestrijdingsmiddelen

De enige bestrijdingsmiddelen die regelmatig gebruikt worden in de veehouderij zijn herbiciden op maïs. Volgens Bünemann (2006), hebben herbiciden weinig effect op bodemleven, in tegenstelling tot insecticiden en vooral fungiciden. Bovendien zijn in Nederland alleen nog pesticiden toegestaan die redelijk snel afbreken.

4.9 Beregening, drainage en waterpeilbeheer

Beregening, drainage en waterpeilbeheer vindt plaats ten bate van waterlevering en –afvoer, en heeft dus effecten op ecosysteendoelen zoals beschreven in paragraaf 2.2.4 en 2.3.3. In droge zomers vindt beregening plaats, voornamelijk op droge zandgronden op gras en maïs. Behalve de beoogde positieve effecten op waterlevering, zijn er enige negatieve bijeffecten van beregening zoals, energiegebruik van de pomp en toename van N₂O emissie bij een waterverzadigingsgraad tussen 0.5 en 0.75 (Kroes et al, 2000).

Drainage van percelen vindt voornamelijk plaats op klei en veengronden, met effecten op doorluchting en bodemtemperatuur, en daarmee op biologische activiteit, bewortelbaarheid, afbraak organische stof en nutriëntenlevering, en uitstoot van broeikasgassen (Hoving et al, 2008).

4.10 Vruchtwisseling, bouwplan, scheuren van gras, gewasresten en groenbemesters

Vruchtwisseling beïnvloed bodemleven en organische stof (Ladd et al, 1994; Anderson & Domsch, 1990) en daarmee vele andere bodemeigenschappen die gerelateerd zijn aan bodemkwaliteit en ziektevering. In de veehouderij komt veelal meerjarig grasland en continue maïsteelt voor. In mindere mate wordt maïs afgewisseld met gras of een groenbemester, of wordt grasland grond verhuurd aan akkerbouwers of bollentelers. Onder meerjarig gras is het organisch stof gehalte meestal hoog, evenals het bodemleven. Bij scheuren en herinzaai nemen beide sterk af (van Eekeren et al, 2003). Continue maïsteelt lijdt vaak aan bodemverschraling: sterkere afbraak dan aanvoer van organische stof en daarmee gepaard gaande vermindering van bodemleven/activiteit, nutriënten berging en levering, water afvoer berging en levering. Groenbemesters kunnen iets van het gat tussen organische stof afbraak en opbouw vullen, maar in de praktijk vaak niet genoeg (van Schooten, pers. comm.). Gras als groenbemester biedt perspectieven wat betreft de biomassa en dus organische stof productie voor opbouw van bodemorganische stof in verschraalde maïs percelen, maar de vruchtwisseling maïs-gras-maïs geeft op zandgronden vaak nematodenproblemen (Philipsen, pers. comm.). N-uitspoeling en snelle organische stof afbraak zijn negatieve bijeffecten na het scheuren van grasland.

4.11 Soort en leeftijd van gras

Soorten en leeftijd van gras beïnvloeden de biomassa productie en de beworteling. De beworteling x de grasgroei met bijbehorende nutriënten behoefte, beïnvloed de hoeveelheid en diepte van nutriënten opname en waterverbruik. Nutriënten opname is groter bij snel groeiende grassen dan bij langzamer groeiende grassen, en is -in geval van droogte in de bovengrond- groter bij diepwortelende grassen dan bij ondiep wortelende grassen. In het eerste jaar na inzaai hebben veel snelgroeiende grassoorten een dieper wortelstelsel dan in latere jaren (Visscher pers comm.). Dichtere en/of diepere wortelstelsels bieden meer voedsel aan bodemleven en bevorderen daarmee de biologische activiteit (Ingham et al, 1985) en mogelijk de biodiversiteit. Bij een lagere nutriënten opname, lager waterverbruik en lagere biologische activiteit is de kans op uitspoeling van nutriënten, metalen en resten van pesticiden/medicijnen hoger.

4.12 Maaien en beweiden

Afgezien van de effecten van berijden en betreden heeft de keuze tussen maaien en beweiden gevolgen voor de productie (van gras en melk) en voor het milieu. Effecten op milieu van maaien respectievelijk beweiden zijn een homogene respectievelijk heterogene biomassa verwijdering en mest en urine verspreiding. Weiden leidt ten opzichte van maaien tot meer

N-uitspoeling, minder NH₃ uitstoot en minder brandstofverbruik. Weiden leidt, afhankelijk van het beweidingssysteem tot een gedeeltelijke vertrapping van weidegras en overblijvend restgras, die resulteren in een lagere kwaliteit van een volgende grasproductie. Maaien leidt tot andere verliezen tijdens maaien en transport.

4.13 Contaminanten uit lucht

Stikstof en zwavel verbindingen die via regen neerslaan of fijn stof dat zich afzet kunnen de bodem verzuren en bemesten. Matige verzuring leidt tot verschuivingen in het bodemvoedselweb (bv lagere bacterie:schimmel verhouding) met mogelijk verminderde afbraak van organische stof, verlaagde nutriënten retentie (door o.a. verlaagde CEC van bodem organische stof en oplossen van fosfaat) en verhoogde uitspoeling als negatief milieueffect en verhoogde of verlaagde nutriënten levering, met bijbehorende effecten op productie.

Bemesting door contaminanten uit lucht kan ook positief werken, zwavel in neerslag zorgde in de afgelopen decennia voor een veelal toereikende zwavel bemesting. Zwavel tekorten in sommige gewas productie situaties komen pas de laatste jaren weer voor, nadat de zwavel uitstoot naar de lucht sterk is beperkt (Bussink & Den Boer, 2000).

4.14 Weersinvloeden

Vooraf extreme weersomstandigheden als droogte, hitte, kou of plensbuien kunnen effect hebben op de bodem en vormen een test voor weerstand en herstelvermogen van de bodem.

4.15 Belang voor de veehouderij

De in tabel 3 genoemde problemen in de bodemkwaliteit en ziektevering in de veehouderij worden doorlopend beïnvloed door management. Tabel 4 zet de voorkomende management aspecten af tegen de bodemkwaliteit en ziekteveringsproblemen in de veehouderij uit tabel 3. Deze matrix is zowel een checklist voor de mogelijkheden waarmee de problemen beheersbaar zouden kunnen zijn, als een checklist van de praktijken waarmee rekening gehouden dient te worden, omdat ze invloed kunnen uitoefenen op een bodemkwaliteit en ziekteveringsprobleem. De mate van invloed zal uitmaken of een invloed significant effect heeft. Die mate van invloed kan per bodem x gewassituatie verschillen.

Tabel 4 Management dat bodemkwaliteit + weerbaarheidsproblemen beïnvloed
(v) invloed, (-) geen invloed, (?) onbekend/misschien invloed, (v?) vermoedelijk invloed

bodemweerbaarheids problemen in veehouderij	managementinvloeden												
	betreding en berijding	grondbewerking	bekalking	mesttoedieningsmethode	nutrienten in meststoffen	organische stof in meststoffen	verontreinigingen in meststoffen	bestrijdingsmiddelen	beregening, drainage waterpeilbeheer	vruchtwisseling / bouwplan	scheuren van gras en gewasresten	soort / leeftijd van gras	maaien en bewerken
verdichting	v	v	v	v	-	v	?	?	v	v	v	v	v
aaltjes	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	v	?
fusarium in maïs	-	v ¹	-	-	-	-	-	-	-	v ¹	-	-	-
lage nutrienten levering	v	v	v	-	v	v	v [?] 1	v [?] 1	v	v	v	-	-
uitspoeling nutrienten	v	v	?	v	v	v	v [?] 1	v [?] 1	v	v	v	v [?]	v
denitrificatie/vervluchtiging	v	v	v	v	v	v	v [?] 1	v [?] 1	v	-	v	-	v [?]
netto o.s afbraak	v	v	v	-	v	v	v [?] 1	v [?] 1	v	v	v	v [?]	-
water berging	v	v	v	-	-	v	v [?] 1	v [?] 1	v	v	v	v ³	-
water levering	v	v	v	-	-	v	v [?] 1	v [?] 1	v	v	v	v ³	-
water afvoer	v	v	v	-	-	v	v [?] 1	v [?] 1	v	v	v	-	v
Cu+Zn ophoping	-	-	v	-	-	v [?]	v	v	v	v ²	-	-	-
andere zware metalen	-	-	v	-	-	v [?]	v	v	v	v ²	-	-	-
afbraak diergeneesmiddelen	-	-	v	-	-	v	v	v [?] 1	v	v ²	v	-	v
afbraak pesticiden	-	-	v	-	-	v [?]	v	v	v [?]	v ²	v	-	-
bodemweerstand en herstel	?	?	?	?	?	v [?]	v	v [?] 1	v [?]	v	v	-	?
flexibiliteit	v	?	?	?	v	v [?]	v	?	v	v	v	-	-
bodem biodiversiteit	v	v	?	v [?]	?	v [?]	v	v	v	v	v	?	v [?]

1 - via invloed op bodemleven en functies daarvan

2 - via bij gewassen behorende bemesting / bestrijdingsmiddelen

3 - via organische stof opbouw in bodem onder graszode

5 Discussie en conclusies

Er zijn veel verschillende definities van de containerbegrippen bodemkwaliteit, bodemweerbaarheid en bodemgezondheid en daarmee spraakverwarring tussen mensen die vanuit verschillende perspectieven aan een van deze begrippen werken. Deze verschillende benaderingen worden in dit rapport naast elkaar gezet, om het eigen perspectief ten opzichte van andere perspectieven duidelijk te maken. Wat betreft de veehouderij met als bodemgebruik voornamelijk meerjarig gras en continu teelt maïs, waarin bodemchemische, fysische en biologische ziekten en gebreken in veel gevallen naast elkaar voorkomen, wordt hier gekozen voor een brede benadering van bodemkwaliteit en ziektevering met als definitie: De mate waarin de bodem functioneert op fysisch, chemisch en biologisch gebied, inclusief de wering van bodemziektes per bodem x gewascombinatie, ten bate van één of meer nader te specificeren doel(en).

Voor onderzoek naar bodemkwaliteit en ziektevering moet eerst duidelijk zijn voor welk(e) doel(en) de bodem weerbaar moet zijn en hoe de prioritering van doelen ligt. Voor de melkveehouderij is de meest voorkomende prioritering van doelen, 1) productieve doelen en 1a) weerstand en flexibiliteit voor zover die ten dienste staan van productie over de lange termijn, 2) milieu diensten en habitat voor biodiversiteit. Bij tegengestelde belangen tussen productie en milieu zijn wat betreft het milieu grenswaarden gesteld (nitraatconcentratie in grondwater, N-gebruik, P-gebruik) zodat, ondanks prioriteit bij productie, het milieu niet overbelast wordt. Wat betreft het doel "habitat voor biodiversiteit" bestaan dergelijke grenswaarden nog niet, alleen een eerste poging tot streefwaarden. Streefwaarden passen beter bij systemen waar habitat voor bodembiodiversiteit zelf hoofddoel is of niet in belangentegenstellingen met productie terechtkomt. Grenswaarden zijn voor bodemleven/biodiversiteit echter moeilijk realiseerbaar: Hoeveel is genoeg, hoeveel is te weinig?

In dit rapport onderscheiden we de bodem x gewas situaties: gras x zand, gras x klei, gras x veen, maïs x droog zand, maïs x nat zand, maïs x klei. Deze kunnen aangevuld of samengevoegd worden afhankelijk van overeenkomsten/verschillen in de problemen. De integrale behandeling van biologische, chemische en fysische problemen moet voorkomen dat 'een kucheje wordt behandeld terwijl het gebroken been verwaarloosd wordt' (voorkomen dat er te weinig gemeten wordt), terwijl opsplitsing in bodem x gewas situaties de aandacht richt op ziektes en gebreken die spelen in specifieke situaties (om te voorkomen dat er teveel gemeten wordt).

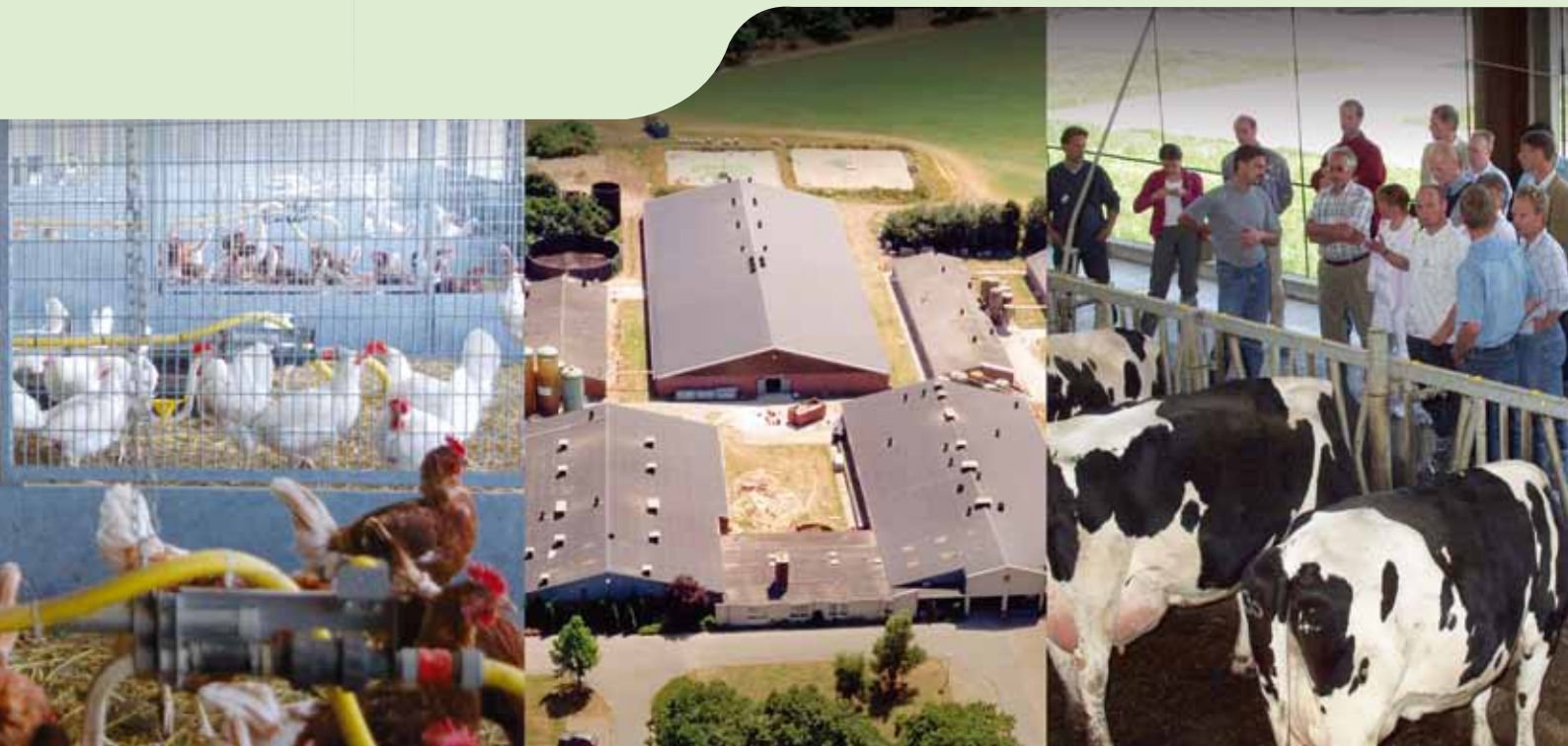
Uitgaande van de sets van problemen per gewas x bodem situatie, zou praktisch onderzoek vervolgens per gewas x bodem een set metingen moeten doen die alle voorkomende problemen adresseert met voldoende differentiatie mogelijkheid voor het vinden van oorzaak - gevolg relaties (bv niet alleen organische stof gehalte meten, maar verschillende karakteristieken en fracties van organische stof die direct in verband staan met de verschillende functies en problemen). De set metingen is dus afhankelijk van de voorkomende problemen en daarmee van bodem x gewassituatie. Uitgaan van één set indicatoren onafhankelijk van de bodem x gewas situatie lijkt minder geschikt vanwege de duidelijke verschillen in problemen in de duidelijk verschillende gewas x bodemsituaties in de veehouderij: De kans op niet relevante metingen of juist het missen van metingen die in maar één bepaalde situatie belangrijk zijn, is te groot.

Behalve metingen die de problemen per gewas x bodem onder de loep nemen, moeten management en andere invloeden minimaal gecheckt worden, of in geval van groot lijkende invloeden die variëren, eveneens gemeten en meegenomen worden in de analyse van de bodemmetingen. Als de relatie tussen bodemkwaliteit en ziekteveringsprobleem en de oorzaken daarvan in de bodem bekend is, kan onderzoek worden gedaan naar hoe welk management deze oorzaken kan beïnvloeden. Direct onderzoek van verschillend management op bodemkwaliteit en ziekteveringsproblemen, zonder de onderliggende mechanismes/relaties te ontrafelen is ook mogelijk, maar heeft als nadeel dat resultaten geen algemene geldigheid hebben: Resultaten zijn plaatsspecifiek.

Literatuur

- Anderson T-H, Domsch KH, 1990. Application of eco-physiological quotients (qCO_2 and qD) on microbial biomasses from soils of different cropping histories. *Soil Biol Biochem* 22, 251-255.
- Atiyeh RM, Lee S, Edwards CA, Arancon NQ, Metzger JD, 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource technology* 84, 7-14.
- Avrahami S, Liesack W, Conrad R, 2003. Effects of temperature and fertilizer on activity and community structure of soil ammonia oxidizers. *Environmental Microbiology* 5(8), 691-705.
- Ball BC, Scott A, Parker JP, 1999. Field N_2O , CO_2 and CH_4 fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. *Soil & Tillage Research* 53(1), 29-39.
- Brussaard L, 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* 26, 563-570.
- Bünemann EK, Schwenke GD and Van Zwieten L, 2006. Impact of Agricultural inputs on soil organisms - a review. *Australian journal of Soil Research* 44, 379-406.
- Bussink DW, Den Boer DJ, 2000. Sulphur fertilization on grassland in relation to crop yield and nitrogen use efficiency. *Meststoffen 2000*, 68-70.
- Coleman DC, Whitman WB, 2005. Linking species richness, biodiversity and ecosystem function in soil systems. *Pedobiologia* 49, 479-497.
- Davidson EA, Chorover J, Dail DB, 2003) A mechanism of abiotic immobilization of nitrate in forest ecosystems: the ferrous wheel hypothesis. *Global Change Biol* 9: 228-236.
- Doran JW and Safley M, 1997. Defining and assessing soil health and sustainable productivity. pp 1-28 In: Pankhurst CE, Doube BM and Gupta VVSR (eds), *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford, CAB International. 419 p.
- Doube BM and Schmidt O, 1997. Can abundance or activity of soil macrofauna be used to indicate the biological health of soils. Pp 265-295 In: Pankhurst CE, Doube BM and Gupta VVSR (eds), *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford, CAB International. 419 p.
- Douglas JT, Goss MJ, 1987. Modification of porespace by tillage in two stagnogley soils with contrasting management histories. *Soil & Tillage Research* 10(4), 303-317.
- De Vries FT, Hoffland E, van Eekeren N, Brussaard L, Bloem J, 2006. Fungal/bacterial ratios in grasslands with contrasting nitrogen management. *Soil Biol Biochem* 38, 2092-2103.
- Giller KE, Witter E, McGrath SP, 1998. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in Agricultural soils: A review. *Soil Biol Biochem* 30(10/11), 1389-1414.
- Handboek melkveehouderij, 2009. Roodbont: Zutphen, 505 p.
- Hanegraaf M & Visser M de, 2004. Naar een betere bodemkwaliteit op zandgrond. ASG Lelystad, 86 p.
- Haynes RJ and Swift RS, 1988. Effects of lime and phosphate additions on changes in enzyme activities, microbial biomass and levels of extractable nitrogen, sulphur and phosphorus in an acid soil. *Biol Fertil Soils* 6, 153-158.
- Hoving IE, van Houwelingen K, van der Vegte Z, 2008. Watergerelateerde maatregelen melkveehouderij ter vermindering van broeikasgasuitstoot op zand- en veengrond. *Animal Sciences Group / Wageningen UR (Rapport 129)*, 18 p.
- Huijsmans J, 2003. Manure application and ammonia volatilization. PhD thesis Wageningen University. Wageningen, the Netherlands, 160 p.
- Ingham RE, Trofymow JA, Ingham ER, Coleman DC, 1985. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: Effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs* 55(1), 119-140.
- Jjemba PK, 2002. The potential impact of veterinary and human therapeutic agents in manure and biosolids on plants grown on arable land: a review. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93, 267-278.
- Jongbloed RH, Blankendaal VG, Kan CA, van Dokkum HP, Bernhard R en Rijs GBJ, 2001. Milieurisico's van diergeneesmiddelen en veevoederadditieven in Nederlands oppervlaktewater; een verkennende studie. Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA), Lelystad, 134p.
- Kamp H, Bos E, 2006. Grasvelden; Achtergronden bij aanleg onderhoud en beheer. IPC Groene Ruimte, Arnhem.
- Kotorova D, Kovac L, 1999. The influence of soil tillage systems on the physical properties of fluvic gleysol and the dry matter yield of clover-grass mixtures. *Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Agricultura* 74, 65-71.
- Kroes JG, van der Bolt FJE, Groenendijk P, Hoving IE, de Haan MHA, 2000. Beperkingen van lachgasemissie door waterbeheer; een systeemanalyse. Wageningen, Alterra, Onderzoeks Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 114-6.

- Ladd JN, Amato M, Li-Kai Z, Schultz JE, 1994. Differential effects of rotation, plant residue and nitrogen fertilizer on microbial biomass and organic matter in an Australian alfisol. *Soil Biol Biochem* 26, 821-831.
- Marschner H, 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, 2nd edition, 889 p.
- Pankhurst CE, 1997. Biodiversity of soil organisms as an indicator of soil health. pp 297-324 In: Pankhurst CE, Doube BM and Gupta VVSR (eds), *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford, CAB International. 419 p.
- Pankhurst CE, Doube BM and Gupta VVSR, 1997. Biological indicators of soil health: Synthesis. pp 419-435 In: Pankhurst CE, Doube BM and Gupta VVSR (eds), *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford, CAB International. 419 p.
- Postma J, Schilder MT, Bloem J, Leeuwen-Haagsma WK van, 2008. Soil suppressiveness and functional diversity of the soil microflora in organic farming systems. *Soil Biol Biochem* 40 (9), 2394-2406.
- Qualls RG, 2004. Biodegradability of humic substances and other fractions of decomposing leaf litter. *Soil Sci Soc Am J* 68, 1705-1712.
- Radersma S, 2002. Tree effects on crop growth on a phosphorus-fixing Ferralsol. Wageningen University (PhD thesis), Wageningen, 190 p.
- RIVM, 2007. Typering van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit. Bilthoven, 96 p.
- Rutgers M, Kuiten AMP, Brussaard L, 2007. Prestaties van de bodem in de Hoekse Waard; Nulmeting en toepassing van een referentie voor biologische bodemkwaliteit. RIVM, Bilthoven, 44p.
- Svendsen TS, Hansen PE, Sommer C, Martinussen T, Grønvold J en Holter P, 2005. Life history characteristics of *Lumbricus terrestris* and effects of the veterinary antiparasitic compounds ivermectin and fenbendazole. *Soil Biol Biochem* 37, 927-936.
- Smolders EAA, van Middelkoop JC, Verkaik JC, 2008. Beperking koper en zink op melkveebedrijven in Zuid-Nederland, balansen en aanbevelingen. Koeien & Kansen rapport 48. Animal Sciences Group, Wageningen University and Research Centre, Lelystad, 53 p.
- Sparling GP, 1997. Soil Microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health, pp 97-119 In: Pankhurst CE, Doube BM and Gupta VVSR (eds), *Biological Indicators of Soil Health*. Wallingford, CAB International. 419 p.
- Tan KH, 1993. Principles of soil chemistry (2nd ed). Marcel Dekker Inc. New York, 362 p.
- Vaclavik E, Halling-Sørensen, Ingerslev F, 2004. Evaluation of manometric respiration tests to assess the effects of veterinary antibiotics in soil.
- Van den Pol – van Dasselaar A, 1998. Methane emissions from grasslands. Wageningen University (PhD thesis), Wageningen, 179 p.
- Van Eekeren N, Heeres E en Smeding F, 2003. Leven onder de graszode. Driebergen, Louis Bolk Instituut, 149 p.
- Van Eekeren N, Bommelé L, Bloem J, Schouten T, Rutgers M, de Goede R, Reheul D, Brussaard L, 2008. Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology* 40, 432-446.
- Vinten AJA, Ball BC, O'Sullivan MF, Henshall JK, 2002. The effects of cultivation method, fertilizer input and previous sward type on organic C and N storage and gaseous losses under spring and winter barley following long term leys. *Journal of Agricultural Science* 139(3), 231-243.
- Wright SF, Starr JL, Paltineanu IC, 1999. Changes in aggregate stability and concentration of glomalin during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal* 63(6), 1825-1829.
- Zanen M, Bos M, Korthals G & Molendijk L, 2009. Weerbare bodem in het kader van functionele agrobiodiversiteit. Louis Bolk Instituut, Driebergen, 62 p.



Wageningen UR Livestock Research

Edelhertweg 15, 8219 PH Lelystad T 0320 238238 F 0320 238050

E info.livestockresearch@wur.nl | www.livestockresearch.wur.nl