

BTO 2018.065 | Juli 2018

BTO rapport

Drinkwateraspecten van
een gezonde bodem

BTO

Drinkwateraspecten van een gezonde bodem

BTO 2018.065 | Juli 2018

Opdrachtnummer

400554-207

Projectmanager

Jos Frijns

Opdrachtgever

BTO - Beleidsonderbouwend onderzoek

Kwaliteitsborger

Prof. dr. ir. Flip Witte

Auteur

Dr. ir. Arnaut van Loon

Verzonden aan

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

Meer informatie

Dr. Ir. Arnaut van Loon

T 030 60 69 550

E arnaut.van.loon@kwrwater.nl

KWR

PO Box 1072

3430 BB Nieuwegein

The Netherlands



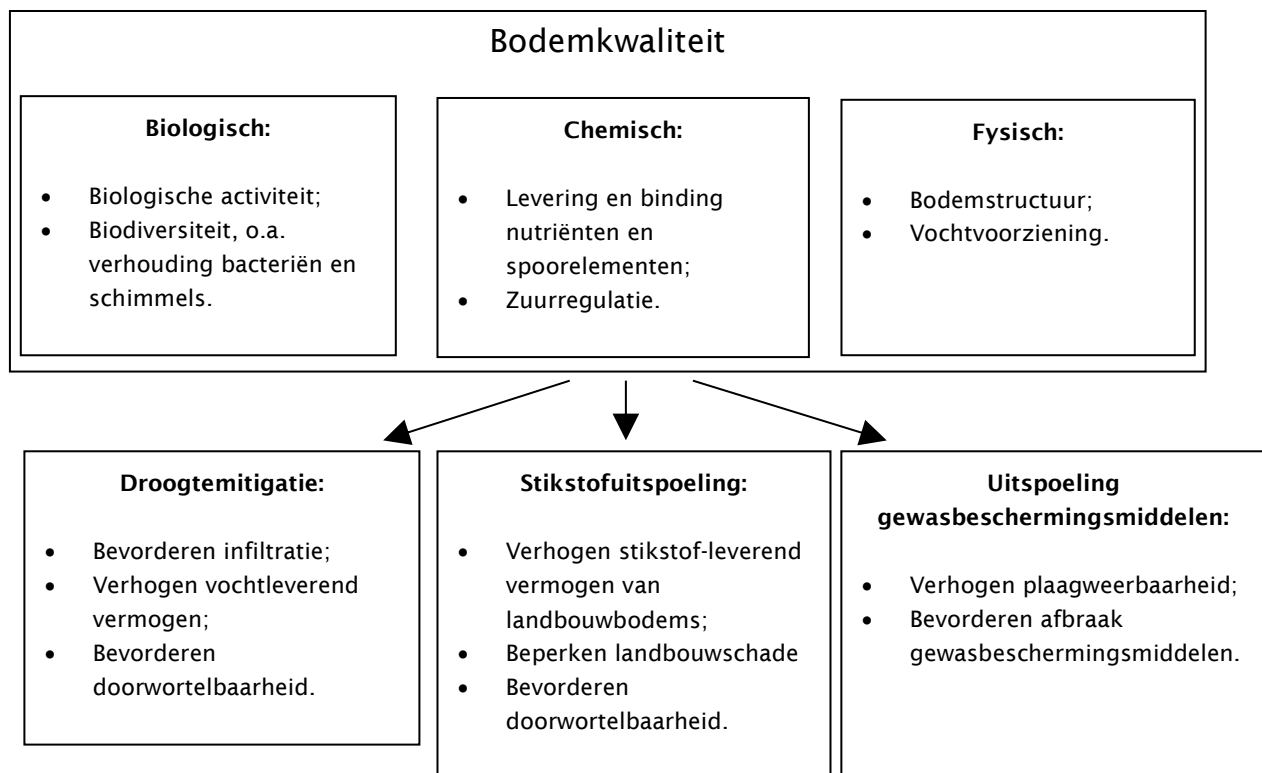
Watercycle
Research
Institute

BTO Managementsamenvatting

De functiecombinatie grondwaterwinning en landbouw kan duurzamer met bodemmaatregelen

Auteur dr. ir. Arnaut van Loon

Met bodemmaatregelen kan de droogtegevoeligheid van landbouwbodems worden verminderd. Ook maken zulke maatregelen verlaging van de uitspoeling van stikstof en gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater mogelijk. Dit blijkt uit een literatuurstudie naar het perspectief en de aandachtspunten van bodemmaatregelen voor de drinkwatersector. Voorwaarde is wel dat de maatregelen en de agrarische bedrijfsvoering goed op elkaar zijn afgestemd én op de lokale omstandigheden binnen het bedrijf. Bodemmaatregelen kunnen ook ongewenste effecten hebben of averechts werken indien ze niet goed uitgevoerd worden. Daarom is maatwerk op basis van een systeembenadering vereist om de juiste bodemmaatregelen te selecteren en ze adequaat toe te passen. Op grond van de resultaten wordt geadviseerd om het huidige brede draagvlak voor bodemmaatregelen te benutten om richting te geven aan de transitie naar een duurzame landbouw. Dit kan door meer nadruk te leggen op het vervangen van uitspoelingsgevoelige gewassen en het gebruik te beperken van meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen en diergeneesmiddelen.



Relatie tussen bodemkwaliteit en drinkwaterdossiers, gerelateerd aan de bronnen

Belang: strategische positionering in beleidsdiscussies over inzet van bodemmaatregelen

Agrariërs en waterbedrijven ondervinden knelpunten in de watervoorziening. Landbouwbodems zijn bijvoorbeeld droogtegevoelig. Drinkwaterbedrijven ondervinden knelpunten in de kwaliteit van het gewonnen grondwater als gevolg van uitspoeling van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Steeds vaker worden bodemmaatregelen gezien als oplossing voor dergelijke knelpunten. Deregulatie en decentralisatie van het milieubeleid geven hiervoor een positieve impuls. Tot nu toe is kennis over effecten van bodemmaatregelen versnipperd aanwezig. Dit rapport biedt samenhang en legt een aantal dilemma's voor drinkwatersector bloot. Hierdoor kunnen verwachtingen en de strategische positionering in beleidsdiscussies over de toepassing van bodemmaatregelen worden bijgesteld.

Aanpak: literatuurstudie naar effecten bodemmaatregelen op verschillende drinkwaterdossiers

Op basis van literatuurbronnen is onderzocht wat het perspectief en de aandachtspunten van bodemmaatregelen zijn voor de drinkwatersector. Speciale aandacht ging uit naar knelpunten bij het combineren van grondwaterwinning en agrarisch landgebruik, zoals droogteschade aan landbouwgewassen en de belasting van het grondwater met meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Onderzocht is welke mechanismen hiervoor oplossingen bieden en welke dilemma's spelen bij de toepassing van bodemmaatregelen binnen verschillende beleidsdossiers.

Resultaten: effectiviteit van bodemmaatregelen is onzeker en contextafhankelijk

Bodemmaatregelen kunnen niet op zichzelf staan en hun effectiviteit is contextafhankelijk en vaak niet goed bekend. Voor droogtemitigatie zijn opheffing van bodemverdichting en verhoging van het organische-stofgehalte de belangrijkste bodemmaatregelen. Opheffing van bodemverdichting is slechts tijdelijk effectief. Maatregelen hiervoor moeten worden opgevolgd, bijvoorbeeld door dieper wortelende gewassen te telen. Voor beperking van de uitspoeling van stikstof en gewasbeschermingsmiddelen naar het

grondwater zijn maatwerk en aanvullende maatregelen vereist. Bijvoorbeeld, maatregelen die leiden tot verhoging van het organische-stofgehalte in bodems, leiden tevens tot een toename van de stikstofmineralisatie. Daarom dient de mestgift hierop aangepast te worden om te voorkomen dat de toegenomen stikstofopname teniet wordt gedaan. Bodemmaatregelen kunnen voorwaarden creëren om een transitie naar een duurzame landbouw mogelijk te maken. Hierin wordt bijvoorbeeld geen gebruik gemaakt van uitspoelingsgevoelige teelten, wordt mestgebruik verder losgekoppeld van mestaanbod en gaat het gebruik van externe hulpstoffen (zoals diergeneesmiddelen) omlaag.

Implementatie: bodemmaatregelen vereisen maatwerk en een langetermijnstrategie

Bodemmaatregelen bieden de gelegenheid om uitspoeling van meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen uit agrarische percelen te verlagen. De effectiviteit van de maatregelen is echter onzeker en contextafhankelijk. Bovendien dient de agrarische bedrijfsvoering aangepast te zijn op de bodemmaatregelen, zodat de gewenste mechanismen voldoende tot uiting komen. De selectie en uitvoering van bodemmaatregelen is hierdoor een informatie- en kennisintensief proces. Dit legitimeert de structurele voortzetting en uitbreiding van onafhankelijke landbouwadvisering in grondwaterbeschermingsgebieden. Het brede draagvlak voor bodemmaatregelen kan tevens benut worden om richting te geven aan de transitie naar een duurzame landbouw. Het is raadzaam hiervoor een strategie te ontwikkelen waarbij naast milieuwinst op korte termijn, ook toegewerkt wordt naar een duurzame functiecombinatie van drinkwatervoorziening en landbouw. Hiervoor zijn vereist de introductie van nieuwe gewassen, het verminderen van mestgiften en het verminderen van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en diergeneesmiddelen.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *Drinkwateraspecten van een gezonde bodem* (BTO-2018.065)

Inhoud

Inhoud	1
1 Inleiding	2
1.1 Relaties tussen grondwaterbronnen en hun agrarische omgeving	2
1.2 Gezonde bodemmaatregelen in nationaal en regionaal milieubeleid	2
1.3 Wat is een Gezonde bodem?	3
1.4 Doelstelling en afkadering	3
1.5 Leeswijzer	4
2 Bodem-gerelateerde drinkwaterdossiers	5
2.1 Droogteschade	5
2.2 Meststoffen	7
2.3 Gewasbeschermingsmiddelen	9
2.4 Resumé	10
3 Maatregel I: Tegengaan van bodemverdichting	12
3.1 Inleiding	12
3.2 Werkwijze en voorbeeldmaatregelen	13
3.3 Effectiviteit en aandachtspunten	15
4 Maatregel II: Verhogen organische-stofgehalte	19
4.1 Inleiding	19
4.2 Werkwijze en voorbeeldmaatregelen	21
4.3 Effectiviteit en aandachtspunten	22
5 Discussie en advies: een gezonde bodem voor de functie drinkwater	34
5.1 Kansen en aandachtspunten	34
5.2 Voorwaarden voor het borgen van duurzame milieuwinst	40
5.3 Advies voor beleidsonderbouwend onderzoek	43
6 Conclusie	44
7 Literatuur	45

1 Inleiding

1.1 Relaties tussen grondwaterbronnen en hun agrarische omgeving

De Nederlandse drinkwaterbedrijven produceren jaarlijks ongeveer 1200 miljoen kubieke meter drinkwater. Ongeveer 25% van dit volume wordt geproduceerd uit grondwater dat wordt gewonnen uit freatische grondwaterwinningen. Deze grondwaterwinningen, ongeveer 100 stuks, worden niet of beperkt afgeschermd door een kleilaag boven de winputten, zodat activiteiten aan het maaiveld sterk door kunnen werken op de kwaliteit van het opgepompte grondwater. Wat agrarische activiteiten betreft gaat het hierbij vooral om mestgebruik (Van Loon en Fraters, 2016; Claessens e.a., 2016) en de toepassing van synthetische gewasbeschermingsmiddelen (Swartjes e.a., 2016; Loon e.a., 2017). Hoewel de laatste jaren tot decennia op beide dossiers flinke vooruitgang is geboekt, geven diverse onderzoeken aanwijzingen dat een duurzame veiligstelling van de kwaliteit van grondwaterbronnen in agrarische gedomineerde gebieden niet vanzelfsprekend is (Van Loon en Fraters, 2016; Claessens e.a., 2016; Swartjes e.a., 2016; Van Loon e.a., 2017).

Andersom kunnen grondwaterwinningen ook negatieve effecten op omliggende agrarische activiteiten hebben, namelijk in de vorm van droogteschade aan gewassen. Droogteschade kan ontstaan of worden verergerd doordat het onttrekken van grondwater leidt tot het dalen van de grondwaterstand in de omgeving van de winning. Deze problemen spelen vooral bij freatische grondwaterwinningen, doordat in de afwezigheid van kleilagen verlagingseffecten relatief sterk naar boven toe door werken. Ter compensatie van de opbrengstderving als gevolg van droogteschade door grondwaterwinning zijn in diverse gebieden schaderegelingen tussen het drinkwaterbedrijf en lokale agrariërs van kracht. Daarnaast kan landbouwschade het proces achter de uitbreiding en instandhouding van bestaande winningen en de ontwikkeling van nieuwe winningen bemoeilijken.

1.2 Gezonde bodemmaatregelen in nationaal en regionaal milieubeleid

De duurzame veiligstelling van grondwaterbronnen is onder andere afhankelijk van wet- en regelgeving voor milieu- en waterbeheer. Deze wet- en regelgeving zijn sinds enkele jaren sterk onderhevig aan decentralisatie en deregulatie. Voor de dossiers die betrekking hebben op de drinkwatervoorziening heeft zich dit o.a. geuit in een verschuiving van generiek, landelijk beleid, naar een gebiedsgerichte aanpak waarbij de problemen daar opgelost worden, waar ze zich voor doen. Hierbij wordt steeds vaker uitgegaan van vrijwillige maatregelen die door agrariërs zelf worden genomen, en met als uitgangspunt dat het bereiken van de milieudoelstellingen hand in hand moet gaan met behoud of verhoging van de agrarische productie.

Vanuit dit perspectief wordt in het landelijk en provinciaal milieubeleid breed ingezet op het verbeteren van de bodemkwaliteit van landbouwbodems. Zo wordt in het Zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn ingezet op bodemverbetering om de stikstofuitspoeling uit landbouwbodems verder te verminderen. De veronderstelling daarachter is dat een gezonde bodem een efficiëntere benutting van meststoffen bevordert, zodat een kleiner deel van toegediende meststoffen uitspoelt naar het grondwater. Ook in de Tweede Nota Duurzame Gewasbescherming (2013) wordt aandacht besteed aan het bevorderen van een “robuuste, weerbare en vitale bodem”, zodat ziekten en plagen worden onderdrukt en de noodzaak voor het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen afneemt. In het Deltaprogramma

Zoetwater worden bodem-verbeterende maatregelen voorgesteld om het watergebruik te verminderen en de kwetsbaarheid voor droogte te verlagen.

1.3 Wat is een Gezonde bodem?

Het begrip “Gezonde bodem” verwijst naar een zelfregulerende (robuuste) en goede bodemkwaliteit, die bepaald wordt door diverse biologische (o.a. divers bodemleven), chemische (o.a. levering nutriënten) en fysische (o.a. doorwortelbaarheid) eigenschappen (De Haan, 2014; Eijssackers e.a., 2006; Reubens e.a., 2010). Een eenduidige en concrete definitie ontbreekt echter, en de definities die er zijn hebben een normatief karakter, waardoor ruimte bestaat voor verschillende interpretaties (Reubens e.a., 2010). Hierdoor kunnen verschillende belanghebbenden als gevolg van (accent)verschillen tussen individuele belangen een ander beeld hebben van een goede bodemkwaliteit (Reubens e.a., 2010). Zo zal een agrariër eerder geneigd zijn om het accent op bodemvruchtbaarheid en vochtleverantie te leggen, en minder op de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen. Drinkwaterbedrijven, daarentegen, zullen sterker uit gaan van het beperken van de uitspoeling van meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen en eventuele andere kritische stoffen voor drinkwaterproductie. Hoewel de benaderingswijzen enigszins verschillen, bestaat ook overlap in de belangen bij een gezonde bodem. Toegediende stoffen die uitspoelen zijn zowel ongewenst bij agrariërs als bij drinkwaterbedrijven; voor agrariërs omdat uitspoeling bij de meeste teelten rendementverlies betekent, en voor drinkwaterbedrijven omdat uitspoeling bijdraagt aan de belasting van drinkwaterbronnen.

In dit rapport worden de begrippen “gezonde bodem” en “bodemkwaliteit” benaderd vanuit het perspectief van de belangen van drinkwaterbedrijven in een agrarische omgeving. Dit betekent dat een gezonde bodem eigenschappen bevat die positief én duurzaam bijdragen aan het oplossen van knelpunten die spelen bij de functiecombinatie grondwaterwinning en agrarisch landgebruik. Vanuit deze benadering levert een gezonde bodem voor drinkwaterbedrijven de volgende diensten:

- (1) Bijdragen aan droogtemitigatie,
- (2) Beperken van de uitspoeling van nitraat naar het grondwater, en
- (3) Beperken van de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater.

1.4 Doelstelling en afkadering

Het doel van dit rapport is om de drinkwatersector te ondersteunen bij hun strategische en tactische positionering in beleidsdiscussies over de inzet van bodemmaatregelen op verschillende drinkwaterdossiers. Hiertoe worden op basis van beschikbare literatuurbronnen het perspectief en de aandachtspunten van bodemmaatregelen voor de drinkwatersector geschetst. Hierbij ligt de nadruk op de omschrijving van mechanismen voor het oplossen van knelpunten die optreden bij de functiecombinatie grondwaterwinning en agrarisch landgebruik, en op de vraag of die met bodemmaatregelen beïnvloedbaar zijn. Omdat dit rapport bedoeld is ter onderbouwing van beleidskeuzes, en ter onderbouwing van de selectie van bodemmaatregelen, wordt in dit rapport uitgegaan van maatregelen, en waar nodig van voorbeeldmaatregelen, zodat een indruk ontstaat van maatregel-specifieke effecten. In dit rapport wordt noch een volledig overzicht, noch een kwantitatieve onderbouwing van mogelijke maatregelen gegeven.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden geïntroduceerd de bodem-gerelateerde drinkwaterdossiers die onderwerp zijn van beleidsdiscussies over de inzet van bodemmaatregelen. Deze drinkwaterdossiers zijn droogteschade, meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. Voor elk dossier wordt achtereenvolgens omschreven het belang van de drinkwatersector, de beleidscontext en de beoogde mechanismen van bodemmaatregelen.

In hoofdstukken 3 en 4 worden twee wezenlijk verschillende typen bodemmaatregelen omschreven, namelijk respectievelijk (1) het tegengaan van bodemverdichting en (2) het verhogen van het organische-stofgehalte in. Voor beide typen maatregelen wordt omschreven met welke aanpak de bodemkwaliteit kan worden verbeterd en wordt voor elk van de genoemde drie dossiers een indruk gegeven van de effectiviteit van die maatregelen.

In hoofdstuk 5 wordt door middel van synthese van de voorgaande hoofdstukken het perspectief van bodemmaatregelen voor de drinkwatersector beschreven.

2 Bodem-gerelateerde drinkwaterdossiers

2.1 Droogteschade

2.1.1 Belang voor de drinkwatersector

Landbouwopbrengsten zijn mede afhankelijk van de vochtomstandigheden in de wortelzone. Deze zijn in Nederland niet altijd optimaal. In tijden van hoge gewasverdamping kan het vochtleverend vermogen van bodems onvoldoende zijn om in de watervraag van het gewas te voorzien. In deze situatie is sprake van landbouwschade als gevolg van een vochttekort, ofwel droogteschade. Daarnaast kunnen bodems in tijden met veel neerslag zo ver verzadigd raken met water, dat de zuurstofvoorziening van bodem beperkt wordt en plantenwortels een zuurstoftekort ondervinden. In dit geval is sprake van landbouwschade als gevolg van te veel water, ofwel natschade. Beide vormen van landbouwschade hangen samen met de grondwaterstand; bij een diepere grondwaterstand zal eerder en grotere droogteschade optreden, en bij een ondiepere grondwaterstand eerder en grotere natschade (Bartholomeus e.a., 2013).

Grondwaterwinningen hebben invloed op de grondwaterstand, en kunnen daarmee droogteschade verergeren en natschade verminderen. Om agrariërs voor deze schade te compenseren, zijn bij diverse grondwaterwinningen schaderegelingen van kracht. Dit houdt in dat agrariërs in de omgeving van grondwaterwinningen financieel worden gecompenseerd voor de schade die de grondwaterwinning veroorzaakt aan agrarische gewassen. Deze kosten worden doorbelast in de drinkwaterprijs en zijn daarom onderdeel van de maatschappelijke kosten voor drinkwatervoorziening. De huidige tendens is echter dat droogteschade steeds minder wordt gecompenseerd, en steeds vaker wordt gemitigeerd door het nemen van maatregelen. Maatregelen ter verbetering van het vochtleverend en vochtleverend vermogen van bodems kunnen daar een bijdrage aan leveren.

2.1.2 Beleidscontext

De omvang van de landbouwschade kan in de toekomst toenemen, o.a. als gevolg van een toename in de drinkwatervraag (Aa e.a., 2015) en afnemende waterbeschikbaarheid als gevolg van klimaatverandering. Daarnaast kunnen inzichten voor het vaststellen van de omvang van schaderegelingen in de toekomst wijzigen (Bartholomeus e.a., 2013). Dit brengt bedrijfsmatige onzekerheid met zich mee, en kan bovendien de relatie met de agrarische omgeving op de proef stellen. Mede daarom zijn drinkwaterbedrijven in toenemende mate geïnteresseerd om problemen met de watervoorziening op te lossen in plaats van te compenseren. Deze koerswijziging vereist de beschikbaarheid van betrouwbare methoden om de watervoorziening in de grondwaterbeschermingsgebieden van grondwaterwinningen te verbeteren, zodat droogteschade wordt voorkomen in plaats van gecompenseerd. Het verbeteren van de bodemkwaliteit is daarbij een van de mogelijke oplossingsrichtingen.

Ook buiten het kader van droogteschaderegelingen staan maatregelen voor het verbeteren van de vochteigenschappen van bodems in toenemende aandacht, o.a. in het kader van het Deltaprogramma Zoetwater. Binnen dit deltaprogramma wordt thans door overheden en gebruikers een voorkeursstrategie ontwikkeld voor het in overeenstemming brengen van watervraag en -aanbod. Hierbij is de verwachting geuit dat vrijwel alle regio's een bijdrage

leveren aan efficiënter watergebruik, zodat de toename van de watervraag wordt afgeremd of omgebogen tot een daling. Voor de agrarische sector betekent dit dat individuele agrariërs maatregelen moeten nemen om hun waterverbruik voor beregening terug te dringen of te compenseren.

2.1.3 Beoogde mechanismen van bodemmaatregelen

Bodemmaatregelen kunnen bijdragen aan het verminderen van de droogtegevoeligheid van de hooggelegen zandgronden indien ze bijdragen aan een vollediger benutting door gewassen van regenwater dat in de bodem vastgehouden wordt. Immers, naarmate het lokale neerslag beter beschikbaar blijft voor gewassen, zal de droogteschade als gevolg van meteorologische droogte of grondwateronttrekkingen afnemen, en neemt de behoefte aan de beregening van gewassen af. Omdat de vochtvoorziening van gewassen via de bodem verloopt, biedt de bodem mogelijk een aantal stuurmechanismen. Deze mogelijke stuurmechanismen zijn:

- Het bevorderen van de infiltratie van neerslagwater door het verminderen van regenwaterafvoer via oppervlakteafvoer (over het maaiveld) en oppervlakkige afvoer (vlak onder het maaiveld, bijvoorbeeld over storende lagen) naar het oppervlaktewater. Doordat een groter deel van de lokale neerslag in de bodem wordt opgenomen kan (in principe) de waterbeschikbaarheid van gewassen toenemen.
- Het verhogen van het vochtleverend vermogen van bodems, zodat neerslag beter wordt vastgehouden in of vlak onder de wortelzone en daardoor langer beschikbaar blijft voor gewasopname.
- Het bevorderen van de doorwortelbaarheid van de bodem, zodat gewassen dieper kunnen wortelen. Hierdoor beschikken planten over een grotere bodemvochtvoorraad en wordt bij een niet al te diepe grondwaterstand de capillaire nalevering uit het grondwater verhoogd.

Door deze mechanismen te beïnvloeden kunnen agrariërs opbrengstderving als gevolg van droogteschade geheel of gedeeltelijk opheffen. Hiervoor zijn de volgende maatregelmaatregelen beschikbaar:

- Tegengaan van bodemverdichting. Bodemverdichting kan leiden tot een afname van de infiltratiecapaciteit van bodems, vermindert de doorlatendheid van bodems en beperkt de beworteling van gewassen. Door bodemverdichting tegen te gaan kan nat- en droogteschade worden voorkomen.
- Verhogen van het organische-stofgehalte in de bodem. Het organische-stofgehalte is een van de bodemeigenschappen die het vochtleverend vermogen van bodems bepaalt, doordat het op zichzelf goed vocht vasthoudt én de capillaire eigenschappen (poriënstructuur) verbetert. Daarnaast is het organische-stofgehalte een van de factoren die de doorwortelbaarheid van bodems bepaalt; in de regel brengt een hoger organische-stofgehalte meer bodemleven met zich mee, zodat de bodem losser en daarmee beter doorwortelbaar wordt.

2.2 Meststoffen

2.2.1 Belangen voor de drinkwatersector

Meststoffen zijn onderdeel van natuurlijke kringlopen en kunnen in verhoogde concentraties in grond- en oppervlaktewater voorkomen als gevolg van o.a. bemesting van landbouwgronden, versnelde mineralisatie van organisch materiaal, atmosferische stikstofdepositie, verzilting, RWZI-lozingen en industriële lozingen (o.a. Schipper e.a., 2015; Vink, 2007; Groenendijk e.a., 2016). In Nederland zijn het vooral de meststoffen fosfor en stikstof die voor milieuproblemen zorgen en die onderdeel zijn van wet- en regelgeving voor gebruik en lozing. Doordat fosfor weinig mobiel is in de ondergrond, vormt deze meststof geen knelpunt voor de drinkwaterproductie bij grondwaterwinningen. Stikstof behoort wel tot de risicostoffen voor de productie van drinkwater uit grondwater. De eindevaluatie gebiedsdossiers bevestigen dat dit vooral de grondwaterwinningen met agrarisch gedomineerde intrekgebieden betreft (Wuijts e.a., 2014).

Binnen de agrarische sector wordt op grote schaal dierlijke mest en kunstmest toegepast ter bevordering van de agrarische productie (Van Grinsven en Bleeker, 2017). Een deel van de stikstofgift spoelt onbedoeld uit naar het grondwater. Dit kan zich op verschillende manieren manifesteren in de kwaliteit van het gewonnen grondwater (Van Beek e.a., 2005). Ten eerste kan stikstofuitspoeling leiden tot verhoogde nitraatconcentraties in het grondwater. Dit directe effect speelt bij grondwaterwinningen waar nitraat niet wordt afgebroken onder invloed van bodempassage, c.q. waar de ondergrond weinig reactief is. Daarnaast kan stikstofbemesting leiden tot het oplossen van sommige bodembestanddelen. Dit speelt vooral bij grondwaterwinningen die water onttrekken uit watervoerende pakketten die pyriet bevatten. De oxidatie van pyriet onder invloed van nitraat kan o.a. leiden tot verhoogde concentraties sulfaat en metalen (meestal nikkel), waarbij het nitraat geheel of gedeeltelijk afgebroken wordt. Of en in hoeverre stikstofbemesting een knelpunt vormt voor de kwaliteit van drinkwaterbronnen, is afhankelijk van de eigenschappen van de ondergrond en de winning en varieert daarom van plaats tot plaats. Ten slotte kan stikstofuitspoeling bijdragen aan een verhoogde hardheid van het grondwater. Dit komt doordat mest zuren bevat die geneutraliseerd worden door bekalking of door het oplossen van kalk dat in de bodem of ondergrond aanwezig is. Ook bij de oxidatie van pyriet komt zuur vrij dat geneutraliseerd wordt door het oplossen van kalk. Volgens Van Loon en Fraters (2016b) zijn gedurende de periode 2000-2015 in 89 grondwaterwinningen één of meerdere normen voor bovengenoemde mestgerelateerde parameters (nitraat, nikkel, sulfaat of hardheid) overschreden.

Onder invloed van generiek mestbeleid is het stikstofoverschot in de agrarische sector sinds de jaren 1990 drastisch teruggebracht (Van Grinsven en Bleeker, 2017). Hierdoor schommelt in de zandregio de gemiddelde nitraatconcentratie in ondiep grondwater al enige jaren rond de 54 mg NO₃/l en in de lössregio rond de 75 mg NO₃/l (Fraters e.a., 2016). Volgens Van Loon en Fraters (2016b) is deze vooruitgang echter minder zichtbaar in de intrekgebieden van kwetsbare grondwaterwinningen, doordat deze gebieden relatief droog zijn, en daardoor gevoelig voor nitraatuitspoeling. Dit betekent dat het veiligstellen van de drinkwaterproductie uit grondwaterwinningen aanvullende inspanningen vereist ten opzichte van het landelijk doelbereik. Volgens Claessens e.a. (2016) geldt dit voor 40 grondwaterwinningen, omdat het generieke mestbeleid dat van kracht was onder het Vijfde Actieprogramma Nitraatrichtlijn daar mogelijk onvoldoende effectief is om de nitraatconcentratie in ondiep grondwater onder de norm van 50 mg/l te krijgen.

2.2.2 Beleidscontext

Sinds 2018 is in Nederland het zesde actieprogramma nitraatrichtlijn (2018-2021) van kracht. In dit actieprogramma is aanzienlijke aandacht voor het realiseren van de doelen voor de functie drinkwater. Omdat de effecten van maatregelen pas op de lange termijn zichtbaar worden in het opgepompte grondwater, is de kwaliteitsverbetering in het uitspoelingswater (water dat uit de bodem spoelt en het grondwater aanvult) hiervoor maatgevend. Ten behoeve van draagvlak onder agrariërs is hierbij een gebiedsgerichte aanpak gekozen die uitgaat van vrijwillige inspanningen door agrariërs. Dit houdt in dat agrariërs zelf kunnen beslissen welke maatregelen ze nemen om de stikstofuitspoeling tot binnen de milieunormen terug te brengen, terwijl hun ondernemingsvrijheid behouden blijft ten behoeve van gewasopbrengsten en bodemvruchtbaarheid. De effectiviteit van deze aanpak is gewaarborgd in een bestuursovereenkomst tussen verantwoordelijk overheden, agrarische sector en drinkwaterbedrijven dat als appendix bij het Zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn is opgenomen. De verwachting is dat met deze bestuursovereenkomst de lopende regionale samenwerkingsprojecten waarin drinkwaterbedrijven en agrariërs samenwerken worden uitgebreid en bestendigd. Hiertoe behoren ook de maatregelen voor het verbeteren van de bodemkwaliteit, omdat daar onder agrariërs naar verwachting veel draagvlak voor bestaat en een verbeterde bodemkwaliteit bij kan dragen aan verminderen van de stikstofuitspoeling tot onder de milieunormen.

2.2.3 Beoogde mechanismen van bodemmaatregelen

Maatregelen ter verbetering van de bodemkwaliteit kunnen bijdragen aan het verminderen van de stikstofuitspoeling naar het grondwater indien daarmee wordt bevorderd dat de stikstofopname door gewassen toeneemt ten opzichte van de totale stikstofaanvoer met bijvoorbeeld meststoffen, aanvoer van organische stof en atmosferische depositie. Hiertoe dient de gewasopname bevorderd te worden, zodat een groter deel van het beschikbare stikstof wordt opgenomen en afgevoerd, en dus niet uitspoelt. Dit kan bereikt worden door middel van de volgende mechanismen:

- (1) Bevorderen van de doorwortelbaarheid, zodat stikstof tot op grotere diepte kan worden opgenomen door plantenwortels.
- (2) Voorkomen van nat- en droogteschade aan gewassen, zodat de stikstofopname door het gewas optimaal is;
- (3) Verbeteren van het stikstof-leverend vermogen (bodemvruchtbaarheid) van landbouwbodems, door het vasthouden van stikstof in de bodem, bijvoorbeeld door het verhogen van het organische-stofgehalte in bodems. Door mineralisatie van dit organische stof komt stikstof geleidelijk beschikbaar voor het gewas, en kunnen stikstofbeschikbaarheid en -behoefte van gewassen die de hele groeicyclus doormaken beter in fase lopen in vergelijking met bijvoorbeeld kunstmest. Dit mechanisme is minder goed werkzaam voor gewassen die op de top van hun groei worden geoogst (zoals bladgroenten), aangezien ook na de oogst stikstofmineralisatie optreedt. Dit stikstof wordt niet meer opgenomen door het gewas en spoelt uit naar het grondwater. Dergelijke gewassen kunnen optimaler bemest worden met kunstmest, omdat deze meststof binnen een beperkter tijdvenster beschikbaar komt en dit tijdvenster beter is in te schatten.

2.3 Gewasbeschermingsmiddelen

2.3.1 Belangen voor de drinkwatersector

Bestrijdingsmiddelen zijn in dit rapport gedefinieerd als gewasbeschermingsmiddelen én biociden die één of meerdere werkzame stoffen bevatten, of die werkzame stoffen kunnen genereren. Bestrijdingsmiddelen hebben tot doel om de gewasproductie te verhogen (bv door plaagorganismen te onderdrukken of ongewenste planten te doden), materialen te beschermen tegen aantasting (bv door schimmels), of overlast (bv insecten) te voorkomen. Bestrijdingsmiddelen hebben een breed toepassingsbereik, waaronder de agrarische sector, gemeenten, beheerders van de openbare ruimte (bedrijventerreinen, infrastructuur etc.), natuurbeheerders en burgers. Biociden worden veelal buiten de landbouw gebruikt.

Afhankelijk van de wijze van toediening, zoals spuiten, strooien, aangieten of onderdompelen, kunnen de werkzame stoffen onbedoeld en op verschillende manieren in het (bodem)watermilieu terecht komen. Zo kunnen deze stoffen via verwaaiing of afspoeling in het oppervlaktewater terecht komen, en via uitspoeling in het grondwater. Daarnaast kunnen enkele metabolieten van toegepaste bestrijdingsmiddelen een risico voor drinkwaterbronnen vormen. Afhankelijk van de eigenschappen van de werkzame stof en het heersende (bodem)watermilieu, worden werkzame stoffen namelijk geheel of gedeeltelijk afgebroken. Hierbij kunnen meer of minder stabiele metabolieten (afbraak- of reactieproducten) ontstaan. Zowel de werkzame stoffen als de metabolieten kunnen individueel en gezamenlijk humaan toxisch zijn.

Volgens Van Loon e.a. (2017) zijn gedurende de periode 2010-2014 in 70 van de 99 (71%) van de freatische grondwaterwinningen minimaal één keer sporen van gewasbeschermingsmiddelen of afbraakproducten waargenomen. Bij 25 van deze 70 (25% van het totaal) grondwaterwinningen zaten daar een of meerdere normoverschrijdingen bij. Deze statistieken komen overeen met de eindevaluatie gebiedsdossiers. Ze geven aan dat veel grondwaterwinningen kwetsbaar zijn voor kwaliteitsverslechtering als gevolg van uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater. Volgens Swartjes e.a. (2016) zijn het vooral herbiciden die in grondwaterwinningen worden aangetroffen. Deze auteurs laten zien dat een groot deel van de moederstoffen (65%) die is aangetroffen in winputten niet meer is toegelaten. Deze stoffen komen decennia na toepassing in de winputten terecht, doordat het onttrokken grondwater een mengsel is van grondwater met een leeftijden van enkele jaren tot enkele eeuwen.

2.3.2 Beleidscontext

In de nota Gezonde Groei, Duurzame Oogst geeft de Rijksoverheid aan in te zetten op toepassing van de acht beginselen van geïntegreerde gewasbescherming door alle professionele gebruikers van gewasbeschermingsmiddelen. Volgens deze beginselen is de toepassing van chemische gewasbeschermingsmiddelen pas aan de orde indien (1) voldoende inspanningen zijn geleverd om plaagorganismen te voorkomen of te onderdrukken, o.a. door gewasrotaties, en (2) duurzame gewasbeschermingsmethoden, zoals de inzet van natuurlijke vijanden, zijn overwogen. Daarnaast is maatwerk vereist wat betreft de plaats, timing, dosering en wijze van dosering van gewasbeschermingsmiddelen, en is monitoring van plaagorganismen noodzakelijk ter onderbouwing daarvan.

De mogelijk preventieve en mitigerende werking wat betreft de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen die een gezonde bodem mogelijk kan bieden, is thans geen onderdeel van beginselen van geïntegreerde gewasbescherming. Wel wordt in het kader van de co-innovatieagenda Plantgezondheid door sectororganisaties en rijksoverheid gewerkt aan een "robuuste, weerbare en vitale bodem". Het verbeteren van de bodemkwaliteit is ook

onderdeel van diverse regionale projecten die tot doel hebben om het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen te beperken (Van Vliet e.a., 2017). De veronderstelling daarbij is dat met een goede bodemkwaliteit ziekten en plagen onderdrukt worden, zodat de noodzaak voor het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen afneemt.

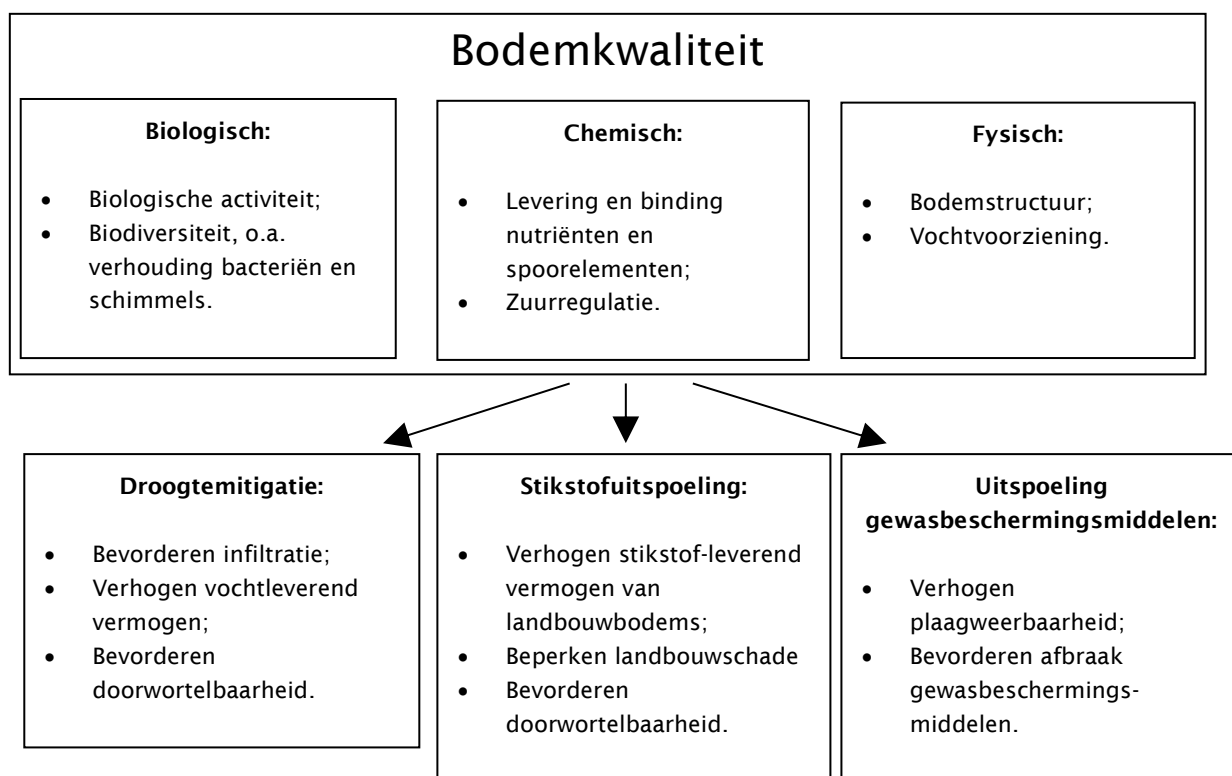
2.3.3 Beoogde mechanismen van bodemmaatregelen

Maatregelen ter bevordering van de bodemkwaliteit kunnen bijdragen aan het verminderen van de belasting van het grondwater met gewasbeschermingsmiddelen door:

- Het verminderen van de plaaggevoeligheid van gewassen of het onderdrukken van plaagorganismen. In de regel wordt de groei van plaagorganismen verder onderdrukt naarmate het bodemvoedselweb complexer is. Dit betekent dus dat een gevarieerd en actief bodemleven ziekteorganismen kan hinderen in hun groei en activiteit (Gardeva e.a., 2004).
- Het stimuleren van de afbraak van gewasbeschermingsmiddelen door de biologische activiteit in de bodem te verhogen of de principes van ondergronds zuiveren toe te passen. Dit laatst houdt in dat bodemeigenschappen zo worden beïnvloed, dat de reactiviteit van de bodem maximaal aanvult op de bovengrondse zuivering.

2.4 Resumé

De bodemkwaliteit voor de functie drinkwater wordt bepaald door diverse biologische chemische en fysische bodemeigenschappen, die elkaar onderling beïnvloeden. Deze bodemeigenschappen zijn medebepalend voor de vochtleverantie en de stikstofhuishouding van bodems. Daarnaast spelen ze een rol bij de plaagweerbaarheid van bodems en daarmee bij de behoefte aan gewasbeschermingsmiddelen binnen de agrarische sector. Ten slotte is de bodemkwaliteit medebepalend voor de chemische en microbiologische afbraak en retentie van gewasbeschermingsmiddelen. De bodemkwaliteit en het adequaat beheer daarvan zijn daarmee medebepalend voor de mate waarin (1) de winning van grondwater doorwerkt op de vochtvoorziening van agrarische gewassen, en (2) de aanwending van externe hulpbronnen door agrariërs (meststoffen en bestrijdingsmiddelen) doorwerkt op de kwaliteit van het gewonnen grondwater. Een goede bodemkwaliteit en adequaat bodembeheer vertegenwoordigen daarmee een aanzienlijke waarde voor drinkwaterbedrijven.



FIGUUR 2-1: RELATIE TUSSEN BODEMKWALITEIT EN DRINKWATERDOSSIERS GERELATEERD AAN DE BRONNEN

3 Maatregel I: Tegengaan van bodemverdichting

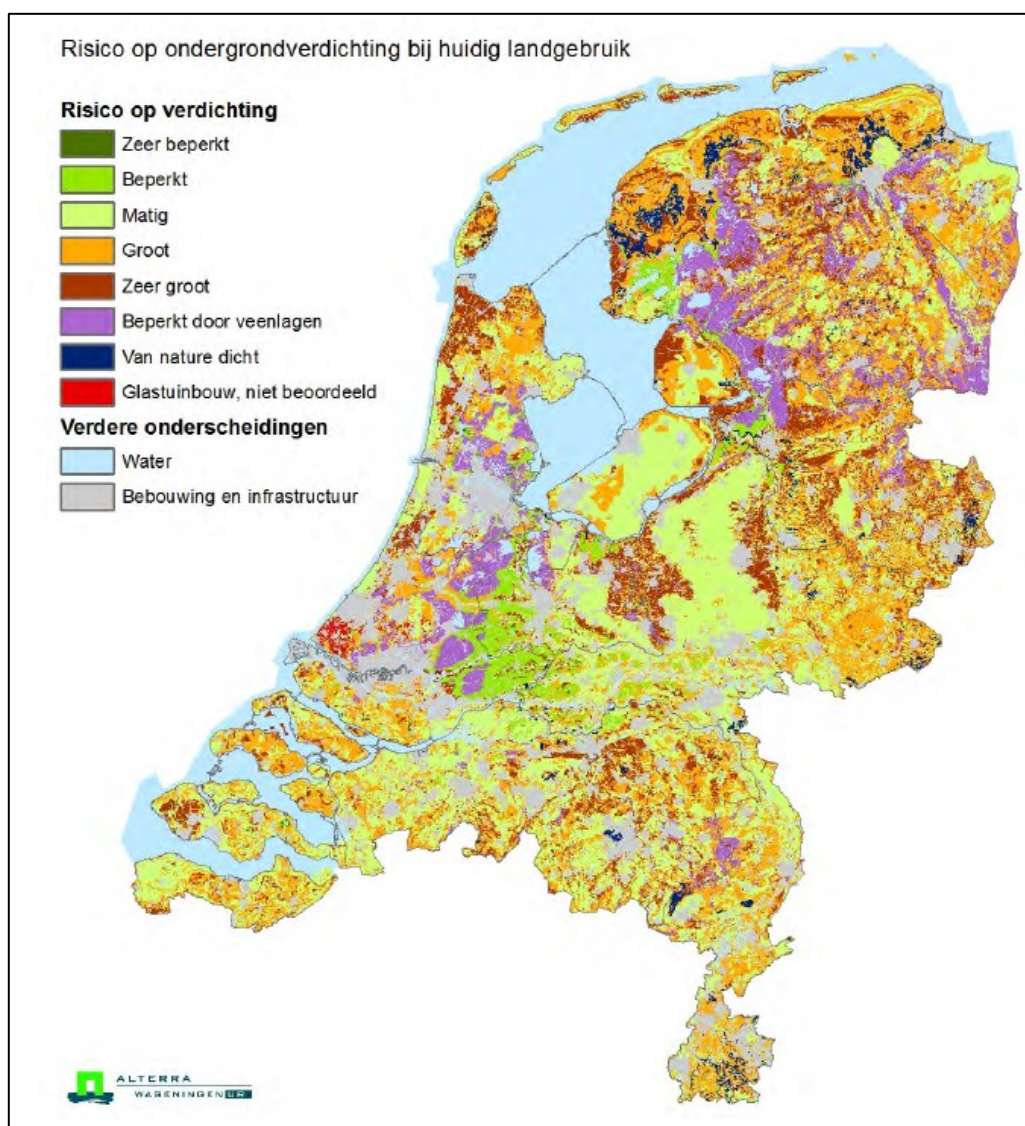
3.1 Inleiding

De structuur van landbouwbodems is mede bepalend voor de doorwortelbaarheid en het vochtregulerend vermogen van bodems. De bodemstructuur wordt door diverse factoren bepaald, o.a. door het organische-stofgehalte, de activiteit van bodemleven, de bewerkingen op het land en het type bouwplan. Bodemverdichting is een vorm van structuurbederf van landbouwbodems waarbij bodemporiën worden dichtgedrukt. Meestal wordt dit veroorzaakt door grondbewerking onder natte condities, zware wiellast en een hoge bandspanning. Volgens Van den Akker e.a. (2013) is ongeveer 45% van de Nederlandse landbouwgronden verdicht en is een groot deel van de zand- en lössregio's onder het huidig landgebruik gevoelig voor ondergrondverdichting (Figuur 3-1).

Het effect van bodemverdichting op het vochtregulerend vermogen en de doorwortelbaarheid van landbouwbodems raakt aan de belangen van de drinkwatersector, doordat:

- de gevoeligheid voor droogteschade aan gewassen toe kan nemen;
- de stikstofopname door het gewas afneemt. Mogelijk wordt als gevolg van misinterpretatie van de achterblijvende gewasontwikkeling tevens extra bemest (Van den Akker e.a., 2013). Door beide oorzaken kan de stikstofuitspoeling als gevolg van bodemverdichting hoger zijn ten opzichte van de onverdichte bodem;
- Gewassen die groeien op verdichte bodems gevoeliger zijn voor plagen en ziekten, terwijl sommige plaagsoorten en ziekten zich beter ontwikkelen in een verdichte bodem. Hierdoor kan de behoefte aan gewasbeschermingsmiddelen toenemen.

Het voorkomen van bodemverdichting kan daarom bijdragen aan een structureel verminderde belasting van het grondwater door agrarische landgebruik en kan droogte- en natschade aan landbouwgewassen voorkomen. Andersom kan het opheffen van bodemverdichting, voor zover mogelijk, bijdragen aan het harmoniëren van de functies landbouw en drinkwaterwinning. Deze bijdrage is het grootst bij akkerbouw, aangezien verdichting een groter probleem in de akkerbouw is, dan bij grasland (Zwart e.a., 2011). Bovendien is akkerbouw gevoeliger voor droogteschade, is de stikstofuitspoeling uit akkerbouw gemiddeld hoger dan uit grasland en wordt in de akkerbouw meer gebruik gemaakt van gewasbeschermingsmiddelen. De belangen van de drinkwatersector bij het tegengaan van bodemverdichting zijn daarom groter in de akkerbouw dan in grasland. De mate waarin bodemverdichting kan worden opgeheven is afhankelijk van de diepte waarop de verdichte laag zich bevindt; verdichting van de diepere ondergrond is vrijwel onomkeerbaar, terwijl verdichting van de bovengrond meestal met een aantal maatregelen kan worden opgeheven.



FIGUUR 3-1: RISICO OP ONDERGRONDVERDICHTING BIJ HUIDIG LANDGEBRUIK VOLGENS AKKER E.A., 2013.

3.2 Werkwijze en voorbeeldmaatregelen

3.2.1 Opheffen bodemverdichting

D maatregelen voor het opheffen van bodemverdichting in de ploegzool bestaan vooral uit woel-spit- en freestechtechnieken waarmee de verdichte lagen worden opengebroken, zodat direct resultaat wordt geboekt. Vaak keert het probleem na verloop van tijd weer terug, zodat deze oplossingen slechts van tijdelijke aard zijn (Zwart e.a., 2011). Om de verdichting structureel op te heffen, zijn daarom aanvullend maatregelen noodzakelijk (zie paragraaf 3.2.2).

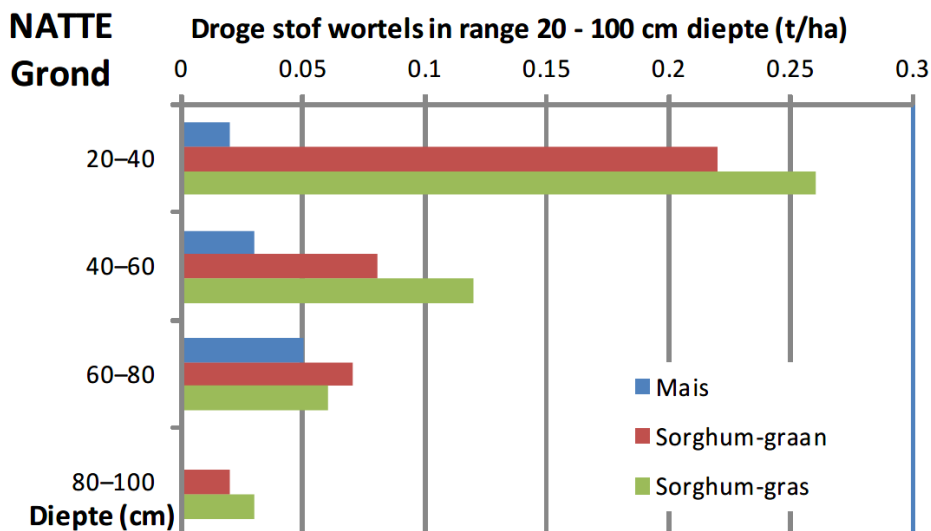
3.2.2 Voorkomen van bodemverdichting

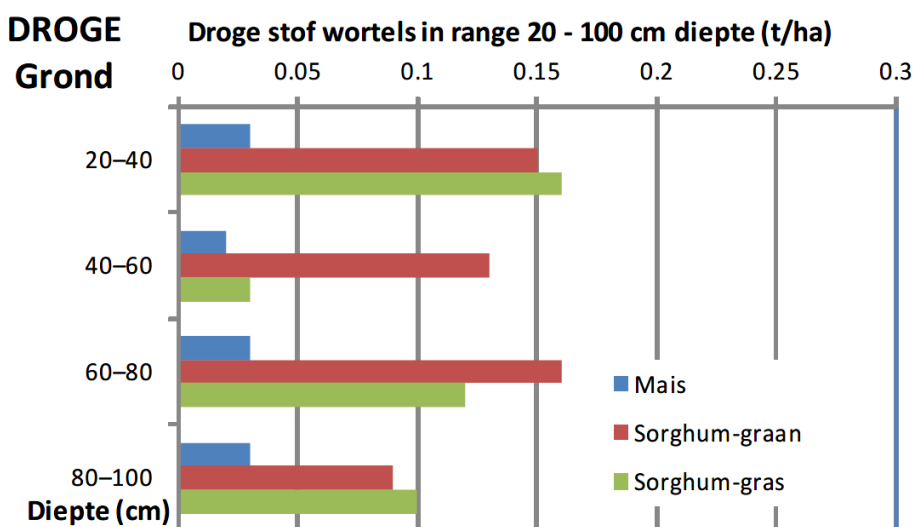
Bij een goede bodemstructuur hebben maatregelen in eerste instantie tot doel om bodemverdichting te voorkomen, en in tweede instantie om de bodemstructuur blijvend te herstellen. Voor het voorkomen van bodemverdichting is volgens Lijster e.a. (2016) een goede drainage van landbouwgronden noodzakelijk. De gevoeligheid voor verdichting neemt namelijk toe met de mate van verzadiging van de bodem. Bij onvoldoende drainage kan tevens zuurstoftekort in de bodem optreden, zodat de biologische activiteit afneemt en gewassen minder diep wortelen. Hierdoor wordt de bodem minder goed los gemaakt.

Naast het optimaliseren van drainage, kan volgens Lijster e.a. (2016) en Zwart e.a. (2011) een aantal specifieke maatregelen worden genomen om bodemverdichting te voorkomen. Tot deze maatregelen behoren o.a. het introduceren van vaste rijpaden, het verminderen van de bandenspanning, het verminderen van de wiellast en de introductie van een ruimer bouwplan waarbij akkers jaarrond bedekt blijven met een gewas. Wat bodemmaatregelen betreft kunnen het verhogen van het organische-stofgehalte en de teelt van diep wortelende gewassen effectief zijn om bodemverdichting blijvend te voorkomen (Zwart e.a. 2011).

Het gunstige effect van het verhogen van het organische-stofgehalte in bodems op de bodemstructuur hangt samen met het aaneenkitten van bodemdeeltjes onder invloed van organische-stofgehalte, waardoor stabielere bodemaggregaten gevormd worden. Daarnaast werkt organische stof stimulerend op het bodemleven, zodat meer bioturbatie plaatsvindt. Voorwaarde is wel dat de kwaliteit van de organische stof geschikt is om een rijk bodemleven mogelijk te maken. Het uitrijden van drijfmest, bijvoorbeeld, is volgens Curry (2004) geen geschikte methode om bodemverdichting te voorkomen, omdat het zuur dat met drijfmest wordt aangevoerd een negatief effect heeft op regenwormpopulaties en daarmee op de bodemstructuur.

Volgens Lijster e.a. (2016) kan bodemverdichting tegen worden gegaan door bestaande teelten te vervangen door de teelt van diep wortelende gewassen. Volgens deze auteurs is het diep wortelende rietzwenkgras een goed alternatief voor het ondiep wortelende Engels raaigras. Daarnaast vormt sorghum mogelijk een goed alternatief voor snijmaïs, omdat sorghum diep wortelt én veel wortelresten in de vorm van organische stof in de bodem achterlaat (Figuur 3-2). Beide factoren dragen bij aan het voorkomen van bodemverdichting.





FIGUUR 3-2: ONDEGRONDSE DROGE STOFPRODUCTIE VAN SNIJMAIS, SORGHUM-GRAAN EN SORGHUM-GRAS OP VERSCHILLENDE DIEPTEN (LIJSTER E.A., 2016)

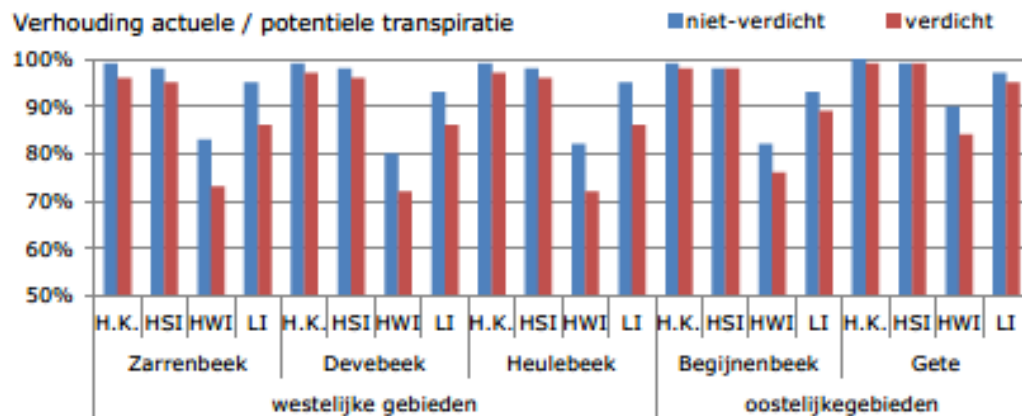
3.3 Effectiviteit en aandachtspunten

In deze paragraaf wordt op basis van een aantal literatuurbronnen de potentiële bijdrage beschreven van het tegengaan van bodemverdichting aan droogtemitigatie (paragraaf 3.3.1), het verminderen van de stikstofuitspoeling (paragraaf 3.3.2) en het verminderen van de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen (paragraaf 3.3.3).

3.3.1 Droogtemitigatie

Groenendijk e.a. (2017) simuleerden het effect van bodemverdichting op de verdampingsreductie op basis van gegevens uit het project Vruchtbare Kringloop. Volgens deze auteurs was ruim de helft van de landbouwbodems van deelnemers van dit project verdicht. Dit leidde tot een (extra) verdampingsreductie van 13-56 mm/j voor grasland en 46-55 mm/j voor snijmaïs. Volgens Groenendijk e.a. (2017) is deze verdampingsreductie vooral het gevolg van natschade, en is onduidelijk in hoeverre droogteschade daar een aandeel in heeft. Van der Bolt e.a. (2016) bevestigen met modelonderzoek, met als basis een Vlaamse dataset, het beperkte aandeel (<2%) van bodemverdichting op de transpiratiereductie onder het huidige klimaat. Dit geeft aanwijzingen dat bodemverdichting thans een beperkt aandeel in de droogteschade aan landbouwgewassen heeft. Hierbij dient opgemerkt te worden dat de gebruikte modelinstrumentaria waarschijnlijk onvoldoende in staat zijn om de response van de bewortelingsdiepte op bodemverdichting goed te simuleren. Indien bodemverdichting leidt tot een afname van de bewortelingsdiepte, zal de droogteschade als gevolg van bodemverdichting hoger zijn dan bovengenoemde auteurs hebben gerapporteerd.

Het modelonderzoek van Van der Bolt e.a. (2016) laat tevens zien dat klimaatverandering leidt tot een grotere toename van de droogteschade aan gewassen op verdichte bodems dan op onverdichte bodems (Figuur 3-3). Afhankelijk van het klimaatscenario neemt de transpiratiereductie als gevolg van bodemverdichting tot 10% toe ten opzichte van de onverdichte bodem. Hieruit blijkt dat bodemverdichting leidt tot een grotere gevoeligheid voor meteorologische droogte en mogelijk ook voor andere invloeden, zoals grondwaterwinning. Dit zou betekenen dat het opheffen van bodemverdichting een beperkte bijdrage kan leveren aan droogtemitigatie als gevolg van grondwaterwinning.



FIGUUR 3-3: VERHOUDING TUSSEN DE ACTUELE EN POTENTIEL TRANSPIRATIE VOOR VERDICHTTE EN NIET-VERDICHTTE BODEMS BIJ HUIDIG KLIMAAT (H.K.) EN DE KLIMAATSCENARIOS 'HIGH SUMMER' (HSI), 'HIGH WINTER' (HWI) EN 'LOW' (LI) VOOR EEN AANTAL GEBIEDEN IN BELGIE. BRON: VAN DER BOLT E.A., 2016.

3.3.2 Stikstofuitspoeling

Een verdichte bodem kan leiden tot een toename van de stikstofuitspoeling, doordat plantenwortels zich minder goed kunnen ontwikkelen en daardoor de gewasgroei wordt geremd. Volgens Lijster e.a. (2016) zijn voorbeelden bekend waarbij een door verdichting veroorzaakte ondiepe beworteling in droge jaren heeft geleid tot 40% opbrengstreductie bij aardappelen, 30% bij maïs en 8-9% bij tarwe. Door de geremde gewasontwikkeling is de stikstofopname niet optimaal, zodat een groter deel van de beschikbare stikstof uitspoelt naar het grondwater. In de literatuur is echter geen empirisch onderzoek beschreven dat deze relatie onderbouwt en kwantificeert. Wel geeft de review van Deru e.a. (2010) aanvullend indirect bewijs voor het effect van bodemverdichting op de uitspoeling van nitraat (positieve feedback). Deze review betreft de relatie tussen bewortelingskenmerken van grasland (intensiteit, diepte, biomassa) enerzijds, en stikstofopname door verschillende grassoorten en -rassen en stikstofuitspoeling anderzijds. De resultaten van deze literatuurstudie zijn samengevat in Tabel 3-1. Hieruit blijkt dat zowel bewortelingsdiepte als -intensiteit een positief effect hebben op de stikstofopname en een negatief effect op het nitraatgehalte in grondwater. Hoewel een deel van de gerapporteerde effecten mogelijk ras-gerelateerd is, geeft dit overzicht sterke aanwijzingen dat het opheffen en voorkomen van bodemverdichting bij kan dragen aan het verminderen van de nitraatuitspoeling door een vollediger opname van het beschikbare stikstof. Om dit te realiseren is locatie-specifiek veldonderzoek en deskundige advisering van agrariërs noodzakelijk.

TABEL 3-1: EFFECT VAN BEWORTELINGSKENMERKEN OP DE OPNAME EN BENUTTING VAN STIKSTOF (BRON: DERU E.A., 2010)

Soort onderzoek	Factor / parameter	Effect / waarneming
Veld, vanggewassen incl. lt.r.gras, 0-1m	Wortelintensiteit, bewortelingsdiepte, biomassa-N	Sterke negatieve correlatie met het nitraatgehalte in 0,5-1m. Geen of zwakke correlatie in 0-0,5m
Veld, maïscultivars, 0-1,5m	WLD	Hoe dieper hoe sterker de correlatie met N-uitputting van de bodem, en hoe lager de WLD
Kolommen, l. raaigras, versch. volumes	Wortelintensiteit (g/l)	Bij lage N-status en geen uitspoeling: N-opname niet gecorreleerd met wortelintensiteit
Kolommen, grassoorten, 0-1m	Wortelmassaverdeling door het 0-1m profiel	Geen effect op nitraatopname
Kolommen, grassoorten, 0-1m	Wortelmassa, totale massa (=N-behoefte voor groei)	Sterke positieve correlatie met nitraatopname
Kolommen, struisgrasclonen, 0-0,6m	Verdeling WLD door het profiel, totale WLD (genotypisch bepaald)	Sterke negatieve correlatie met nitraatconcentratie in de ondergrond en nitraatuitspoeling. Geen verschil in bovengrondse opbrengst.
Kolommen, tarwe, 0-1m	Wortelmassa, WLD, N-toestand	Bij lager N-toestand hogere wortelmassa, WLD, N-opname en bovengrondse massa
Pot, tarwe	Verschil in wortelintensiteit door individuele wortels weg te knippen	N-opname wordt alléén significant beïnvloed wanneer planten met verschillende WLD met elkaar concurreren. Plant-N-opname is dan in verhouding met de hoeveelheid wortels.
Model, wortelarchitectuur	Wortellengtedichtheid, bewortelingsdiepte	Correlatie met nitraatopname en vermindering nitraatuitspoeling in bodems met hoge uitspoelingpotentie
Model, tarwe, 0-2m	Wortellengtedichtheid, bewortelingsdiepte	Fijner vertakt wortelstelsel in de ondergrond gecorreleerd met betere N-en wateropname.
Model	Bewortelingsdiepte, synchronisatie van N-beschikbaarheid en behoefte	Belangrijk in bodems en situaties met een hoge uitspoelingspotentiaal van mobiele / weinig gebonden nutriënten
Review	Wortelarchitectuur: verdeling in ruimte en tijd van hoofd-, zij- en adventiefwortels	N-verplaatsing in bodem vooral via door evapotranspiratie gedreven massastroom; wortelarchitectuur heeft weinig invloed
Review, planten in het algemeen	WLD en bewortelingsdiepte	Effectiviteit voor N-opname wordt medebepaald door: - de overlevingstijd van wortels, - de hoeveelheid wortels op kritieke momenten - de wortelverdeling door het profiel, - de functionaliteit van de wortellengte

3.3.3 Uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen

Volgens Zwart e.a. (2011) kan een verdichte bodem de ziektedruk, en daarmee het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen, doen toenemen. Dit geldt vooral voor gewassen die gevoelig zijn voor stress als gevolg van verdichting, doordat ze traag opkomen, beperkte wortelgroei hebben, gevoelig zijn voor een tekort of overschot aan water of een tekort aan nutriënten. Dit zijn bijvoorbeeld aardappelen, suikerbieten, bloembollen en in mindere mate koolgewassen en granen. Tegelijkertijd zijn de milieuomstandigheden die kenmerkend zijn voor een verdichte bodem vaak gunstig voor plantpathogene organismen om snel tot ontwikkeling te komen. Daarnaast kunnen de milieuomstandigheden bij een verdichte bodem de bestrijdingsmogelijkheden, zoals het mechanisch bestrijden van onkruid, bemoeilijken. Hierdoor kan het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen bij bodemverdichting toenemen, maar onbekend is in hoeverre daar in de praktijk daadwerkelijk sprake van is (Zwart e.a., 2011).

4 Maatregel II: Verhogen organische-stofgehalte

4.1 Inleiding

Organische stof is een verzamelnaam voor allerlei verbindingen waarin koolstof de basis vormt, van kleine oplosbare moleculen tot houtige plantedelen. Het uitgangsmateriaal van organische stof in de bodem is vers organisch materiaal, zoals gewasresten, mest en compost. In de bodem wordt het verse organische materiaal afgebroken door verschillende micro-organismen (mineralisatie). Mineralisatie is in hoofdzaak een biologisch proces, dat afhankelijk is van diverse factoren, zoals vochtgehalte, temperatuur, zuurstofvoorziening, bodemtextuur, bemestingsgeschiedenis en de hoeveelheid labiele en stabiele organische stof.

De meeste Nederlandse landbouwbodems op zandgrond bevatten 2 tot 6% organische stof, ofwel ongeveer 70 tot 210 ton per hectare (Van Eekeren e.a., 2018). In lössgrond is het organische-stofgehalte doorgaans lager. Het organische-stofgehalte in landbouwbodems is een resultante van aanvoer (via o.a. dierlijke mest of compost), productie door het gewas (o.a. wortels) en afbraak door micro-organismen (mineralisatie). Vooral de aanvoer van gewasresten is sterk verschillend voor grasland en bouwland. Volgens Eekeren e.a. (2018) is de aanvoer van organische stof via gewasresten bijna vier maal groter voor grasland dan voor bouwland (Tabel 4-1). Het verhogen van het organische-stofgehalte onder bouwland vereist daarom in de regel een grotere inspanning dan onder blijvend grasland. De afbraak en aanvoerposten zijn overigens wel klein ten opzichte van de totale organische stofvoorraad in zandbodems.

TABEL 4-1: VOORBEELD VAN EEN ORGANISCHE-STOFBALANS VOOR GRASLAND EN BOUWLAND BIJ 4% ORGANISCHE STOF IN DE BODEM IN 0-25 CM (VAN EEKEREN E.A., 2018)

OS-balans	Blijvend grasland (kg/ha)	Bouwland (mais + groenbemester, kg/ha)
Voorraad OS in laag 0-25 cm	140.000	140.000
Afbraak (2%)	-2800	-2800
Aanvoer gewasresten (EOS ¹⁾)	+3975	+1095
Aanvoer drijfmest (EOS ¹⁾)	+1350	+1050
Netto effect	+2525	-655

¹⁾ EOS staat voor effectieve organische stof, dat is gedefinieerd als de hoeveelheid organische stof die na 1 jaar nog in de bodem aanwezig is.

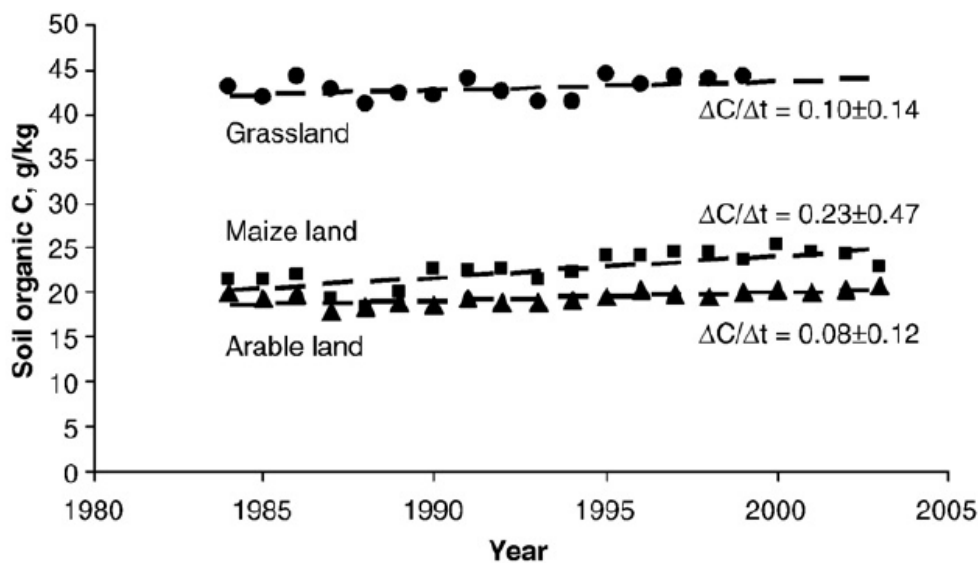
Rietberg e.a. (2013) kennen drie functies toe aan organische stof in landbouwbodems. Ten eerste bevat organische stof voedingsstoffen die pas na mineralisatie mobiliseren en beschikbaar komen voor het gewas. Daarnaast verhoogt het organische-stofgehalte het vochtleverend vermogen van de bodem, zodat meer water beschikbaar is voor het gewas. Organische stof is bovendien een factor van belang voor de bewerkbaarheid en bewortelbaarheid van landbouwbodems. Ten slotte is organische stof voedsel voor allerlei bodemorganismen, en draagt daarbij bij aan een rijk bodemleven, dat weer een gunstig effect kan hebben op de bodemstructuur of de weerbaarheid tegen bodemgebonden ziekten en plagen kan vergroten.

Volgens Schils e.a. (2012) zijn eenduidige wetenschappelijk onderbouwde streefwaarden voor organische stof in bodems niet voorhanden. Te lage organische-stofgehalten kunnen negatief uitwerken op de nutriëntenvoorziening, structuur, vochtvoorziening, erosie en ziektevermogen. Anderzijds kunnen te hoge organische-stofgehalten risico's met zich meebrengen in verband met de draagkracht van de bodem, de uitspoeling van stikstof of de bewerkbaarheid van de bodem. Schattingen van experts geven ondergrenzen aan van ongeveer 1.7% organische stof voor zandgronden.

Beredeneerd vanuit bovenstaande functies, bestaan onder landbouwers zorgen over het organische-stofgehalte in landbouwbodems. Als gevolg van de jarenlange beperkingen op de mestgift, zou het organische-stofgehalte in landbouwbodems gedaald zijn. Reijneveld e.a. (2009) concluderen echter op basis van een omvangrijke database dat het organische-stofgehalte in de bovenste 5 cm onder agrarisch gras in Nederland gedurende de periode 1984-2004 met gemiddeld 0,1 g/kg toenam, en voor akkerbouwgronden met gemiddeld 0,08 g/kg (Figuur 4-1). Deze auteurs concluderen bovendien dat de afname van het organische-stofgehalte in zandbodems beperkt is tot de bodems die van nature al veel organische stof bevatten. Ook Schils e.a. (2012) concluderen dat bij de meeste combinaties van grondsoort en gewas de organische-stofgehalten stabiel zijn gebleven of een stijgende trend vertonen. Deze auteurs laten tevens zien dat in sommige gebieden het organische-stofgehalte wel is afgenomen, namelijk onder maïsland en ander bouwland op zandgrond. Behalve de kwantiteit van organische stof is ook de kwaliteit van organische stof van belang voor de capaciteit van de bodem om nutriënten te bufferen.

Ongeacht het huidige trendmatige verloop van het organische-stofgehalte in landbouwbodems, hebben agrariërs en drinkwaterbedrijven gedeelde belangen bij het beheer van bodemorganische stof:

- Een toename van het bodemorganische stof verhoogt het vochtleverend vermogen en daarmee de droogterobuustheid van bodems. Organische stofbeheer biedt daarom kansen om droogteschade als gevolg van grondwaterwinning te mitigeren, of om de concurrentie om grondwater vanuit de agrarische sector af te laten nemen.
- Een toename van het bodemorganische stof verhoogt de bodemvruchtbaarheid, zodat gewassen effectiever nutriënten opnemen. Dit biedt kansen om met behoud van opbrengst de uitspoeling van stikstof te beperken;
- Bodemorganische stof is een bron van voedsel voor bodemorganismen, zodat het verhogen van het organische-stofgehalte bij kan dragen aan een rijker bodemleven. Een rijker bodemleven onderdrukt de groei van plaagorganismen en versnelt de afbraak van gewasbeschermingsmiddelen. Dit biedt de kans om minder gewasbeschermingsmiddelen te gebruiken of om de kwetsbaarheid van grondwaterwinningen voor kwaliteitsverslechtering als gevolg van uitspoeling van bestrijdingsmiddelen te verkleinen.



FIGUUR 4-1: VERANDERING VAN HET ORGANISCHE-STOFGEHALTE VAN DE BODEMS DIE IN GEBRUIK ZIJN ALS GRASLAND, MAISLAND EN AKKERBOUW IN NEDERLAND VOLGENS REIJNEVELD E.A. (2009).

4.2 Werkwijze en voorbeeldmaatregelen

Rietberg e.a. (2013) geven een overzicht van maatregelen die gericht zijn op het organische-stofbeheer van landbouwbodems. Deze auteurs maken daarbij onderscheid in drie maatregelen, namelijk

- (1) Maatregelen die de afbraak van organische stof beperken. Deze maatregelen zijn het meest kansrijk omdat de hoeveelheid organische stof in de bodem groot is ten opzichte van de aan- en afvoerposten. Voorbeeldmaatregelen zijn niet-kerende groundbewerking, niet scheuren van grasland, groenbemesters, en het aanpassen van teelten of gewasrotaties. Volgens het TCB (2016) kan het verminderen van snel opneembare voedingsstoffen en het verhogen van de grondwaterstand ook bijdragen aan het conserveren van organische stof.
- (2) Aanvoer van organische stof dat afkomstig is van het eigen bedrijf. De voorbeeldmaatregelen overlappen voor een groot deel met de maatregelen die de afbraak van organische stof beperken. Daarnaast kunnen gewasresten achtergelaten worden of andere grassoorten gebruikt worden.
- (3) Aanvoer van organische stof die afkomstig is van buiten het agrarisch bedrijf. Mogelijke bronnen zijn compost, dierlijke mest, en maaimeststof. Deze maatregel verdient volgens Rietberg e.a. (2013) niet de voorkeur omdat onbekend is wat het netto effect op bedrijfsoverstijgende schaal is (wordt een perceel binnen het ene bedrijf verrijkt ten koste van een perceel binnen een ander bedrijf?). De houtresten, houtsnippers en singel- en haagsnoeisels die afkomstig zijn van de percelen van drinkwaterbedrijven zijn mogelijk lokaal af te zetten ten behoeve van bodemverbetering.

4.3 Effectiviteit en aandachtspunten

4.3.1 Droogtemitigatie

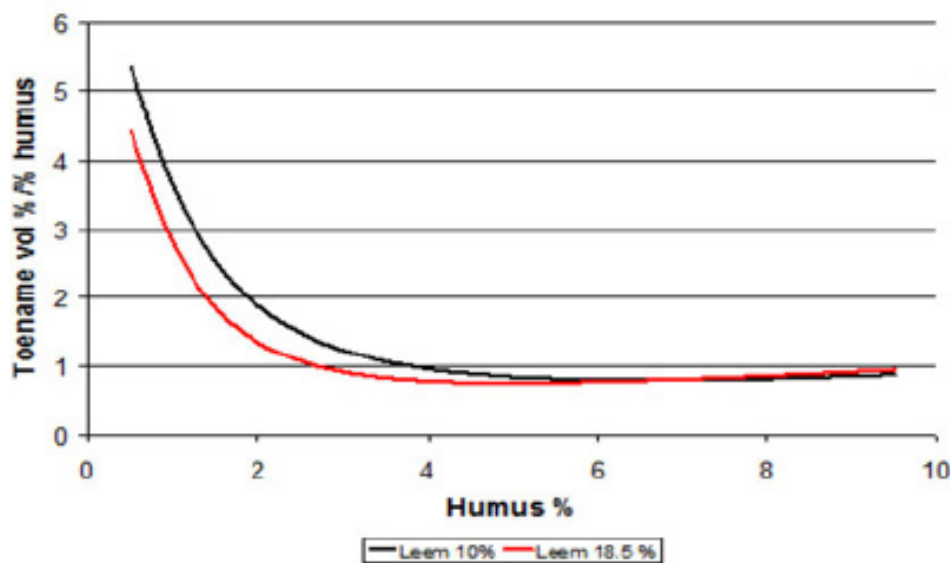
Bodemorganische-stof kan op verschillende manieren invloed hebben op het vochtleverend vermogen van bodems. Het directe effect van organische stof op het vochtleverend vermogen van bodems is afhankelijk van het bodemtype. Volgens Loveland en Webb (2003) nemen variaties in het organische-stofgehalte ongeveer 15% van de variatie in bodemvocht in zandgronden voor hun rekening. Daarnaast heeft het organische-stofgehalte indirect invloed op het vochtleverend vermogen van bodems, namelijk doordat bodemorganische stof via fysisch chemische en biologische processen ook invloed kan hebben op de bodemtextuur en -structuur.

Het vochtleverendvermogen van bodems wordt o.a. bepaald door de structuur (omvang en samenhang van bodemporiën), textuur (grootte en vorm van bodembestanddelen) en het organische-stofgehalte. Deze bodemeigenschappen zijn het netto resultaat van eeuwenlange bodemvormende processen en decennialange menselijke activiteiten zoals bodembewerking, -benutting en -verbetering. Eerdgronden vormen een voorbeeld van bodems die thans een zeer goed vochtleverend vermogen hebben doordat de bodem eeuwen achtereen is opgehoogd met humushoudend materiaal, zoals plaggenmest.

Het verhogen van het organische-stofgehalte ten behoeve van het verhogen van het vochtleverend vermogen biedt daarom perspectief voor

- (1) Bodems waar het organische-stofgehalte is gedaald onder invloed van intensief landbouwkundig gebruik. Volgens Groenendijk e.a. (2017) zijn dit vooral zandbodems die gebruikt worden voor maisteelt of ander bouwland. Volgens deze auteurs is het organische-stofgehalte van bodems op nationale schaal echter niet achteruitgegaan. Bodemmaatregelen kunnen mogelijk bijdragen het oorspronkelijke vochtleverendvermogen van bodems te herstellen.
- (2) Bodems die arm zijn aan leem en organische stof, c.q. bodems die van nature/oudsher droog zijn en een beperkte biomassaproductie hadden. Bodemmaatregelen kunnen mogelijk het vochtleverend vermogen van bodems verhogen ten opzichte van de oorspronkelijke bodem.

Wösten e.a. (2001) gebruikten een theoretische benadering voor het beschrijven van de relatie tussen de toename van de maximale hoeveelheid beschikbaar vocht als functie van het humusgehalte in de bodem (Figuur 4-2). De afgeleide relatie is geheel theoretisch en niet geverifieerd aan meetgegevens, maar is wel zuiver wat betreft de invloed van organische stof op het vochtleverend vermogen. Uit de berekeningen van Wösten e.a. (2001) blijkt dat het vochtleverend vermogen van leemarme zandbodems met een humusgehalte hoger dan 2 à 3 % nauwelijks te verhogen is via het bodemorganische-stofgehalte; het verhogen van het bodemorganische-stofgehalte in deze bodems met 1 % levert minder dan 1 vol% extra bodemvocht op. Dit is equivalent aan ongeveer 4 mm extra bodemvocht bij een wortelzone van 30cm diep. Het vochtleverend vermogen van schralere zandbodems (<2% organische stof) is iets gevoeliger voor veranderingen in het organische-stofgehalte. In deze bodems bedraagt de maximale toename van het bodemvocht ongeveer 5 vol% vocht per procent extra organische stof, i.e., 20 mm extra bodemvocht bij een wortelzone van 30 cm. Dit rendement geldt voor zandbodems met een extreem laag organische-stofgehalte (0,5%). Merk op dat het werkelijke rendement hoger kan zijn, doordat een verhoging van het organische-stofgehalte ook indirect kan bijdragen aan het vochtleverend vermogen van bodems.



FIGUUR 4-2: TOENAME VAN HET BESCHIKBARE VOCHT PER PROCENT HUMUSTOENAME ALS FUNCTIE VAN HET HUMUSPERCENTAGE, AFGELEID VAN PEDOTRANSFERFUNCTIES (WOSTEN E.A., 2001).

4.3.2 Stikstofuitspoeling

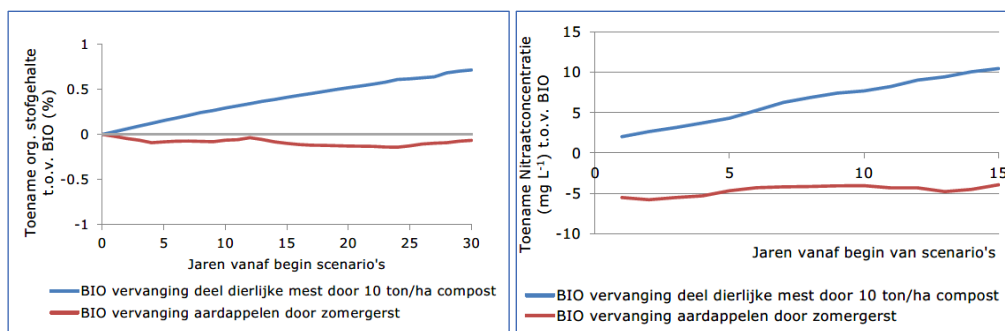
De relatie tussen organische-stofgehalte en stikstofuitspoeling is niet eenduidig omdat organische stof zelf ook een bron van stikstof is en verschillende bronnen van organische stof onderling sterk verschillen wat betreft stikstofmineralisatie. De mate waarin het verhogen van het organische-stofgehalte bij kan dragen aan het verminderen van de stikstofuitspoeling is daarom o.a. afhankelijk van de wijze waarop het stikstofgebruik wordt afgestemd op de stikstofmineralisatie en de wijze van organische stofbeheer. Ter illustratie van dit spanningsveld worden hieronder de effecten van enkele voorbeeldmaatregelen geschetst.

4.3.2.1 Aanvoer van organische stof

Groenendijk e.a. (2017) berekenden voor een proefperceel op Proefboerderij de Peel de effecten van langjarige aanvoer van 10 ton/ha/jaar organische stof op de uitspoeling van nitraat naar het grondwater. Het proefperceel werd bemest met rundermest en drijfmest (136 kg N/ha/jaar) en werd gebruikt voor de teelt van snijmaïs, aardappelen, suikerbiet en wintertarwe (in rotatie). De simulaties werden uitgevoerd voor een bemestingsscenario waarbij een deel van de rundermest binnen de bestaande stikstofgebruiksnormen is vervangen door compost. Omdat bij dit scenario organische stof uit externe bronnen wordt aangevoerd, wordt de hoeveelheid mest en compost die kan worden opgebracht gelimiteerd door mestnormen. Hierbij geldt voor rundermest een werkingscoëfficiënt van 60% en voor compost een werkingscoëfficiënt van 10%. Op basis van deze werkingscoëfficiënten is berekend dat binnen dit scenario 70 kg N/ha/jaar meer aangevoerd wordt ten opzichte van de referentiesituatie. Een doelmatige toepassing van de aanvoer van organische stof vereist daarom deskundige advisering om het risico op een toenemend stikstofbodemoverschot op de lange termijn te ondervangen.

De modelsimulaties laten zien dat met deze maatregel het organische-stofgehalte in de bodem stijgt met 0,7 %-punt in 30 jaar tijd. Met het organische-stofgehalte stijgt ook de stikstofmineralisatie, na 30 jaar composteren namelijk met 45 kg N/ha/jaar. Als gevolg van

deze “nawerking” stijgt in dit scenario de nitraatconcentratie in ondiep grondwater onder de akkers met 10 mg/l ten opzichte van de referentiesituatie. Mogelijk wordt een deel van deze toenemende nitraatuitspoeling gecompenseerd door een toename van de denitrificatie onder de bouwvoor. In hoeverre composteren denitrificatie stimuleert is echter onbekend. Daarom kan er voorsnog vanuit gegaan worden dat composteren alleen de stikstofuitspoeling naar het grondwater vermindert indien de mestgift wordt gesaldeerd met de nawerking als gevolg van de stikstofmineralisatie uit de extra bodemorganische-stof. Volgens Hospers-Brands en Van der Burgt (2013) kan met deze saldering-aanpak voorkomen worden dat de nitraatuitspoeling toeneemt. Hiervoor is bedrijfsspecifiek onderzoek naar de nutriëntenhuishouding en deskundige landbouwadvisering noodzakelijk.



FIGUUR 4-3: EFFECT VAN HET VERVANGEN VAN EEN DEEL VAN DIERLIJKE MEST DOOR COMPOST OP HET ORGANISCHE-STOFGEHALTE IN DE BODEM EN DE NITRAATCONCENTRATIE IN HET ONDIEPE GRONDWATER.

Een ander potentieel risico van de aanvoer van organische stof is dat de N-mineralisatie ook verhoogd wordt in tijden dat geen gewas op de akker staat of de stikstofopname door het gewas niet maximaal is. In dit geval komt nitraat vrij en spoelt het uit naar het grondwater. Volgens Reubens e.a. (2010) kunnen deze stikstofverliezen beperkt worden door de teelt en onderwerken van een vanggewas. Vervolgens dient ook het stikstof dat in de resten van het vanggewas op de akker achterblijft gesaldeerd te worden met de aanvullende stikstofbemesting.

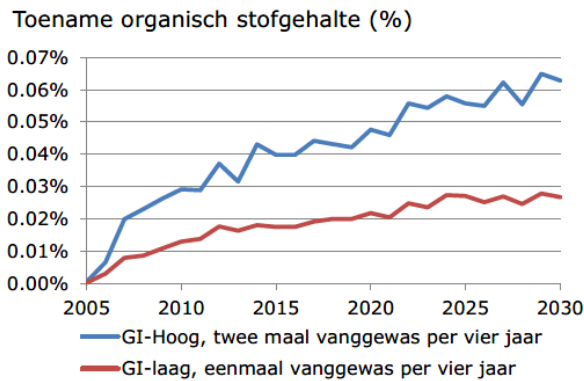
4.3.2.2 Vanggewassen

Vanggewassen hebben tot doel een deel van het stikstofoverschot vast te leggen in bodemorganische-stof, zodat het stikstof als gevolg van mineralisatie beschikbaar komt voor het volgende gewas in de rotatie. Omdat deze stikstof afkomstig is van een interne bron, telt deze stikstofgift niet mee in de berekening van de mestgebruiksruimte.

Groenendijk e.a. (2018) simuleerden voor twee landbouwsystemen het effect van de teelt van vanggewassen op de opbouw van bodemorganische stof en de nitraatuitspoeling naar het grondwater. Bij het eerste landbouwsysteem (GIhoog) werd 224 kg N/ha/jr aangevoerd met drijfmest en kunstmest. Bij het tweede landbouwsysteem (GIlaag) werd 199 kg N/ha/jr aangevoerd via mineralenconcentraat en kunstmest. Hierbij gingen de auteurs uit van de teelt van een vanggewas na de teelt van maïs in de rotatie snijmaïs, consumptie-aardappelen, suikerbiet en wintertarwe. De simulaties werden vergeleken met waarnemingen die zijn uitgevoerd op de proefboerderij Vredepeel.

De auteurs berekenden dat voor het GI-laag systeem het bodemorganische-stofgehalte over een periode van 30 jaar met 0,03% toeneemt indien eenmaal per vier jaar een vanggewas wordt geteeld. Voor het GI-hoog systeem neemt het bodemorganische-stofgehalte toe met

0,06% indien tweemaal per vier jaar een vanggewas geteeld wordt. Voor beide scenario's vakt de toename van het organische-stofgehalte af, doordat de aanvoer van organische stof via het vanggewas in evenwicht raakt met de afbraak door mineralisatie (Figuur 4-4). Volgens deze simulaties heeft de teelt van vanggewassen een beperkte toename van het bodem organische-stofgehalte tot gevolg.



FIGUUR 4-4: GESIMULEERD EFFECT VAN EEN VANGGEWAS OP HET BODEMORGANISCHE-STOFGEHALTE VOOR TWEE LANDBOUWSYSTEMEN VOLGENS GROENENDIJK E.A., 2017.

Volgens de simulaties van Groenendijk e.a. (2018) leiden vanggewassen tot extra gewasopname van stikstof, waarvan een beperkt deel door het hoofdgewas en een groter deel door het vanggewas. Dit effect is groter naarmate vaker vanggewassen worden geteeld. Het grootste deel (meer dan 90%) van het stikstof dat door de vanggewassen wordt opgenomen blijft in de vorm van gewasresten achter in de bodem. Hierdoor neemt ook het bodemorganische-stikstof, en daarmee de stikstofmineralisatie, in de loop van de tijd toe. Na verloop van tijd stelt zich een nieuw evenwicht in tussen stikstofaanvoer en -afvoer, zodat de gewasresten netto vrijwel geheel mineraliseren. Dit betekent dat de effectiviteit van de teelt van vanggewassen ten behoeve van het verminderen van de stikstofuitspoeling geleidelijk afneemt, tot de hoeveelheid die gelijk is aan de extra gewasopname van het hoofdgewas en eventuele extra denitrificatie. Volgens Groenendijk e.a. (2018) neemt de stikstofopname hierdoor met enkele procenten toe. Deze toename is echter verhoudingsgewijs kleiner dan de afname van de grondwateraanvulling (10-15%) als gevolg van de toenemende gewasverdamping door een langere begroeiing. Volgens de auteurs zou de nitraatconcentratie in het ondiepe grondwater hierdoor toe kunnen nemen met enkele mg/l. Hierin is het effect van toenemende infiltratie van neerslag doordat verslemping en structuurbederf wordt voorkomen niet meegenomen. Desondanks geeft deze scenarioanalyse aan dat de teelt van vanggewassen als maatregel voor het verminderen van de stikstofuitspoeling alleen effectief is indien de mestgift wordt gesaldeerd met toenemende stikstofmineralisatie uit de gewasresten van het vanggewas. De teelt van vanggewassen biedt daarom de kans om de mestgift te verlagen, zonder opbrengstverlies door verminderde bemesting.

4.3.2.3 Maisteelt in rotatie met grasteelt

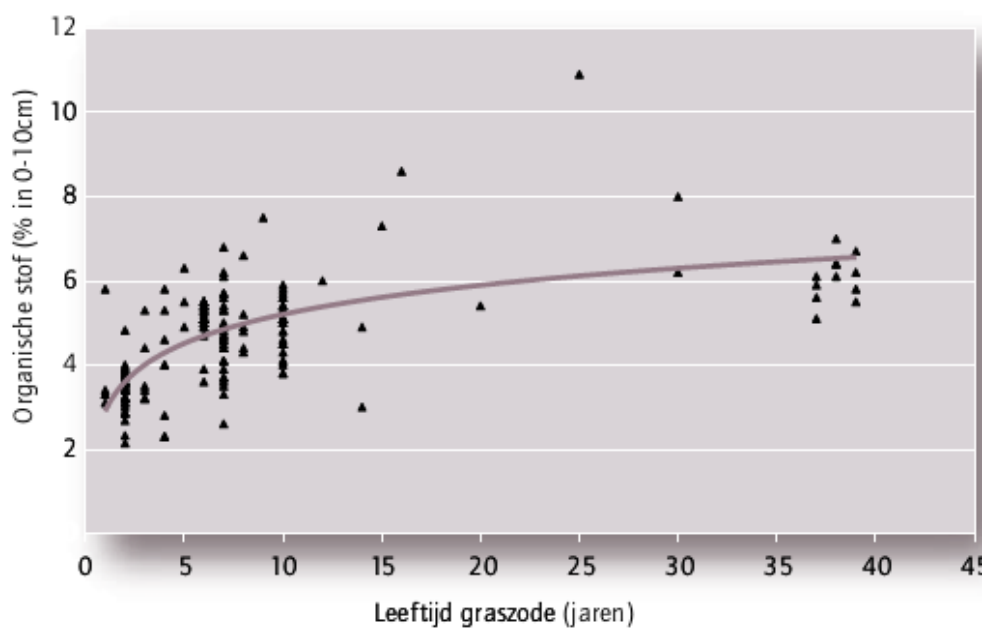
Continuteelt van snijmaïs gaat vaak gepaard met opbrengstverliezen tot wel 20% (Vries, 2013). Een van de oorzaken is de daling van het bodemorganische-stofgehalte doordat snijmaïs weinig plantenresten in de bodem achterlaat (Aarts e.a., 2002). Hierdoor wordt de jaarlijkse afbraak van bodemorganische-stof (ongeveer 2 ton/ha, Groenendijk e.a., 2017) niet geheel gecompenseerd door aanvoer van effectieve organische stof via gewasresten. Dit

heeft in veel gebieden geleid tot een afname van de hoeveelheid stikstof die via mineralisatie van organische stof beschikbaar komt voor gewasopname (Van Eekeren e.a., 2008) en een achteruitgang van de bodemstructuur waardoor de beworteling wordt beperkt. Onderzoek op de proefboerderij De Marke laat zien dat continueelt van maïs ook leidt tot hogere stikstofuitspoeling (Aarts e.a., 2002).

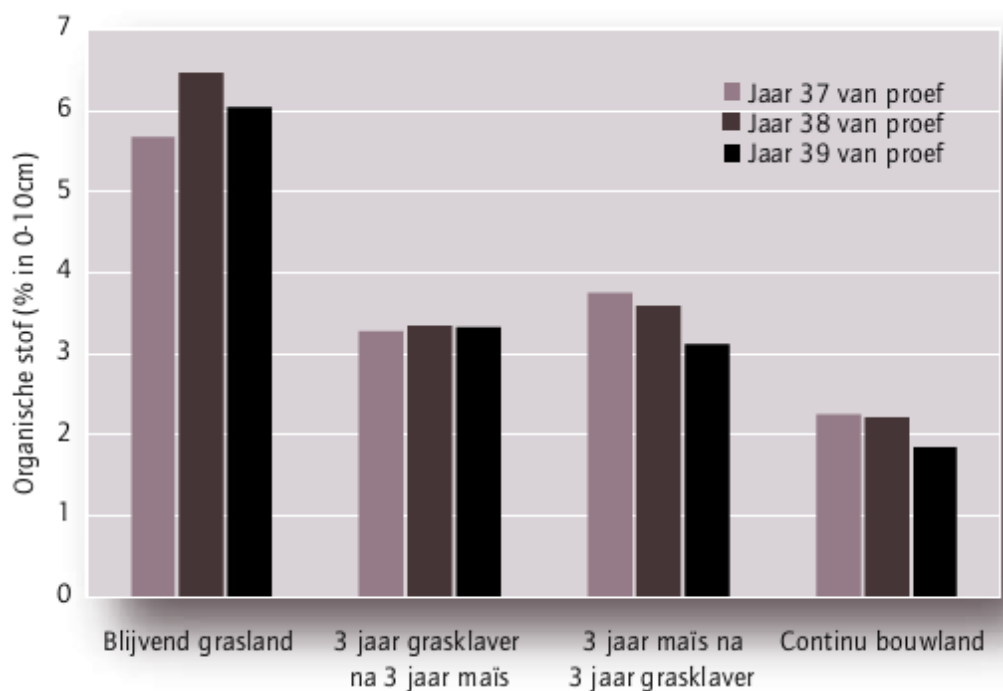
Een mogelijke maatregel om de opbrengstdaling en de stikstofuitspoeling tegen te gaan is om snijmaïs te telen in rotatie met grasteelt (Van Eekeren e.a., 2011; Van Eekeren e.a., 2018). Gras staat erom bekend veel organische stof in de bodem vast te leggen. Hierdoor bouwt gras een behoorlijke hoeveelheid organische stof op, inclusief organische gebonden stikstof (Van Eekeren e.a., 2011). Hoe ouder het grasland, des te hoger het bodemorganische-stof (Figuur 4-5). De teelt van maïs, of andere akkerbouwgewassen die weinig organische stof in de vorm van gewasresten achterlaten, kunnen profiteren van deze bodemorganische-stof. Hiervoor is het noodzakelijk om de oude zode te vernietigen, zodat door mineralisatie het vastgelegde bodemorganische-stikstof vrij komt. Diverse auteurs geven aan dat een vruchtwisseling van 3 jaar grasland gevolgd door 3 jaar akkerbouw de gunstigste verhouding is voor de gewasopbrengst en het in stand houden van het bodemorganische-stofgehalte (De Boer e.a., 2012; Van Eekeren e.a., 2011, Van Eekeren e.a., 2018). Volgens van Eekeren e.a. (2018) neemt het organische-stofgehalte in bodems over een periode van 40 jaar met ongeveer 1 %-punt toe ten opzichte van een continueelt (Figuur 4-6). Een dergelijke vruchtwisseling leidt tot een opbrengstverhoging van 10-20% ten opzichte van continueelt. Hierdoor nemen de stikstofverliezen nemen af, en er kan met minder mest dezelfde opbrengst worden behaald.

Diverse auteurs laten zien dat de opbrengst van maïs die wordt verbouwd in rotatie met grasland behouden kan blijven zonder aanvullende stikstofbemesting gedurende het eerste of de eerste jaren (Berge e.a., 2016; Pikula e.a., 2016; Boer, 2005; Verloop en Hilhorst, 2015). Onderzoek op De Marke laat zien dat door te sturen op N-efficiëntie de stikstofverliezen beperkt kunnen worden, maar dat daarmee bodemorganische-stof tot kritieke waarden voor bodemvruchtbaarheid kan dalen (Verloop e.a., 2014).

Een kanttekening bij de vruchtwisseling van gras en maïs is dat snijmaïs niet alle vrijkomende stikstof op kan nemen die vrijkomt na het omvormen van het grasland. Dit komt doordat de hoeveelheid stikstof die vrijkomt groter is dan de stikstofbehoefte van snijmaïs bij optimale groeiomstandigheden. Daarnaast is de bodemmineralisatie het hoogst in de zomer en het najaar, de periode dat maïs nauwelijks of geen stikstof meer opneemt. Dit faseverschil tussen stikstofaanbod en stikstofvraag treedt vooral op in het eerste jaar na vernietiging van de graszode, maar is ook in de jaren daarop nog aanwezig. Daarom zijn aanvullende teeltmaatregelen, zoals de keuze voor het volggewas en de teelt van vanggewassen, nodig om de uitspoeling van het vrijgekomen stikstof naar het grondwater zo veel mogelijk te beperken (Wit e.a., 2006). Er bestaan aanwijzingen dat de teelt van voederbieten in plaats van snijmaïs resulteert in minder stikstofuitspoeling, doordat voederbieten tot later in het groeiseizoen stikstof opnemen en dieper wortelen (Wolf e.a., 2017).



FIGUUR 4-5: RELATIE TUSSEN HET ORGANISCHE-STOFGEHALTE IN BODEMS EN DE LEEFTIJD VAN GRASZODE OP ZANDBODEMS (EKKEREN E.A., 2018).

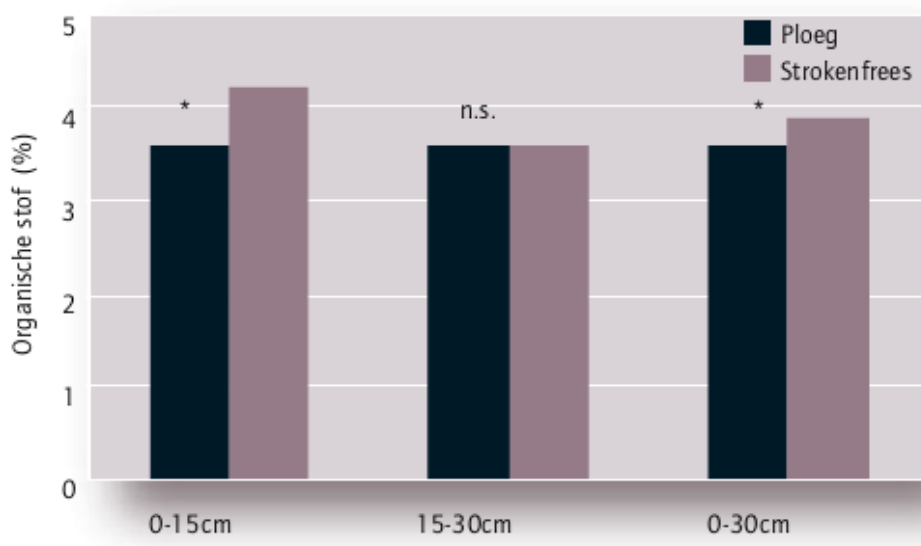


FIGUUR 4-6: ORGANISCHE-STOFGEHALTE IN DE BODEM AAN HET EINDE VAN EEN 40 JAAR LANGE PROEF MET 3 VERSCHILLENDE GEWASROTATIES OP EEN ZANDBODEM.

4.3.2.4 Niet-kerende grondbewerking

Bij niet-kerende grondbewerking wordt grondbewerking zo veel mogelijk vermeden, zodat de afbraak van organische stof wordt vertraagd. Dit in tegenstelling tot de gangbare landbouwpraktijk waarbij akkers geploegd worden met als doel een luchtigere bouwvoor te creëren en de mineralisatie van organische stof te bevorderen. Als gevolg van luchtintreding neemt de stikstofmineralisatie tijdelijk sterk toe, zodat de beschikbaarheid van stikstof groter kan zijn dan de stikstofbehoefte van het gewas. Hierdoor spoelt een deel van de vrijgekomen stikstof uit naar het grondwater. Niet-kerende grondbewerking bevordert tevens het bodemleven, maakt een diepere beworteling van het gewas mogelijk en verhoogt het ziektevermogen van bodems (Balen, 2012). Hierdoor leidt niet-kerende grondbewerking tot een beter vochtleverend vermogen en kan het bijdragen aan het verminderen van de uitspoeling van mineralen en gewasbeschermingsmiddelen. Nadelen zijn een toenemende onkruiddruk, een toename van ziekten en plagen, zoals slakken en schimmels, en een verminderde geschiktheid van de top laag voor mechanische onkruidbestrijding.

De technieken voor niet-kerende grondbewerking worden vanwege de erosiegevoeligheid van hellingen op grote schaal toegepast in het lössgebied van Zuid-Limburg. Op zandgronden, echter, worden deze technieken enkel nog experimenteel toegepast. Volgens Balen (2012) zijn deze technieken toepasbaar op extensieve bedrijven met weinig rooigewassen en zwaardere grond. Deru e.a. (2015) omschrijven een proef met niet-kerende grondbewerking bij de teelt van maïs op zandgrond in De Moer (Noord-Brabant). Volgens deze auteurs leidde drie jaar strokenfreen (een techniek voor niet-kerende grondbewerking) tot 0,3% toename van het organische-stofgehalte in de bovenste 30 cm ten opzichte van ploegen (Figuur 4-7). De gevolgen voor de stikstofuitspoeling naar het grondwater zijn niet bekend.



FIGUUR 4-7: ORGANISCHE-STOFGEHALTE NA MAISTEELT OP ZANDGROND MET DRIE JAAR PLOEGEN OF STROKENFREZEN (DERU E.A., 2015)

4.3.3 Uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen

Bij de behandeling van landbouwgewassen of -bodems met gewasbeschermingsmiddelen komen deze stoffen geheel of gedeeltelijk op en in de bodem terecht. Vervolgens kunnen ze met het neerslagoverschot uitspoelen naar het grondwater. De mate waarin dit gebeurt, is enerzijds afhankelijk van de dosering, frequentie en timing van toepassing, en anderzijds van de mate van afbraak (degradatie) en hechting aan de bodem (sorptie). Afbraak kan plaats vinden in de vorm van chemische of biologische processen. Vaak resulteren deze processen in tussen- of afbraakproducten die eveneens toxisch zijn.

Het verhogen van het organische-stofgehalte in landbouwbodems kan via twee mechanismen bijdragen aan het verminderen van de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen, namelijk door

- (1) Het verhogen van de bodemweerbaarheid tegen ziekteverwekkers en onkruidonderdrukking, en
- (2) Het stimuleren van de sorptie afbraak van gewasbeschermingsmiddelen in bodems.

Deze mechanismen worden achtereenvolgens nader omgeschreven.

4.3.3.1 Verhogen bodemweerbaarheid

Het bodemvoedselweb beschikt over een aantal mechanismen om ziekten en plagen te reguleren, namelijk (Reubens e.a., 2010):

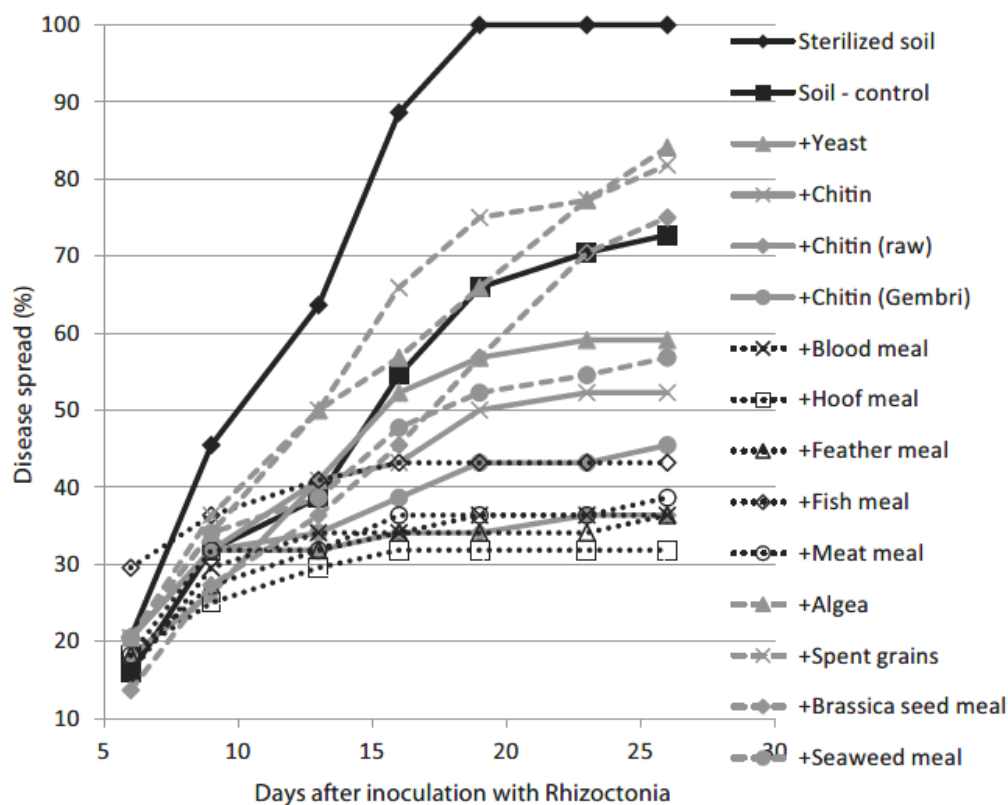
- Competitie om voedsel, water en ruimte, waardoor pathogene organismen onderdrukt worden;
- Predatie van de ziekteverwekkers en plagen door andere organismen;
- Productie van groeiremmende stoffen (bv antibiotica).

Hospers e.a. (2015) benadrukken dat geen enkel mechanisme effectief is tegen alle ziekteverwekkers. Wel wordt een goed functionerend bodemvoedselweb in staat geacht om ziekten en plagen te onderdrukken en zo schadelijke invloed van pathogenen te reduceren. Reubens e.a. (2010) concluderen op basis van literatuuronderzoek dat een eenduidige set van optimale condities voor ziektevermindering in alle situaties niet bestaat, maar dat voldoende organische stof, een goede bodemvruchtbaarheid en een goede bodemstructuur doorgaans leiden tot een goed functionerend bodemvoedselweb. Deze auteurs concluderen eveneens dat de kennis over de plaagwerendheid van bodems nog weinig is onderzocht, maar dat ook hiervoor het bodemleven en het organische-stofgehalte een cruciale rol spelen.

Postma en Schilder (2015) bepaalden op basis van potproeven met suikerbietenteelt de invloed van verschillende organische-bodemverbeteraars op de bodemweerbaarheid van een kleibodem. De onderzochte bodemverbeteraars waren gisten, chitine, eiwitrijke dierlijke afvalstoffen en plantaardige resten. De bodemweerbaarheid werd bepaald door een ziekteverwekker toe te voegen, en de aantasting van het gewas vast te stellen (biotoets). Een gesteriliseerde bodemonster werd gebruikt als controle. Volgens dit experiment is de ziekteverspreiding in het gewas op de gesteriliseerde bodem hoger dan in de onbehandelde en behandelde bodemonsters (Figuur 4-8). Dit bevestigt de bijdrage van bodemleven aan het onderdrukken van plaagziekten. Daarnaast vonden de auteurs dat het gewas dat groeide op bodemonsters die behandeld waren met gist, chitine en sommige eiwitrijke dierlijke afvalstoffen minder snel aangetast werd dan het gewas op het onbehandelde bodemonster (Figuur 4-4). Volgens de auteurs stimuleren deze bodemverbeteraars de concurrenten die van nature in de bodem aanwezig waren en onderdrukken daarmee de ziekte. Soortgelijke resultaten zijn ook met proeven met andere akkerbouwgewassen behaald. Echter, de auteurs

wijzen erop dat de bodemweerbaarheid alleen verhoogd kan worden indien de natuurlijke concurrenten reeds in de bodem aanwezig zijn en niet onderdrukt worden door ander bodemleven.

Postma en Schilder (2015) wijzen erop dat het onderdrukken van plaagorganismen door organische-bodemverbetersaars nog steeds niet tot grootschalig praktijktoepassing is gekomen doordat de effectiviteit onvoorspelbaar is. Ook Reubens e.a. (2010) geven aan dat uit diverse experimenten blijkt dat compost ziektedrukkend werkt, maar dat niet voorspeld kan worden in welke mate en tegen welke ziekte. Bovendien vinden Reubens e.a. (2010) aanwijzingen dat grote ziekteonderdrukking (>50%) slechts bereikt wordt met toepassing van grote hoeveelheden compost (>100 ton/ha), wat kan conflicteren met de mestwetgeving. Hospers e.a. (2015) komen op basis van een screening van verschillende aardappelgewassen met binnen het perceel verschillen in voorgeschiedenis wat betreft de aanvoer van organische stof ook tot de conclusie dat geen sprake is van een eenduidige relatie tussen bodemweerbaarheid en agrarische bedrijfsvoering. Deze auteurs wijzen erop dat ook het type en de samenstelling van het compost en het moment van uitrijden bepalend zijn voor het succes van maatregelen in de praktijk. Bockhorst en ter Berg zien de rol van compost niet als snelwerkend preventief of genezend ziekteverwend middel, maar als onderdeel van goed bodembeheer, dat een goede vruchtwisseling met voldoende organische-stofopbouw combineert, en zo het bodemleven versterkt en bodemziekten onderdrukt.



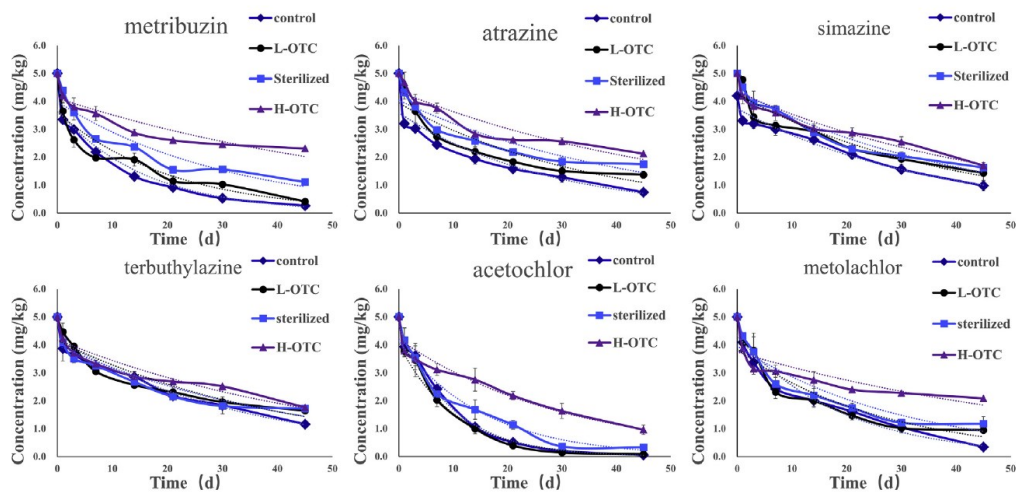
FIGUUR 4-8: ONTWIKKELING VAN DE ZIEKTEVERWEKKER *R. solani* AG 2-IIIB (SCHIMMEL) IN SUIKERBIETEN OP GRONDEN DIE VERRIJKT ZIJN MET VERSCHILLENDE ORGANISCHE-MESTSTOFFEN. BRON: POSTMA EN SCHILDER, 2015.

Volgens Reubens e.a. (2010) kan organische mest een relatief goedkoop substraat bieden voor de introductie van bijvoorbeeld schimmels die worden toegepast voor biologische onkruidonderdrukking. Anderzijds kan organische mest ook bijdragen aan de verspreiding van onkruidzaden, met een verhoogd risico op het gebruik van herbiciden tot gevolg. Dit risico is kleiner indien compost wordt toegepast, mits tijdens het composteringsproces een voldoende hoge temperatuur is bereikt om de kiemkracht van de onkruidzaden te beperken. Vanuit dit perspectief heeft het gebruik van compost als stikstofbemester de voorkeur boven het gebruik van dierlijke mest.

4.3.3.2 Stimuleren van retentie en afbraak

Uit diverse literatuurbronnen blijkt dat het kleigehalte en organische-stofgehalte in bodems sterk bepalend zijn voor de afbraak en retentie van gewasbeschermingsmiddelen in bodems (Arias-Estevez e.a., 2008). Organische stof is vanwege de hoge reactiviteit en lading in staat om veel stoffen te binden of via het stimuleren van de microbiologische activiteit de binding aan bodemdeeltjes te verbeteren (Gevao e.a., 2000). Dezelfde mechanismen (hoge reactiviteit en stimuleren microbiologische activiteit) kunnen tevens de afbraak versnellen van veel gewasbeschermingsmiddelen. Kahl e.a. (2007) analyseerden de retentie en afbraak van 13 middelen voor negen bodemtypen (zand, leem, klei en mengsels daarvan) en bepaalden daaruit de relatie tussen afbraaksnelheid en bodemeigenschappen. Hieruit bleek dat over het algemeen het bodem organische-stofgehalte inderdaad de afbraak van de middelen stimuleerde. Voor 10 van de 13 stoffen was sprake van een significant positieve relatie (95%-betrouwbaarheidsinterval) tussen organische-stofgehalte en afbraaksnelheid. De afbraak van de andere drie stoffen was significant gecorreleerd met biologische activiteit. Volgens de auteur is echter geen sprake van een eenduidig relatie, doordat diverse andere factoren, zoals de pH, mede bepalend zijn voor de afbraaksnelheid. Bedrijfsspecifiek onderzoek en deskundige advisering is daarom noodzakelijk om maatwerk te kunnen leveren.

De relatie tussen microbiologische activiteit, die gesimuleerd kan worden door het organische-stofgehalte in bodems te verhogen, en de afbraak van herbiciden wordt goed geïllustreerd door Wenqi e.a. (2018). Deze auteurs voerden kolomproeven uit om de invloed van de uitspoeling van antibiotica uit dierlijke mest op de afbraak van zes herbiciden te kwantificeren. Uit dit experiment bleek dat (zie Figuur 4-9) de afbraak van de herbiciden in onbehandelde bodemkolommen (met ongestoord bodemleven) sneller verloopt dan in gesteriliseerde bodemkolommen (uitgeschakeld bodemleven), en dat de afbraak in de bodemkolommen die behandeld waren met antibiotica (uitgeschakeld bodemleven en onderdrukt herstel daarvan) nog verder geremd werd. Dit illustreert de positieve invloed van microbiologische activiteit op de afbraak van gewasbeschermingsmiddelen. Het geeft tevens aan dat meerdere aspecten van bodemgebruik van invloed zijn op de effectiviteit van het verhogen van het organische stof in bodems als mitigerende maatregel voor de belasting van het grondwater met gewasbeschermingsmiddelen. Dit geeft aan dat bodemmaatregelen alleen doelmatig zijn indien het gedrag van agrariërs gericht is op duurzaam bodembeheer en -benutting. Hiervoor is kennisdeling en deskundige advisering noodzakelijk.



FIGUUR 4-9: DE AFBRAAK VAN 6 HERBICIDEN IN BODEMKOLOMMEN DIE VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN HEBBEN ONDERGAAN MET EEN VERSCHILLENDE EFFECT OP DE MICROBIOLOGISCHE ACTIVITEIT (WENQI E.A., 2018).

Kannisery e.a. (2011) beschrijven op basis van een literatuurstudie het perspectief van de aanvoer van organische stof voor het mitigeren van de belasting met herbiciden van het grondwater. Deze auteurs geven o.a. een overzicht van gepubliceerde effecten van verschillende typen organische stof op de afbraak van specifieke herbiciden. De algemene conclusie hieruit is herbiciden sneller en vollediger afbreken in bodems die verrijkt waren met organische stof dan in bodems waar geen organische stof werd aangevoerd. Volgens de auteurs kunnen hieraan verschillende mechanismen ten grondslag liggen, namelijk een verhoogd aanbod van voedingsstoffen (o.a. stikstof) en gestimuleerde biologische activiteit. Janaki e.a. (2015) en VanderMaesen e.a. (2016) concluderen eveneens op basis van een literatuurstudie dat de aanvoer van organische stof een veelbelovende maatregel is om de afbraak van herbiciden te versnellen. Deze auteurs geven aan dat deze maatregel gecombineerd moet worden met andere maatregelen, zoals gewasrotatie, en dat veldonderzoek noodzakelijk is om faalfactoren te identificeren (zoals te lage concentraties) en de optimale combinatie van maatregelen te selecteren.

TABEL 4-2: OVERZICHT VAN HET EFFECT VAN AANVOER VAN ORGANISCHE STOF UIT VERSCHILLENDE BRONNEN OP DE AFBRAAK VAN SPECIFIEKE HERBICIDEN VOLGENS DE REVIEW VAN KANISERRY E.A. (2011)

	Organischestofbron	Doelstof (herbicide)	Belangrijkste uitkomst
1	Dierlijke mest en zuiveringsslib	Atrazine en alachloor	Versneld afbraak
2	Geactiveerd slib	Atrazine en simazine	25-30% afbraak in 9 uur
3	Zuiveringsslib en maismeel	Alachloor en trifluralin	Significant hogere afbraak ten opzichte van referentie
4	Maisstro	Methabenzthiazuron	Significante toename (volledige) afbraak
5	Koeienmest	Atrazine	Succesvolle techniek voor de sanering van verontreinigde bodem
6	Koeienmest	Atrazine	Significant sneller afbraak ten opzichte van referentie
7	Maismeel, raaigras kippenmest	Cyanazine en fluometuron	Versnelde en vollediger afbraak door elk amendement
8	Plantaardige resten of gemalen zaad	Alachloor, metolachloor, atrazine en trifluralin	Kosteneffectieve methode voor de verwerking van herbicidenafval
9	Cellulose, stro en compost	Atrazine	Aanvoer van organische stof stimuleerde afbraak
10	Compost, maisstengels, gefermenteerde mais, veen, mest en zaagsel	Atrazine, trifluralin, metolachloor	Significante toename bacteriële populatie en afbraaksnelheid
11	Olijven	Chloorsulfuron, prosulfuron en bensulfuron	Stimuleerde microbiologische afbraak
12	Biogasslib, paddestoelen compost en stalmest	Atrazine	Bioasslib was het meest effectief in de verwijdering van atrazine
13	Rijststro, stalmest, zaagsel en houtskool	atrazine	Stalmest stimuleerde de afbraak het meest (90% in 60 dagen)

5 Discussie en advies: een gezonde bodem voor de functie drinkwater

5.1 Kansen en aandachtspunten

5.1.1 Algemeen

In de tweede helft van de 20^e eeuw is diverse wet- en regelgeving in werking getreden ten behoeve van de veiligstelling van de drinkwatervoorziening in een agrarische omgeving. In eerste instantie had deze wet- en regelgeving een generiek en regulerend karakter. Zo is sinds de jaren 1990 een stelsel van stikstofgebruiknormen in werking getreden om belasting van het milieu met meststoffen tot een acceptabel niveau terug te dringen. Met dit generieke beleid is op diverse drinkwaterdossiers goede vooruitgang geboekt. Desondanks treden bij veel kwetsbare grondwaterwinningen nog altijd knelpunten op die gerelateerd zijn aan de functiecombinatie met landbouw. Ten behoeve van de doelmatigheid en het draagvlak van het landelijke milieubeleid, is de huidige tendens om deze knelpunten op te lossen met gebiedsgericht maatwerk en in dialoog met de betrokken partijen. Hierbij wordt steeds vaker uitgegaan van agrarisch waterbeheer, i.e. vrijwillige maatregelen die door agrariërs zelf worden genomen, en met als uitgangspunt dat het bereiken van de milieudoelstellingen hand in hand moet gaan met het behoud of de verhoging van de agrarische productie. Het milieubeleid is daarmee in een nieuwe fase terecht gekomen, die zich nog voor een groot deel moet bewijzen in de praktijk en nog volop in ontwikkeling is.

Een van de nieuwe aspecten van het decentraliserende milieubeleid is de toenemende aandacht voor bodemmaatregelen als oplossing voor het harmoniëren van de drinkwatervoorziening en de agrarische productie op gebiedsniveau. Anno 2018 vormen bodemmaatregelen een wezenlijk onderdeel van het Zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn en worden ze genoemd in de Tweede Nota Duurzame Gewasbescherming. Daarnaast staan ze sinds enkele jaren ook bij waterbeheerders in de aandacht om de droogterobuustheid van de agrarische sector te verhogen en als alternatief of aanvulling op bestaande droogteschaderegelingen die zijn getroffen tussen drinkwaterbedrijven en agrarische ondernemingen. Ten slotte zijn bodemmaatregelen onderdeel van het Europees en landelijk beleidsontwikkeling voor klimaatmitigatie. De gedachte hierachter is dat een deel van de uitstoot van broeikasgassen gecompenseerd kan worden door koolstof in de vorm van organische stof vast te leggen in landbouwbodems. Bodemmaatregelen zijn dus onderdeel van verschillende beleidsdossiers en vormen daar een verbinding tussen. Het is voor de drinkwatersector van belang om een integrale afweging van de kansen en risico's van bodemmaatregelen op de agenda te krijgen.

Sinds ongeveer 2000 zijn rond diverse kwetsbare grondwaterwinningen projecten gestart, waarin drinkwaterbedrijven en agrarische ondernemingen samenwerken aan het verminderen van de wederzijdse beïnvloeding van elkaars bedrijfsvoering. Tijdens deze projecten is o.a. een aantal bodemmaatregelen in de praktijk getest en wordt monitoring uitgevoerd om de milieuprestatie te toetsen aan de normen. Zo zijn proeven uitgevoerd met de vervanging van maïs door sorghum, met de teelt van vanggewassen en het verminderen van bodemverdichting door de bandenspanning te verminderen. Deze samenwerkingsprojecten hebben doorgaans tot een goed resultaat geleid, maar vereisen opschaling (hogere participatie) om de doelen voor drinkwater te behalen. Daarnaast vereisen deze projecten

meerdere jaren inspanning om de voorwaarden van de agrariër zo in te regelen dat deze zijn milieuprestatie kan verbeteren. Uit deze samenwerkingsprojecten is tevens gebleken dat onafhankelijke en deskundige begeleiding van agrariërs noodzakelijk is voor het leveren van bedrijfsspecifiek maatwerk, zodat bodemmaatregelen optimaal worden ingezet en de agrarische bedrijfsvoering daarop aangepast.

Uit bovenbeschreven tijdlijn blijkt dat de aandacht voor bodemmaatregelen een vrij recent fenomeen is. Hierdoor is de kennis over de effectiviteit van bodemmaatregelen, en de praktijkervaring met de toepassing daarvan, nog beperkt. Bovendien omvatten bodemmaatregelen een grote diversiteit aan maatregelen waarvan de effecten sterk locatie-specifiek zijn en afhankelijk van de wijze waarop ze worden uitgevoerd. Door deze factoren is de effectiviteit van bodemmaatregelen nog beperkt onderbouwd, vooral als het gaat om effecten op de lange termijn. Thans lopen een aantal initiatieven, o.a. in het kader van de Kennisimpuls Waterkwaliteit, om meer kennis over de effectiviteit van bodemmaatregelen op te doen. Hiermee zullen een aantal kennishiaten worden opgevuld, zodat bodemmaatregelen doelgerichter geselecteerd en toegepast kunnen worden. Gezien de complexiteit van het bodem-watersysteem zullen desondanks ook in de toekomst onzekerheden in de effecten van bodemmaatregelen geaccepteerd moeten worden.

De vele onzekerheden over de effecten van bodemmaatregelen vereist een strategie waarbij “geen-spijt maatregelen” worden toegepast ten behoeve van de relevante drinkwaterdossiers op de korte termijn (zie paragraaf 5.1.2) en die passen binnen een lange-termijnvisie op de functiecombinatie van drinkwatervoorziening en landbouw (zie paragraaf 5.1.4). Geadviseerd wordt te onderzoeken in hoeverre een transitie naar biologische landbouw in grondwaterbeschermingsgebieden gecombineerd met onafhankelijke landbouwadvisering past binnen een dergelijke strategie en haalbaar is. Dit onderzoek dient gericht te zijn op

- De ontwikkeling van biologische bedrijfsmodellen die gericht zijn op gebieds- en ketengerichte samenwerking en circulariteit;
- De ontwikkeling van verdienmodellen die aansluiten bij de sociaal-economische drijfveren van de betrokken stakeholders.
- De ontwikkeling van stimulerend overheidsbeleid met instrumenten om een verantwoord duurzaam bodemgebruik positief te beïnvloeden.

Het soil4U-concept (Sluiter e.a., 2017) dat is ontwikkeld en toegepast op landgoederen in Gelderland en Overijssel kan hierbij als voorbeeld worden gebruikt.

5.1.2 Bijdrage van bodemmaatregelen aan drinkwaterdossiers

Bodemmaatregelen omvatten een grote verscheidenheid aan maatregelen die in toenemende mate worden ingezet om de droogtegevoeligheid van bodems en de uitspoeling van stikstof en gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater te verminderen. Uit dit rapport blijkt dat met bodemmaatregelen inderdaad mechanismen kunnen worden beïnvloed die bijdragen aan het verhogen van de droogterobuustheid van landbouwbodems en het verminderen van de uitspoeling van stikstof en gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater. De effectiviteit en mogelijkheden zijn echter sterk locatie-specifiek, i.e. afhankelijk van o.a. bodemsoort, teelten, bedrijfstypen en de bodemkwaliteit. Daarom vereist de selectie en toepassing van bodemmaatregelen maatwerk op basis van lokale kennis en informatie. Bovendien vereisen de meeste maatregelen een structurele aanpassing van de agrarische bedrijfsvoering om een goede bodemkwaliteit te realiseren en te behouden, en om de maatregelen voldoende te laten renderen. Daarnaast zijn de volgende kanttekeningen bij het perspectief van bodemmaatregelen te plaatsen:

- (1) Bodemmaatregelen kunnen bijdragen aan droogtemitigatie, maar het effect is beperkt.

- a. Het opheffen van bodemverdichting draagt zeer beperkt of niet bij aan het verminderen van droogteschade, of kan in sommige gevallen droogteschade zelfs verergeren. Mogelijk kan het opheffen van bodemverdichting wel bijdragen aan het verminderen van de gevoeligheid voor wijzigingen in de waterhuishouding.
 - b. Het verhogen van het organische-stofgehalte in bodems verhoogt het vochtleverend vermogen met maximaal enkele procentpunten per procentpunt organische stof. De effectiviteit is het hoogst voor bodems die van nature weinig organische stof bevatten, en is verwaarloosbaar klein voor bodems die meer dan 3-4% organische stof bevatten.
- (2) De bijdrage van bodemmaatregelen aan het beperken van de stikstofuitspoeling naar het grondwater is niet of nauwelijks kwantitatief bekend en vereist maatwerk dat alleen met onafhankelijke en deskundige advisering kan worden geleverd:
- a. Bodemmaatregelen zijn alleen effectief als ze niet op zichzelf staan, maar gecombineerd worden met andere maatregelen. Zo hebben bodemmaatregelen die ingrijpen op het bodemorganische-stofgehalte tot gevolg dat stikstof wordt vastgelegd. Deze stikstof komt via mineralisatie beschikbaar voor het gewas of spoelt uit naar het grondwater. Indien de mestgift hier niet of onvoldoende op wordt aangepast, wordt op de lange termijn een evenwichtssituatie bereikt waarbij de stikstofuitspoeling weer gelijk is aan het stikstofoverschot uit de mestgift. Voor een doelmatige toepassing is het noodzakelijk om de toegenomen stikstof-mineralisatie te salderen met de stikstofgift. Hiervoor is bedrijfsspecifiek veldonderzoek vereist en dient de mestgift verder losgekoppeld te worden van het aanbod van mest. Indien het bodem-organische-stofgehalte verhoogd wordt door middel van rotaties met grasteelt, zijn aanvullende maatregelen vereist om de grote hoeveelheid stikstof die na het vernietigen van het grasland vrijkomt af te vangen.
 - b. Bodemmaatregelen kunnen ongewenste bijeffecten hebben. Zo kunnen bodemmaatregelen die berusten op, of worden gecombineerd met, vanggewassen mogelijk tot gevolg hebben dat de nitraatconcentratie in het grondwater onder agrarische percelen met enkele procenten stijgt. Dit ongewenste effect kan optreden indien het effect van de toename van de gewasverdamping groter is dan de verhoogde stikstofbenutting als gevolg van het vanggewas.
- (3) De bijdrage van bodemmaatregelen aan het verhogen van de ziekteverendheid van landbouwbodems, plaagonderdrukking, en afbraak en retentie van gewasbeschermingsmiddelen is onzeker en vereist eveneens onafhankelijke en deskundige advisering:
- a. het verhogen van het organische-stofgehalte in landbouwbodems verhoogt de algemene bodemweerbaarheid en afbraak van gewasbeschermingsmiddelen doordat de microbiologische activiteit wordt gestimuleerd. In veel gevallen gaat het daarbij om micro-organismen die reeds in de bodem aanwezig zijn. In het geval van aanvoer van organische stof kan dat tevens gaan om micro-organismen die in de aanvoer van organische stof aanwezig zijn. De effectiviteit van deze maatregel voor specifieke ziekten en gewasbeschermingsmiddelen is afhankelijk van de mate waarin de gestimuleerde micro-organismen in staat zijn om het bodemvoedselweb in balans te houden (voorkomen van ontwikkeling van ziekteorganismen) of gewasbeschermingsmiddelen af te breken. Hierdoor is de effectiviteit van deze maatregel niet altijd effectief en ook niet goed te voorzien.
 - b. Bodemvoedselwebben vormen een cruciaal onderdeel van de mechanismen om het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen te doen afnemen of de afbraak te bevorderen. Het beheer van bodemvoedselwebben gaat echter verder dan het nemen van bodemmaatregelen; de gehele bedrijfsvoering moet daarop afgestemd

zijn. Dit betekent dat de toepassing van (snelle) meststoffen en bepaalde gewasbeschermingsmiddelen en geneesmiddelen (bv antibiotica, ontworming) beperkt moet blijven om te voorkomen dat de positieve effecten van bodemmaatregelen teniet worden gedaan. Anderzijds is bekend dat de toepassing van genoemde stoffen kan leiden tot een vershraling van het bodemvoedselweb, met als risico's een verhoogde uitspoeling van meststoffen, een verminderde bodemweerbaarheid en een vertraagde afbraak van gewasbeschermingsmiddelen.

- c. Het stimuleren van de afbraak van gewasbeschermingsmiddelen is alleen effectief indien deze stoffen gevoelig zijn voor afbraak onder de heersende omstandigheden. Bovendien kunnen afbraakproducten ontstaan die minder goed afbreken en een bedreiging vormen voor de kwaliteit van drinkwaterbronnen. Deze aanpak is daarom alleen effectief indien het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen die niet of beperkt gevoelig zijn voor afbraak onder de heersende omstandigheden worden geweerd. De milieumeetlat (<https://www.milieumeetlat.nl/en/home.html>) kan hier ondersteunend in zijn.

Bodemmaatregelen vereisen maatwerk om het gewenste effect teweeg te brengen en zijn niet zondermeer als "geen spijt maatregel" toe te passen. Zo kan de aanvoer van organische stof ook ongewenste effecten hebben, zoals de aanvoer van ziekten, zaden en zware metalen. Daarnaast kunnen de effecten van bodemmaatregelen die worden genomen omwille van het verhogen van de droogterobuustheid, het verminderen van de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen of klimaatmitigatie interfereren met de opgave voor het verminderen van de uitspoeling van stikstof. Het ontwerpen van bodemmaatregelen vereist daarom een integrale benadering van de effecten op verschillende dossiers en aanvullende maatregelen om een ongewenste toename van de stikstofuitspoeling teniet te doen. Voor een doelmatige toepassing is maatwerk vereist, dat alleen geleverd kan worden op basis van bedrijfsspecifiek onderzoek en onafhankelijke en deskundige landbouwadvisering.

5.1.3 Instrumenten voor het stimuleren van bewust bodemgebruik

Om bewust bodemgebruik door agrariërs te bevorderen, zet de Rijksoverheid in op de ontwikkeling en brede toepassing van bodemindicatoren en instrumenten (Brief Bodemstrategie Tweede Kamer, 23 mei 2018). Hierbij kan aangesloten worden bij instrumentaria die recentelijk zijn ontwikkeld of in ontwikkeling zijn. Twee van deze instrumenten zijn het bodemlabel (Van der Wal e.a., 2016) en het bodempaspoort (<https://www.zlto.nl/bodempaspoort>). In deze paragraaf worden deze instrumenten kort geïntroduceerd en worden een aantal meerwaarden en kanttekeningen benoemd voor toepassing ten behoeve van de functiecombinatie landbouw en grondwaterwinning.

Bodemlabel

Het bodemlabel (Van der Wal e.a., 2016) is een generiek en eenvoudig toepasbaar instrument waarmee sets kansrijke bodembeheermaatregelen aan agrariërs worden aangeboden. De maatregelen zijn toegesneden op drie bedrijfstypen, namelijk

- Akkerbouw op zand of klei;
- Melkveehouderij op zand of klei;
- Akkerbouw of melkveehouderij op veen;

Doordat bij de ontwikkeling van dit instrument rekening is gehouden met investeringskosten en inpasbaarheid in de bedrijfsvoering, is de verwachting dat er onder agrariërs breed draagvlak bestaat voor de aangeboden maatregelen. Daarnaast zijn de maatregelen controleerbaar voor een onafhankelijke partij, zodat handhaving- of beloningsystemen

ingezet kunnen worden om een goede uitvoering van de maatregelen te borgen. Ten slotte biedt de eenvoud van het instrument de gelegenheid voor toepassing door ketenpartijen, zodat deze voorwaarden kunnen stellen aan de productiewijze en de verantwoordelijkheid voor duurzaam bodemgebruik breder dan enkel de agrarische sector wordt gedeeld.

Vanwege het generieke karakter van het bodemlabel, kan dit instrument naar verwachting bijdragen aan een algehele verbetering van de milieuprestatie van de agrarische sector. Echter, een goede toepassing van het instrument binnen uitspoelingsgevoelige grondwaterbeschermingsgebieden is waarschijnlijk onvoldoende om een duurzame functiecombinatie van landbouw en grondwaterwinning te realiseren. Veel bodemmaatregelen renderen namelijk alleen indien de agrarische bedrijfsvoering voldoende ingericht is op het beoogde mechanisme. Daarom zijn vaak combinaties van maatregelen nodig, zoals het beperken van de aanwending van externe hulpbronnen. Dit betekent dat bodemmaatregelen gecombineerd dienen te worden met het verminderen van de mestgift en het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en geneesmiddelen (zoals antibiotica en ontwormingsmiddelen). Deze giften staan namelijk de ontwikkeling van een gevarieerd bodemecosysteem in de weg én ze vormen de oorsprong van knelpunten in de grondwaterkwaliteit in en bij grondwaterbronnen. Voor het nemen van de juiste set aan maatregelen binnen grondwaterbeschermingsgebieden is maatwerk vereist, dat enkel met deskundige bedrijfsadvisering kan worden geleverd.

Ter evaluatie van de effectiviteit van de maatregelen voorziet het bodemlabel in een set meetbare indicatoren. Deze indicatoren bestaan uit verschillende biologische (7 stuks), chemische (3 stuks) en fysische (4 stuks) grootheden die tezamen een kwantitatief beeld geven van uiteenlopende aspecten die de bodemkwaliteit bepalen. Voor een optimale werking van het bodemlabel dienen deze gegevens benut te worden voor het cyclisch verbeteren van de agrarische bedrijfsvoering. Hiervoor is met enige regelmaat deskundige en onafhankelijke bedrijfsadvisering noodzakelijk. Een andere kanttekening is dat de bodemindicatoren geen directe informatie opleveren over de milieuprestatie van landbouwbedrijven. Hiervoor zijn aanvullende indicatoren noodzakelijk waarmee de diverse inputs, en de uitspoeling van meststoffen (zoals het stikstofbodemoverschot of de nitraatconcentratie in uitspoelingswater) en gewasbeschermingsmiddelen worden bepaald. Hiervoor zijn andere instrumentaria, zoals de kringloopwijzer, voor in ontwikkeling.

Bodempaspoort

Het bodempaspoort is een online applicatie waarin agrariërs gegevens over bodemkwaliteit en genomen maatregelen kunnen opslaan en openbaar beschikbaar maken. Het doel van het bodempaspoort is om bodemmaatregelen bespreekbaar te maken en de informatie beschikbaar te maken die nodig is voor het opstellen van een bodembeheerplan. Daarnaast is het bodempaspoort inzetbaar om duurzaam bodemgebruik bij verpachting te borgen.

In het bodempaspoort wordt de bodemkwaliteit gekarakteriseerd met tientallen chemische indicatoren. Biologische en fysische indicatoren zijn ondervertegenwoordigd. Zo geven de biologische indicatoren van het bodempaspoort geen inzicht in de aanwezigheid van en diversiteit binnen verschillende functionele groepen, zoals de aanwezigheid van schimmels, nematoden en regenwormen. Deze indicatoren zijn echter van belang om de mechanismen (bijvoorbeeld ziekteverendheid, nutriëntenbinding) ten behoeve van de drinkwaterfunctie te beoordelen. Bovendien kunnen deze indicatoren mogelijk ingezet worden als bioassay en zodoende een rol als early warning voor drinkwaterbedrijven vervullen.

Een andere kanttekening bij het bodempaspoort is dat de maatregelen die in het bodempaspoort zijn opgenomen beperkt zijn tot het bodembeheer (drainage, teeltkeuze, bodemmaatregelen). Deze activiteiten zijn weliswaar medebepalend voor de mate waarin stoffen die gebruikt worden of vrijkomen bij agrarische activiteiten tot belasting van het grond- of oppervlaktewater leiden. Echter, het bewust en verantwoord omgaan met externe hulpbronnen die aan de bodem worden toegediend (mest, bestrijdingsmiddelen en geneesmiddelen) is geen onderdeel van het bodempaspoort. Deze inputs bepalen tevens de bodemkwaliteit (in ieder geval de biologische aspecten daarvan) en zijn bovendien sterk bepalend in de mate van belasting van het grond- en oppervlaktewater. Voor een optimale informatievoorziening zou het bodempaspoort uitgebreid moeten worden met informatievelden voor de dosering van verschillende meststoffen, bestrijdingsmiddelen en geneesmiddelen. Deze gegevens zijn op bedrijfsniveau reeds aanwezig, maar ze worden niet centraal ontsloten.

Het bodempaspoort voorziet in een belangrijke informatiebehoefte die noodzakelijk is om maatwerk bij de selectie van maatregelen en het aanpassen van de bedrijfsvoering te kunnen leveren. Echter, het bodempaspoort voorziet niet in de levering van dit maatwerk zelf. Dit is namelijk bijzonder kennisintensief, en vraagt mogelijk om keuzes die niet direct in het belang van het agrarische product staan. Hiervoor is onafhankelijke expertise noodzakelijk.

5.1.4 Transitie naar een duurzame landbouw

Bodemmaatregelen worden in diverse beleidsdossiers opgevoerd als oplossing voor knelpunten die optreden bij de functiecombinatie van grondwaterwinning en agrarische productie. Uit de geraadpleegde literatuur blijkt dat met bodemmaatregelen bij goede toepassing in ieder geval op onderdelen vooruitgang kan worden geboekt, maar dat de effectiviteit over het algemeen onbekend en contextafhankelijk is. Ondanks de onzekerheden kunnen bodemmaatregelen in principe positief bijdragen aan het oplossen van drinkwater gerelateerde knelpunten, doordat ze voorwaarden scheppen die de transitie naar een duurzame landbouw mogelijk maken, of daar direct onderdeel van zijn. Bodemmaatregelen kunnen op de volgende onderdelen bijgedragen aan deze transitie:

- Door het effect op de bodemkwaliteit meer doorslaggevend te laten zijn bij teeltkeuzen kunnen uitspoelingsgevoelige gewassen vervangen worden door gewassen die effectiever omgaan met stikstof. Een voorbeeld is het vervangen van maïs door sorghum of voederbieten. Deze alternatieve gewassen wortelen dieper, en nemen gedurende een groter deel van het groeiseizoen stikstof op.
- Door de bodemvruchtbaarheid te verhogen, kan voor sommige teelten met een lagere stikstofgift een hogere gewasopbrengst worden gerealiseerd. Dit biedt de gelegenheid om mestgiften verder los te koppelen van het aanbod aan meststoffen, en om een verschuiving van snelle meststoffen naar langzame meststoffen in te zetten. Om het risico op overcompensatie in te dammen, is het noodzakelijk om bedrijfsspecifieke bemestingsplannen die geborgd zijn door onafhankelijke landbouwdeskundigen verplicht te stellen.
- Door onder agrariërs meer bewustzijn te creëren over het belang van een goede bodemkwaliteit op de bodemweerbaarheid en plaaggevoeligheid, kan draagvlak worden gecreëerd om terughoudend te zijn met de toepassing van externe hulpstoffen, zoals gewasbeschermingsmiddelen en diergeneesmiddelen. Deze middelen kunnen een negatief effect hebben op bodemvoedselwebben, waardoor het effect van bodemmaatregelen voor een deel teniet wordt gedaan. De toepassing van deze

middelen is vanuit drinkwateroogpunt ook ongewenst, omdat ze na uitspoeling uiteindelijk in het grondwater terecht kunnen komen.

- Door grondbewerking met minder zware machines uit te voeren, ontstaat mogelijk momentum voor een extensivering van de landbouw en om de bodem sterker leidend te laten zijn bij het stellen van kaders aan het bedrijfstype. Zo zouden op uitspoelingsgevoelige gronden akkerbouwbedrijven omgevormd kunnen worden tot gemengde bedrijven, waardoor meer mogelijkheden ontstaan voor een circulaire landbouw waarbij de aanvoer en uitspoeling van (hulp)stoffen tot een minimum worden beperkt.

Onder het huidige beleid hebben agrariërs keuzevrijheid voor het uitvoeren van maatregelen. Om het brede draagvlak voor bodemmaatregelen te benutten bij het richting geven en versnellen van de transitie naar een duurzame landbouw is een planmatige aanpak noodzakelijk. Dit vereist een duidelijke visie op een duurzame agrarische sector en hoe de huidige aanpak van het agrarische waterbeheer (waaronder bodemmaatregelen) daaraan bij kan dragen. Geadviseerd wordt om de zoektocht naar een duurzame functiecombinatie van grondwaterwinning en landbouw met toegepast wetenschappelijk onderzoek en het delen van praktijkervaringen te ondersteunen.

5.2 Voorwaarden voor het borgen van duurzame milieuwinst

5.2.1 Inleiding

Bodemmaatregelen kunnen een bijdrage leveren aan het oplossen van knelpunten bij grondwaterwinningen op het gebied van droogtemitigatie, stikstofuitspoeling en de uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen. Voor een doelmatige inzet zijn echter aanvullende maatregelen en een structurele aandacht voor de bodemkwaliteit vereist. In deze paragraaf zijn voor verschillende belanghebbenden adviezen geformuleerd voor de doelmatige en verantwoorde inzet van bodemmaatregelen bij de uitvoering van water- en milieubeleid.

5.2.2 Rijksoverheid

De duurzame effectiviteit van bodemmaatregelen wordt sterk bepaald door het gedrag van individuele agrariërs. Milieuwinst die op de korte termijn wordt geboekt met bodemmaatregelen kan bijvoorbeeld teniet worden gedaan indien agrariërs terugvallen op hun eerdere bedrijfsvoering, of als de bedrijfsvoering niet goed is afgestemd op het effect dat bodemmaatregelen teweeg brengen. Thans is het realiseren van een duurzaam resultaat onzeker, aangezien lopende initiatieven op projectbasis en op vrijwillige basis worden uitgevoerd. Bovendien beschikken individuele agrariërs over het algemeen niet over voldoende expertise om bodemmaatregelen adequaat toe te passen en hun bedrijfsvoering daarop aan te passen. Deze afbreukrisico's kunnen met een centrale regierol van de rijksoverheid en het borgen van onafhankelijke agrarische advisering in het landelijk beleid voor een deel worden ondervangen. De rijksoverheid kan hier als volgt invulling aan geven:

- (1) Heroverwegen van werkingscoëfficiënten in het meststoffenbeleid ten behoeve van langetermijneffecten van het verhogen van het organischestof-gehalte in landbouwbodems op de uitspoeling van stikstof. Dit betekent o.a. het onderling salderen van verschillende stikstofbronnen op basis van de snelheid waarmee de meststoffen beschikbaar komen. Hiermee kan het risico ondervangen worden dat de toepassing van langzamere mestsoorten naast het huidige mestgebruik leidt tot een

- toename van de stikstofbelasting van het grondwater. De toepassing van langzamere mestsoorten is vanuit het oogpunt van bodemkwaliteitsbeheer gewenst;
- (2) Onderzoeken in hoeverre bodemmaatregelen complementair zijn aan de principes van geïntegreerde gewasbescherming en daar onderdeel van uit zouden kunnen maken. Thans zijn bodemmaatregelen nog geen onderdeel van geïntegreerde gewasbescherming. Diverse onderzoeken geven echter aan dat de chemische en biologische bodemeigenschappen sterk bepalend zijn voor de risico's op landbouwschade door plagen en ziekten, en de snelheid waarmee gewasbeschermingsmiddelen in de bodem afbreken;
 - (3) Opstellen van criteria voor hergebruik van organische reststromen in relatie tot de drinkwaterfunctie, inclusief een afwegingskader zodat de kwaliteit van organische reststromen een doorslaggevende rol krijgt bij de afzetmogelijkheden.
 - (4) Borging van onafhankelijke landbouwadvisering in het generieke meststoffenbeleid, zodat het bedrijfsspecifiek maatwerk dat noodzakelijk is voor een adequate toepassing van bodemmaatregelen kan worden geleverd. Thans wordt landbouwadvisering alleen op projectbasis geleverd. Bij diverse samenwerkingsprojecten tussen waterbedrijven en agrarische bedrijven heeft dit tot goede resultaten geleid. Structurele en brede (bijvoorbeeld voor grondwaterbeschermingsgebieden) beschikbaarheid van onafhankelijke adviseurs is noodzakelijk voor een doelmatige inzet van bodemmaatregelen.

5.2.3 Provincies

Bodemmaatregelen vormen een zeer diverse groep waarvan de effectiviteit vaak afhankelijk is van de wijze waarop ze uitgevoerd worden en in combinatie met de juiste andere maatregelen. Handhaving op het niveau van maatregelen is daarom niet haalbaar, zodat provincies naar andere vormen van handhaving moeten uitkijken, bijvoorbeeld op basis van individuele milieuprestaties. Bestaande instrumentaria en monitoring zijn hier nog niet op toegesneden.

Daarnaast ligt er een taak voor provincies om bodemmaatregelen vanuit een integrale benadering te stimuleren en reguleren, waarbij positieve en negatieve effecten op verschillende milieukundige aspecten worden afgewogen. Dit kan vormgegeven worden door bestaande stimuleringsprojecten te blijven ondersteunen en nieuwe stimuleringsprojecten te starten waar nodig. Dit betekent o.a. dat onafhankelijke bedrijfsadvisering binnen grondwaterbeschermingsgebieden wordt voortgezet en uitgebouwd. Evaluaties en uitwisseling van ervaringen kunnen behulpzaam zijn om de huidige aanpak van stimuleringsprojecten te verbeteren.

Als verantwoordelijk overheid voor zowel de ruimtelijke ordening, als de Kaderrichtlijn Water hebben provincies de taak om richting te geven aan het verduurzamen van bestaande functiecombinaties met drinkwatervoorziening. Dit betekent o.a. dat provincies een visie moeten ontwikkelen op de kaders waaraan landbouwactiviteiten binnen grondwaterbeschermingsgebieden moeten voldoen. Een belangrijk onderdeel hiervan is een integrale beschouwing van de effecten en risico's van bodemmaatregelen in relatie tot drinkwatervoorziening. Deze risico's bestaan o.a. uit een toenemende stikstofuitspoeling bij maatregelen waarmee het bodem-organischestofgehalte wordt verhoogd of de aanvoer van ziekteverwekkers en zware metalen bij het afzetten van organische reststromen als bodemverbeteraars. Daarnaast dienen provincies richting te geven aan de landbouwtransitie binnen grondwaterbeschermingsgebieden, waarbij biologische landbouw wordt gestimuleerd en het uitsluiten van gangbare landbouw op uitspoelingsgevoelige bodems tot de mogelijkheden behoort.

5.2.4 Drinkwaterbedrijven

Drinkwaterbedrijven hebben de afgelopen jaren actief deelgenomen aan diverse regionale projecten waarbij bodemmaatregelen zijn ingezet om de uitspoeling van meststoffen te verminderen. Tegelijkertijd zijn drinkwaterbedrijven een belangrijke kennisdrager van de ondergrond en de factoren die de kwetsbaarheid daarvan bepalen. Met deze praktische en inhoudelijke kennis kunnen de drinkwaterbedrijven als kennisleverancier een bijdrage leveren aan een evenwichtige inzet van bodemmaatregelen waarbij kansen worden benut met acceptabele risico's voor watervoorraden en drinkwaterbronnen.

Bodemmaatregelen bieden ook voor drinkwaterbedrijven de gelegenheid om verschillende dossiers rond drinkwaterbronnen met elkaar te verbinden. Thans compenseren drinkwaterbedrijven de droogteschade die agrariërs ondervinden als gevolg van het effect van grondwaterwinning op het vochtleverend vermogen van landbouwbodems. Tegelijkertijd zijn de bedrijven met dezelfde agrariërs in gesprek om de belasting van het grondwater met stikstof en gewasbeschermingsmiddelen te verlagen. Bodemmaatregelen verbinden deze drinkwaterdossiers, doordat ze zowel de droogtegevoeligheid van landbouwbodems kunnen verlagen, als bij kunnen dragen aan het verminderen van de uitspoeling van stikstof en gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater. Daarnaast kunnen bodemmaatregelen op onderdelen een achteruitgang betekenen indien ze niet in het drinkwaterbelang worden uitgevoerd. Door het verbinden van deze dossiers kunnen win-winsituaties worden gecreëerd, zodat de watervoorziening voor agrarische productie verbetert, terwijl de milieubelasting afneemt. Om deze win-winsituaties te benutten is onafhankelijke agrarische advisering noodzakelijk.

5.2.5 Agrarische sector

Bodemmaatregelen kunnen bijdragen aan het verhogen van de vruchtbaarheid van landbouwbodems. Dit biedt voor de meeste teelten de gelegenheid om met minder meststoffen de huidige gewasproductie te handhaven of zelfs te verhogen, zodat de uitspoeling van meststoffen naar het grondwater afneemt. Voor de agrarische sector betekent dit dat de toepassing van meststoffen verder losgekoppeld moet worden van het aanbod van (dierlijke) mest. Dit betekent dat een groter deel van het mestoverschot moet worden verwerkt of afgevoerd. Thans is nog onduidelijk of het uitrijden van restproducten van de mestverwerking op het land vanuit drinkwaterperspectief gewenst is, aangezien bij mestverwerking grote hoeveelheden ammoniumsulfaat ontstaan.

Naast de verwerking of afvoer van een groter deel van de geproduceerde mest, vereist een doelmatige inzet van bodemmaatregelen tevens een agrarische bedrijfsvoering die is toegesneden op het behoud van een goede bodemkwaliteit. De uitvoering van bodemmaatregelen is immers geen garantie dat de bodemkwaliteit ook daadwerkelijk verbetert en dat structureel doet. Zo kan de toepassing van dierlijke geneesmiddelen een negatief effect hebben op het bodemvoedselweb en daarmee op de afbraak van gewasbeschermingsmiddelen, stelt organischestof-beheer beperkingen aan bodembewerkingen en kan het voorkomen van bodemverdichting de teelt van andere (diepwortelende) gewassen vereisen. Een doelmatige toepassing van bodemmaatregelen vereist daarom maatwerk op basis van een systeembenadering die uitsluitend met deskundige begeleiding kan worden gerealiseerd.

5.3 Advies voor beleidsonderbouwend onderzoek

Voor een doelmatige en doelgerichte inzet van bodemmaatregelen in het water- en milieubeleid heeft het volgende beleidsonderbouwend onderzoek prioriteit:

- (1) Een systematische onderbouwing en kwantificering van de effectiviteit van bodemmaatregelen voor het verminderen van de uitspoeling van stikstof en gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater. De effectiviteit van maatregelen is enkel op deelaspecten en semi-kwantitatief of kwalitatief bekend. Dit is een belangrijk afbreukrisico van de inzet van agrarische waterbeheer in het water- en milieubeleid. Geadviseerd wordt om de effecten van maatregelen te kwantificeren door systematische monitoring, experimenteel onderzoek en modelsimulaties.
- (2) Bepalen van de rol van de algehele agrarische bedrijfsvoering op de bodemkwaliteit. Als onderdeel van de agrarische bedrijfsvoering worden diverse activiteiten uitgevoerd die mogelijk negatieve gevolgen hebben voor de bodemkwaliteit. Zo zijn er aanwijzingen dat het gebruik van diergeneesmiddelen negatieve gevolgen heeft voor het bodemvoedselweb, en daarmee voor de ziekteverendheid van landbouwbodems en de afbraak van gewasbeschermingsmiddelen. Geadviseerd wordt om deze effecten inzichtelijk te maken en te koppelen aan de selectie en het ontwerp van bodemmaatregelen.
- (3) Bepalen van de wijze waarop bodemmaatregelen bij kunnen dragen aan integrale gewasbescherming. Bodembeheer is thans geen onderdeel van integrale gewasbescherming, terwijl de bodemkwaliteit medebepalend is voor de ontwikkeling van een aantal plaagsoorten en ziekten. Bovendien zijn het reactief vermogen en de biologische activiteit van landbouwbodems sterk bepalend voor de afbraak van gewasbeschermingsmiddelen in de bodem. Geadviseerd wordt te onderzoeken onder welke omstandigheden (bodem, gewas etc.) en met welke maatregelen een bijdrage aan integrale gewasbeschermingsmiddelen verwacht kan worden.
- (4) Uitwerken van een visie op de transitie naar een duurzame landbouw die aansluit bij het huidige brede draagvlak voor bodemmaatregelen. Bodemmaatregelen kunnen bijdragen aan het scheppen van voorwaarden voor een duurzame landbouw. Zo kunnen milieubelastende teelten onder het motief "bodembeheer" vervangen worden en kan toegewerkt worden naar een circulaire landbouw die minder afhankelijk is van externe hulpstoffen zoals geneesmiddelen en bestrijdingsmiddelen. De uitvoering van bodemmaatregelen geschiedt thans op vrijwillige basis, zonder dat daar een omvattende visie op de landbouwtransitie ten grondslag aan ligt. Geadviseerd wordt om op basis van een scenariobenadering een visie voor de drinkwatersector te ontwikkelen op de gewenste landbouwtransitie en hoe de brede belangstelling voor bodemmaatregelen daarbij past.

Geadviseerd wordt om bovenstaande onderzoeksthema's op te pakken door een samenwerking tussen drinkwaterbedrijven, agrarische sector en verantwoordelijk overheden.

6 Conclusie

Een goede bodemkwaliteit en adequaat bodembeheer zijn van essentieel belang voor een duurzame functiecombinatie van grondwaterwinning en agrarische productie. De aandacht voor het behoud en het verbeteren van de bodemkwaliteit binnen de mest- en bestrijdingsmiddelendossiers is dan ook terecht. Echter, deze strategie schiet te kort voor de functie drinkwater indien enkel uitgegaan wordt van vrijwillige bodemmaatregelen ter verlaging van de belasting van het grondwater met meststoffen en gewasbeschermingsmiddelen. De effecten en effectiviteit van bodemmaatregelen zijn namelijk sterk contextafhankelijk en vaak zijn aanvullende maatregelen nodig om te voorkomen dat de milieuwinst slechts van tijdelijke aard is of onvoldoende tot uiting komt. Zo vereist het verhogen van het organische-stofgehalte in landbouwbodems ten behoeve van het bevorderen van de stikstofopname of de vastlegging van koolstof, dat de dosering van snelle meststoffen (zoals drijfmest) wordt gesaldeerd met de extra stikstofmineralisatie die een hoger organische-stofgehalte van de bodem met zich meebrengt. Daarnaast dient terughoudend omgegaan te worden met de toepassing van gewasbeschermingsmiddelen en diergeneesmiddelen om het positieve effect op het bodemecosysteem, en daarmee o.a. op de ziekteverwerendheid en afbraakprocessen, tot uiting te laten komen. De selectie en toepassing van bodemmaatregelen vereist daarom bedrijfsspecifiek maatwerk op basis van een systeembenadering en het vereist aanpassing van meerdere onderdelen van de agrarische bedrijfsvoering. Om aan deze voorwaarde te voldoen is bedrijfsspecifiek onderzoek en deskundige en onafhankelijke advisering noodzakelijk.

Het huidige brede draagvlak voor bodemmaatregelen kan richting geven en bijdragen aan de transitie naar een duurzame landbouw. Ter bevordering van de bodemkwaliteit kunnen namelijk (1) nieuwe gewassen worden geïntroduceerd die effectiever omgaan met stikstof en beter bestand zijn tegen droogte, (2) mestgiftten verder losgekoppeld worden van mestaanbod, (3) het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen en diergeneesmiddelen verder worden teruggebracht en (4) grondbewerking en daarmee de algehele agrarische bedrijfsvoering worden geëxtensieerd. Om deze meerwaarde van bodemmaatregelen te benutten is een meer systematische aanpak nodig dan de huidige aanpak op basis van vrijwilligheid. Dit vereist de ontwikkeling van een langetermijnvisie op de agrarische sector en de daarvoor noodzakelijke bedrijfsmodellen, verdienmodellen en stimulerend overheidsbeleid.

7 Literatuur

- Aa, M. van der, N.G.F.M., Tangena, B.H., Wuijts, S., en Nijs, A.C.M. de, 2015. Scenario's drinkwatervraag 2015-2040 en beschikbaarheid bronnen: verkenning grondwatervoorraden voor drinkwater. RIVM, Bilthoven, RIVM-rapport 2015-0068.
- Aarts, H.F.M., Hilhorst, G.J., Nevens, F., en Schroder, J.J., 2002. Betekenis wisselbouw voor melkveebedrijf op lichte zandgrond; analyse van resultaten proefboerderij "De Marke", Rapport 36, Wageningen UR en CLM.
- Akker, J.J.H. van den, Vries, F. de, Vermeulen, G.D., Hack-ten Broeke, M.J.D., en Schouten, T., 2013. Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 2409.
- Arias-Estévez, M., López-Periago, E., Martínez-Carballo, E., Simal-Gandara, J., Mejuto, J., en García-Río, L., 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123, p 247-260.
- Balen, D. van, 2012 Niet kerende grondbewerking in akkerbouw en vollegrondsgroenteteelt.
- Bartholomeus, R., Kroes, J., Bakel, J. van, Hack-tenBroeke, M., Walvoort, D., en Witte, F., 2013. Actualisatie schadefuncties landbouw, Fase 1: op weg naar een geactualiseerd en klimaatbestendig systeem van effect van waterbeheer op gewasopbrengst – overzicht van doorgevoerde verbeteringen in fase 1. STOWA 2013-22.
- Berge, H.F.M., ten, Pikula, D., Goedhart, P.W., en Schroder, J.J., 2016. Apparent nitrogen fertilizer replacement value of grass-clover leys and of farmyard manure in an arable rotation. Part I: grass-clover leys. *Soil Use and Management* 32, p 9-19.
- Boer, H. de, 2005. Onderzoek vruchtwisseling: geen bemesting snijmais na scheuren van gras-klaver. V-focus december 2005.
- Claessens, J., Aa, N.G.F.M. van der, Groenedijk, P. en Renaud, L., 2017. Effecten van het landelijk mestbeleid op de grondwaterkwaliteit in grondwaterbeschermingsgebieden. RIVM, Bilthoven, 2016-0199.
- Curry, J.P., 2004. Factors affecting the abundance of earthworms in soils. *Earthworm ecology* 9, 91-113.
- Deru, J., Eekeren, N. van, en Boer, H. de, 2010. Beworteling van grasland – een literatuurstudie. Nutrientenopname in relatie tot bewortelingsdiepte en -intensiteit. Factoren en potentiële maatregelen die de beworteling beïnvloeden. Louis Bolk Instituut, Zeist, 2010-018LbV
- Eekeren, N. van, Bommele, L., Bloem, J., Schouten, T., Rutgers, M., Goede, R. de, Rehuel, R., Brussaard, L., 2008. Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology* 40, p. 432-446.

- Eekeren, N. van, Burgt, G.J. van der, Philipsen, B., Schooten, H. van, Haan, M. de, 2011. Vruchtwisseling van gras en mais: effect op organische stof en kosten/baten. V-focus april 4 2011.
- Eekeren, N. van, Deru, J., Hoekstra, N., en Wit, J. de, 2018. Carbon Valley: organische stofmanagement op melkveebedrijven - Ruwvoerproductie, waterregulatie, klimaat en biodiversiteit. Louis Bolk Instituut, Bunnik, 2018-002 LbD.
- Eekeren, N. van, Zaneveld-Reijnders, J., 2011. Bewust herstel van de natuurlijke buffercapaciteit van de bodem. Inhoudelijke rapportage. ZLTO en Louis Bolk Instituut.
- Eijsackers, H., Maboeta, M., en Doelman, P., 2006. Vitale bodem als basis voor een duurzaam bodembeheer. Een opinierend overzicht van de bodemproblematiek in Nederland en de wijze waarop dit kan worden aangepakt, met een toetsing aan de Zuid-Afrikaanse situatie. Suid-Afrikaanse Tydskrif vir Natuurwetenskap en Tegnologie 25 (4), p300-317.
- Fraters, B., Hooijboer, A., Vrijhoef, A., Claessens, J., Kotte, M.C., Rijs, G.B.J., Denneman, A.I.M., Bruggen, C. van, Daatselaar, C.H.G., Begeman, H.A.L., en Bosma, J.N., 2016. Landbouwpraktijk en waterkwaliteit in Nederland; toestand (2012-2014) en trend (1992-2014). Resultaten van de monitoring voor de Nitraatrichtlijn. RIVM, Bilthoven, 2016-0076.
- Garbeva, P., Veen, J.A. van, en Elsas, J.D., 2004. Assessment of the diversity, and antagonism towards *Rhizoctonia solani* AG3, of *Pseudomonas* species in soil from different agricultural regimes. FEM Microbiology Ecology 47, p 51-64.
- Groenendijk, P., Boekel, E. van, Renaud, L., Greijdanus, A., Michels, R. en Koeier, T., 2016. Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren: het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit landbouwgronden. WEnR, Wageningen, WEnR-rapport 2749.
- Groenendijk, P., Schipper, P., Hendriks, R., Akker, Jan van den, en Heinen, M., 2017. Effecten van verbetering bodemkwaliteit op waterhuishouding en waterkwaliteit: deelstudie Goede Grond voor een duurzaam watersysteem. STOWA-rapport 2017-020.
- Gevao, B., Semple, K.T., Jones, K.C., 2000. Bound pesticide residues in soils: a review. Environmental Pollution 108, p3-14.
- Haan, J. de, 2014. Rol van de bodem bij het streven naar een duurzaam watersysteem. In: Waterkwaliteit op de Kaart, 2014.
- Hospers, M., Lamers, J., Cuijpers, W., en Broek, R. vd., 2015. Samen met ondernemers naar een weerbare bodem – bodemweerbaarheid in de praktijk. Louis Bolk Instituut, publicatienummer 2015-008 Louis Bolk Instituut.
- Hospers-Brands en van der Burgt, 2013. Verkenning organische stof – Proefboerderij Vredepeel. Louis Bolk, Publicatie 2013-023 IbP.
- Janaki, P., Sharma, N., Chinnusamy, C., Sakthivel, N. en Nithya, C., 2015. Herbicide residues and their management strategies. Indian Journal of Weed Science 47(3), p 329-344.
- Kah, M., Beulke, S., en Brown, C.D., 2007. Factors influencing degradation of pesticide in soil. Journal of agricultural and food chemistry 55, p 4487-4492.

Kanissery, R., en Sims, G., 2011. Biosimulation for the enhanced degradation of herbicides in soil. *Applied and environmental soil science*, p 1-10.

Lijster, E. de, Akker, J. van de, Visser, A., Allema, B., Wal, A. van der en Dijkman, W., 2016. Waarden van bodem-watermaatregelen. CLM Onderzoek en Advies, Culemborg, CLM-912.

Pikula, D., Berge, H.F.M., ten, Goedhart, P.W., en Schroder, J.J., 2016. Apparent nitrogen fertilizer replacement value of grass-clover leys of farmyard manure in an arable rotation. Part II: farmyard manure. *Soil Use and Management* 32, p. 20-31.

Postma, J., en Schilder, M.T., 2015. Enhancement of soil suppressiveness against *Rhizoctonia solani* in sugar beet by organic amendments. *Applied Soil Science* 94, p 72-79.

Reijneveld, A., Wensem, J. van, Oenema, O., 2009. Soil organic carbon contents of agricultural land in The Netherlands between 1984 and 2004. *Geoderma* 152, p 231-238.

Reubens, B., D'Heane, K., D'Hose, T., en Ruyschaert, G., 2010. Bodemkwaliteit en landbouw: een literatuurstudie. Activiteit 1 van het interregproject BodemBreed. Instituut voor Landbouw- en Visserijonderzoek (ILVO), Merelbeke-Lemberge, België.

Rietberg, P., Luske, B., Visser, A. en Kuikman, P., 2013. Handleiding goed koolstofbeheer. Louis Bolk Instituut, Publicatienummer 2013-002.

Schils, R., Dijk, W. van, Middelkoop, J. van, Oenema, J., Verloop, K., Huijsmans, J., Ehlert, P., Salm, C. van der, Reuler, H. van, Vreeburg, P., Dekking, A., Geel, W. van, Schoot, J. van der, 2012. Effect meststoffenwet 2012 – Ex Post: bodemvruchtbaarheid en gewasopbrengst. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2266.

Schipper, P., Boekel, E., Ee, G. van, Hermans, J., 2015. Nutrienten: bronnenanalyse en afleiden van achtergrondconcentraties als basis voor het bijstellen van KRW-doelen. H2O-online, 10 augustus 2015.

Sluiter, L., Soil4You. Bureau Wing, Wageningen

Swartjes, F.A., Linden, A.M.A. van der, en Aa, N.G.F.M. van der, 2016. Gewasbeschermingsmiddelen in grondwater bij drinkwaterwinningen: huidige belasting en mogelijke maatregelen. RIVM, Bilthoven, RIVM Rapport 2016-0083.

Van Beek, K., Berg, G. van den, en Hesen, P., 2005. Geohydrochemische typologie als hulpmiddel bij grondwaterkwaliteitsbeheer. *Bodem* 5, p 171-181.

Van der Bolt, F., Cornelis, W., Pue, J. de, Hendriks, R., Akker, J. van den, Massop, H., Joris, I., Dams, J. en Vos, J., 2016. Bodemverdichting in Vlaanderen. Gevolgen van bodemverdichting op het watertransport door een bodem. Alterra rapport, Wageningen.

Vandermeassen, J., Horemans, B., Bers, K., Vandermeeren, P., Herrmann, S., Sekhar, A., Seuntjes, P., en Springael, D., 2016. Application of biodegradation in mitigating and remediating pesticide contamination of freshwater resources: state of the art and challenges for optimization. *Applied Microbiological Biotechnology* 100, p 7361-7376.

Van der Wal, A., Lijster, E. de, en Dijkman, W., 2016. Ontwerp label duurzaam bodembeheer. CLM, Culemborg, CLM-publicatienummer 910.

Van Grinsven, H., en Bleeker, A., 2017. Evaluatie meststoffenwet 2016: synthesesrapport. PBL, Den Haag, PBL-publicatienummer 2258.

Van Loon, A.H., en Fraters, D., 2016. De gevolgen van mestgebruik voor waterwinning: een tussenbalans. KWR, Nieuwegein, KWR 2016.023.

Van Loon, A., Sjerps, R., en Raat, K.J., 2017. Gewasbeschermingsmiddelen en afbraakproducten in Nederlandse drinkwaterbronnen. BTO2017.079

Verloop, J., Hilhorst, G.J., Oenema, J., Keulen, H. van, Sebek, L.B.J., en Ittersum, M.K. van, 2014. Soil N mineralization in a dairy production system with grass and forage crops. Nutrient Cycling in Agroecosystems 98, p 267-280.

Verloop, J., en Hilhorst, G.J., 2015. Optimizing N management through improving transitions of temporary grassland and maize in rotation. Grassland Science in Europe 20, p. 334-336

Vink, C., 2007. Grondwaterkwaliteit Goor, Herikerberg, Holten. KWR, Nieuwegein, KWR 07.091.

Vliet, J. van, Terryn, L.R., Gooijer, Y.M., Rougoor, C.W., Lommen, J.L., en Leendertse, P.C., 2017. Schoon Water voor Brabant. Rapportage over 2016. CLM, publicatienummer 942.

Vries, F. de, 2013. Interview met Z. van der Vegte en J. Groten. Maismoeheid bestrijden met vruchtwisseling. V-focus december 2013.

Wit, J. de, Eekeren, N. van, en Burgt, C.J. van der, 2006. Optimalisatie van stikstofbenutting na het scheuren van grasklaver. Bioveem rapport 15, Annimal Science Group.

Wenqi, J., Gao, J., Zheng, C., Peng, W., Zhiqiang, Z., en Donghui, L., 2018. The effect of antibiotics on the persistence of herbicides in soil under the combined pollution. Chemosphere 204, p 303-309.

Wosten, J.H.M., Veerman, G.J., Groot, W.J.M. de, en Stolte, J., 2001. Waterretentie- en de doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: de Staringreeks. Vernieuwde uitgave 2001. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 153.

Wuijts, S., Bogte, J.J., Dik, H.H.J., Verweij, W.H.J., en Aa, N.G.F.M. van der, 2014. Eindevaluatie gebiedsdossiers drinkwaterwinningen. RIVM, Bilthoven, RIVM-rapport 270005001.

Zwart, K.G., Akker, van den, J.J.H., Bussink, D.W., Haas, M.J.O.M. de, Weide, R.Y. van der, Paauw, J.G.M., Staathoff, W., Goense, D., en Doornbos, A.J., 2011. Waterkwaliteit bij de wortel aangepakt. Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 2177.