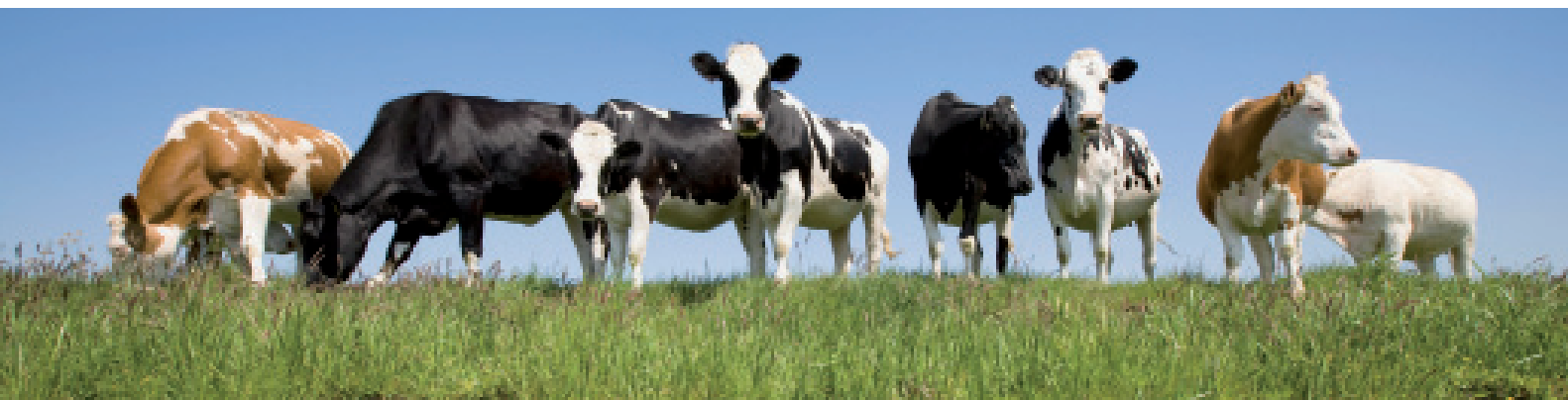




WAGENINGEN UR
For quality of life



Analyse van aanvullende maatregelen om nutriëntenemissies vanuit de landbouw te verminderen

Deskstudie ter voorbereiding van planMER

Alterra-rapport 2385
ISSN 1566-7197

O.F. Schoumans, J.J. de Haan, F.J. de Ruijter, F.J.E. van der Bolt, O. Oenema, E.M.P.M. van Boekel en J.R. van der Schoot

Analyse maatregelen om nutriëntenemissies
uit de landbouw te verminderen

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van Economische Zaken)
Projectcode [BO-12.12-002-026]

Analyse maatregelen om nutriëntenemissies uit de landbouw te verminderen

Deskstudie ter voorbereiding van planMER

O.F. Schoumans¹, J.J. de Haan², F.J. de Ruijter³, F.J.E. van der Bolt¹, O. Oenema¹, E.M.P.M van Boekel¹, en J.R. van der Schoot²

- 1 Alterra, Wageningen UR
- 2 Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen UR
- 3 Plant Research International, Wageningen UR

Alterra-rapport 2385

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2012

Referaat

O.F. Schoumans, J.J. de Haan, F.J. de Ruijter, F.J.E. van der Bolt, O. Oenema, E.M.P.M van Boekel en R. van der Schoot, 2012.
Analyse van aanvullende maatregelen om nutriëntenemissies vanuit de landbouw te verminderen. Deskstudie ter voorbereiding van planMER. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2385. 90 blz.; 8 fig.; 6 tab.; 86 ref.

Om de nutriëntenbelasting van het grondwater en oppervlaktewater verder terug te dringen, is de rijksoverheid op zoek naar maatregelen die door de landbouw geïmplementeerd zouden kunnen worden. Het gaat om maatregelen aanvullend op die van het huidige mestbeleid, omdat de maatregelen van het huidige mestbeleid vooralsnog ontoereikend zijn om alle gestelde doelen voor de waterkwaliteit te realiseren. De perspectiefvolle maatregelen zijn gericht op het verder verlagen van het stikstof- en fosfaatoverschot op bedrijfs- en perceelniveau, door rekening te houden met gewasopbrengst en de nutriëntentoestand van de bodem, op het verbeteren van de bodemkwaliteit en bodemstructuur, en op het vermijden van ondiepe af- en uitspoeling uit landbouwgronden. Maatregelen in het water- en landsysteem helpen de milieukwaliteit te verbeteren maar zijn minder effectief. De effecten van de maatregelen zijn bedrijfs- en locatie specifiek, de selectie van maatregelen is maatwerk,

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.rapportbestellen.nl.

© 2012 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

Alterra-rapport 2385

Wageningen, december 2012

Inhoud

Woord vooraf	7
Beleidssamenvatting	9
1 Inleiding	15
1.1 Achtergrond	15
1.2 Probleemstelling	15
1.3 Doelstelling(en) van het project	16
1.4 Leeswijzer	16
2 Werkwijze	17
2.1 Selectie van regio's	17
2.2 Selectie van sectoren	19
2.3 Denkwijze en conceptueel raamwerk	19
2.4 Bronnen en processen die uitspoeling bepalen	21
2.5 Selectie van aanvullende maatregelen	24
2.6 Beschrijving van maatregelen	25
3 Overzicht van maatregelen	27
3.1 Melkveehouderij	27
3.2 Akker- en tuinbouw	32
3.3 Water- en landsysteem	39
4 Discussie en conclusies	43
Literatuur	45
Bijlage 1 Overzicht maatregelen	51
Bijlage 1A. Overzicht maatregelen melkveehouderij (<i>zie voor uitleg en legenda pagina 47</i>).	53
Bijlage 1B. Overzicht maatregelen akker en tuinbouw (<i>zie voor uitleg en legenda pagina 47</i>).	55
Bijlage 1C. Maatregelen in het watersysteem gericht op het veranderen van uit- en afspoelingsroutes (<i>zie voor uitleg en legenda pagina 47</i>).	57
Bijlage 2. Factsheets	59
Bijlage 2A. Factsheets maatregelen melkveehouderij	61
Bijlage 2B. Factsheets maatregelen akker- en tuinbouw	71
Bijlage 2C. Factsheets maatregelen land-water-systeem	83

Woord vooraf

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken (EZ) en in samenspraak met het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) heeft Wageningen UR een inventarisatie uitgevoerd van maatregelen die de nutriëntenuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater verder kunnen verminderen. Uitgangspunt daarbij is dat de huidige gebruiksnormen niet generiek verder aangescherpt worden. Het is een deskstudie waarbij gebruik gemaakt wordt van beschikbare informatie en kennis.

De studie is uitgevoerd in de periode september - november 2012 door onderzoekers van verschillende onderdelen van Wageningen UR: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving (akker- en tuinbouw), Plant Research International (melkveehouderij) en Alterra (systeembenadering bodem/grondwater).

De auteurs willen de betrokken ministeries bedanken voor de suggesties en het kritisch becommentariëren van conceptrapportages. Ook worden Wageningen UR-collega's bedankt voor het aanleveren van informatie (Frans Aarts, Jouke Oenema, Koos Verloop, Jaap Schröder, Wim van Dijk, Willem van Geel, Piet Groenendijk, Gert-Jan Noij, Lodewijk Stuyt en Harry Massop).

De auteurs

Beleidssamenvatting

Inleiding

Ter voorbereiding van de milieueffectrapportage op planniveau (planMER), die opgesteld moet worden voor het Nederlandse 5^e ActieProgramma Nitraatrichtlijn, heeft de Rijksoverheid aan Wageningen UR verzocht via een deskstudie aan te geven welke maatregelen effectief zijn om de landbouw-gerelateerde nutriëntenemissies naar het grond- en oppervlaktewater verder te verminderen, vooral in gebieden waar momenteel de normen worden overschreden. Hierbij geldt de randvoorwaarde dat de huidige gebruiksnormen voor stikstof en fosfaat niet verder generiek aangescherpt worden (Kamerstukken II, 2011/12, 33037, nr. 1).

Deze deskstudie heeft zich geconcentreerd op het identificeren van maatregelen die de nitraatuitspoeling naar het grondwater in de (droge) zand- en lössgebieden en de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater vanuit de landbouw in zand-, klei en veengebieden verminderen. Uitgangspunt is dat de maatregelen van het huidige mestbeleid onverminderd van kracht blijven; de studie richt zich op aanvullende maatregelen, vanuit het perspectief van de individuele boer. Maatregelen op lokaal niveau of hoger zijn niet beschouwd. De deskstudie heeft zich gericht op de melkveehouderij en de akker- en tuinbouw als zijnde qua areaal belangrijkste vormen van grondgebonden landbouw van waaruit de diffuse belasting van het grond- en oppervlaktewater op kan treden. De wijze waarop geselecteerde perspectievolle maatregelen het beste geïmplementeerd kunnen worden, vormt geen onderdeel van deze studie en heeft daarom slechts beperkt aandacht gekregen. Het berekenen van het milieurendement van de aanvullende maatregelen op regionale en/of nationale schaal was ook geen onderdeel van deze studie.

Conceptueel denkraam

Nutriëntenverliezen vanuit de landbouw worden voornamelijk veroorzaakt door de hoogte, manier en tijdstip van bemesting, -nutriëntenoverschotten en de bodem-hydrologische omstandigheden. Plaats, wijze en tijdstip van bemesting bepaalt in belangrijke mate in hoeverre de nutriënten door het gewas benut kunnen worden. Naarmate de nutriëntenoverschotten hoger zijn, blijven er meer nutriënten in de bodem achter, waardoor de verliezen zullen toenemen, zeker op termijn. Het grondwaterstandsverloop beïnvloedt in hoeverre nitraat uit de ondergrond door denitrificatie kan worden verwijderd en in welke mate uit- en afspoeling van stikstof- en fosfaat vanuit nutriëntrijke bodemlagen naar het oppervlaktewater kan optreden. Naast deze diffuse belasting van het grondwater en oppervlaktewater kan ook sprake zijn van lokale verliezen zoals erfafvoer.

Samengevat was de zoektocht in de onderhavige studie dan ook gericht op maatregelen die

- 1) op bedrijfs- en perceelschaal het stikstof- en/of fosforoverschot verminderen;
- 2) nutriëntenemissies over het maaiveld (oppervlakkige afvoer) verminderen;
- 3) nutriëntenemissies van het erf, kavelpaden en (vertrapte) drink-/voederplaatsen voorkomen;
- 4) ontwateringspatronen in het land-watersysteem wijzigen.

Specifieke pakketten van maatregelen

Het verlagen van de stikstof- en fosfaatoverschotten kan gerealiseerd worden door de volgende combinatie van aanvullende maatregelen:

- een verhoging van de nutriëntenbenutting door onder andere een betere bemestingsplanning en bodembeheer, rekening houdend met het stikstofleverend vermogen en de fosfaattoestand van de bodem, waardoor de productie en de nutriëntenafvoer toeneemt;
- gebruik van stikstofvanggewassen en groenbemesters;
- optimaal rekening te houden met mineralisatie (wisselteelt, nalevering uit gewasresten inclusief groenbemesters en vanggewassen, toepassing van bijmestsystemen);
- afvoeren van gewasresten;
- aangepaste vruchtwisseling en rassenkeuze (vnl. akker- en tuinbouw) en
- nieuwe teeltsystemen.

Verlaging van het nutriëntenoverschot leidt tot een verbetering van de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit. De effectiviteit van een verlaging van het stikstof- en fosfaatoverschot op de vermindering van de belasting van grondwater en oppervlaktewater hangt af van de lokale omstandigheden zoals grondsoort en hydrologische omstandigheden (zie tabellen 2 en 3).

Vermindering van het N-overschot is vooral belangrijk voor droge zandgronden, waar vooral nu nog te hoge nitraatconcentraties in het grondwater worden aangetroffen. Vermindering van het P-overschot is vooral belangrijk in de relatief natte gebieden waar de eutrofiëring van het oppervlaktewater wordt veroorzaakt door fosfaat uit- en -afspoeling. Daar waar de eutrofiëring van het oppervlaktewater ook door stikstof uit de landbouw wordt veroorzaakt, vooral op matig droge en natte gronden, is verlaging van het N-overschot ook belangrijk. Door maatwerk kan de hoogste effectiviteit worden gerealiseerd; dit vergt echter wel veel kennis van de plaats-specifieke omstandigheden ('bemesting op maat').

Er is een palet aan mogelijke maatregelen die kunnen bijdragen aan de vermindering van de nutriëntenoverschotten (bijlage 1). Echter lang niet alle maatregelen zijn overal en altijd inpasbaar in de bedrijfsvoering. Om deze reden zijn pakketten van maatregelen benoemd, waaruit specifieke maatregelen gekozen kunnen worden. Dit is zowel voor de melkveehouderij als de akker- en tuinbouw uitgewerkt. Het idee is dat de boer zelf, in combinatie met adviseurs, het beste kan bepalen welke specifieke maatregelen voor zijn of haar bedrijf het meest effectief zijn.

Maatregelen in de melkveehouderij

Het aanvullende maatregelenpakket binnen de melkveehouderij dient gericht te worden op verdere verhoging van de melkproductie en op verhoging van de benutte ruwvoerproductie binnen het eigen bedrijf bij gelijkblijvende of lagere aanvoer van stikstof en fosfaat in aangekocht voer en meststoffen. Dit zijn brongerichte maatregelen om de nutriëntenoverschotten (bedrijf / percelen) te verlagen. Bij de selectie van maatregelen moet rekening worden gehouden met bedrijfsspecifieke omstandigheden. Voor bedrijven met een hoge veebezetting kan de scheiding van mest in een stikstof- en kaliumrijke dunne fractie en fosfaatrijke dikke fractie belangrijke aanknopingspunten bieden voor het verfijnen van bemestingsstrategieën voor de percelen. Aanvullend kan op bedrijven op zandgrond wisselbouw (2-3 jaar gras, 2 jaar maïs en 1 jaar graan) perspectief bieden op vermindering van de nitraatuitspoeling, waarbij de maïs dan niet of nauwelijks wordt bemest na het scheuren van gras. Ook onderzaai van de groenbemester in maïs kan bijdragen aan vermindering van de nitraatuitspoeling uit maïsland, al vergt dit wel maatwerk voor de zaaitijden van maïs en onderzaai. De voornoemde maatregelen voor de melkveehouderij zijn vooral effectief op zandgrond en minder effectief op kleigrond en veen (minder noodzaak tot wisselbouw) of weinig relevant voor veengrond (weinig maïssteelt). Er wordt verwacht dat het N-overschot op melkveebedrijven met 5-50% gereduceerd kan worden en het fosfaatoverschot met 0-100%, afhankelijk van de fosfaattoestand van de bodem.

Maatregelen in de akkerbouw- en tuinbouw

Het aanvullende maatregelenpakket binnen de akker- en tuinbouw moet gericht worden op verdere verhoging van de gewasproductie van goede kwaliteit, bij gelijkblijvende of lagere aanvoer van stikstof en fosfaat. In de akker- en tuinbouw geldt dat naarmate de financiële opbrengsten per ha hoger zijn, het risicomijdend gedrag groter is. Bij de selectie van maatregelen moet hier rekening mee gehouden worden. Het aandeel gewassen in het bouwplan met een hoge financiële opbrengst verschilt van bedrijf tot bedrijf. De variatie in gewas/raskeuze zorgt ook voor een grote diversiteit in managementstrategieën binnen de akker- en tuinbouw omdat elk gewas eigen eisen stelt aan o.a. bodembeheer, gewasbescherming en bemesting (mestverdeling, kunstmestgebruik, groenbemester, etc.). Het aanvullende maatregelenpakket dient binnen of bovenop de huidige managementstrategieën geïmplementeerd te worden. Het gaat hierbij om goed bodembeheer, ter verbetering van de bodemkwaliteit en gewasopbrengst, precisiebemesting, rekening houdend met het stikstofleverend vermogen en de fosfaattoestand van de bodem, keuze voor gewassen die weinig stikstof achter laten, vroege oogst in verband met het kunnen telen van een groenbemester en afwisselend diep en ondiep wortelende gewassen. Goed bodembeheer speelt niet alleen een rol in relatie tot goede standplaatsfactoren zoals organisch stofbeheer, bodemvruchtbaarheid en grondbewerking (goede mogelijkheden voor beworteling en voldoende vochthoudend vermogen), maar ook een rol ter voorkoming van de verliezen door beperking van oppervlakkige afspoeling via een goede bodemstructuur met voldoende infiltratiecapaciteit.

Er moet meer volgens de principes van het zogenoemde 4R Nutrient Stewardship worden bemest: right fertilizer source, right rate, right time, and right placement, dus volgens de principes van Best Management Practices (BMP) (en niet volgens de principes van 'opvullen van gebruiksnormen'). Bij het opstellen van het bemestingsplan moet integraal rekening gehouden worden met het aanbod van stikstof uit mineralisatie uit bodem, gewasresten, groenbemesters en eerder toegediende mest en andere bronnen als depositie en hulpstoffen. Uitbreiding van de teelt van groenbemesters en stikstofvanggewassen en het afvoeren van gewasresten kunnen lokaal een groot effect sorteren op het verminderen van emissies (tot tientallen kg N per ha), maar is op een beperkt areaal toepasbaar.

Naar verwachting leidt het toepassen van voornoemde maatregelen in de praktijk tot een verhoging van de efficiëntie van de bemesting, waardoor de hoogte van de bemesting verlaagd kan worden zonder opbrengstderiving. De inschatting is dat op korte termijn 0-10% op het stikstofoverschot bespaard kan worden. Op de langere termijn kan dit oplopen tot 20% afhankelijk van het bouwplan. Voor de verlaging van het fosfaatoverschot zijn de mogelijkheden nog groter: oplopend tot 100%. Ook hier geldt dat de boer zelf, in combinatie met adviseurs, het beste kan bepalen welke specifieke maatregelen voor zijn of haar bedrijf het meest effectief zijn.

In de vollegrondstuinbouw zou in specifieke gevallen, voor teelten met hoog risico of nitraatuitspoeling, gekozen kunnen worden voor het telen los van de ondergrond. Dit is momenteel in onderzoek in het programma 'Teelt de grond uit'. De effectiviteit op landelijk niveau is beperkt door het relatief kleine areaal aan vollegrondstuinbouw, doch lokaal en/of in specifieke regio's, namelijk de concentratiegebieden met veel intensieve tuinbouw, kan deze maatregel wel heel effectief zijn.

Regio-specifieke maatregelen in waterbeheer

Ook door aanpassingen in inrichting en beheer van het water- en landsysteem kunnen de verliezen van nutriënten naar het watersysteem worden verminderd. Oppervlakkige afstroming over het perceel (runoff) kan lokaal tot hoge verliezen leiden en kan beperkt worden door de structuur van de bodem te verbeteren en/of begroeiing (door nagewassen) waardoor de infiltratiecapaciteit wordt vergroot. Er moet volop aandacht zijn voor het zuiveren van lokale (punt)bronnen als erfafspoeling en bedrijfswater alsook voor het voorkomen van afvoeren van kavelpaden en (vertrapte) drink/voederplaatsen.

Droge bufferstroken kunnen in sommige gebieden een beperking van de belasting van het oppervlaktewater realiseren van 5-20% voor zowel N als P. Het aanleggen van droge bufferstroken op grote schaal is echter

weinig zinvol, aangezien bufferstroken niet overal effectief zijn en er een relatief groot beslag op productiegrond wordt gelegd.

‘Sturen op ontwatering’ via regelbare drainage en/of peilbeheer grijpt in op de waterhuishouding en beïnvloedt zowel de waterbeschikbaarheid voor het gewas als de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Het verbeteren van de drooglegging is gericht op het voorkomen van natte omstandigheden (hoge grondwaterstanden) en het reduceren van de emissie van fosfor en stikstof naar het oppervlaktewater. Het vasthouden van water en het aanvoeren van water om droogteschade te voorkomen doet de uit- en afspoeling van stikstof afnemen omdat in nattere omstandigheden (hogere grondwaterstanden) de denitrificatie toeneemt. Water aanvoeren om de afbraak van veen te reduceren en de bodemdaling te vertragen, kan ook bijdragen aan de vermindering van de emissies van stikstof naar het oppervlaktewater. Echter in beide situaties is de kans groot dat de fosfaatverliezen gaan toenemen door deze nattere omstandigheden. Actief beheer via regelbare drainage en/of peilbeheer geeft een grote flexibiliteit waardoor het mogelijk is de nagestreefde doelen in de tijd te variëren zodat ook meerdere doelen kunnen worden gerealiseerd, zoals het vasthouden van water in de groeiperiode van het gewas en het verlagen van de grondwaterstand in periode met neerslagoverschot om de fosfaattuitspoeling te verminderen. Bovendien zijn dit relatief goedkope maatregelen.

Verlaging van de concentraties van N en P in het oppervlaktewater kan ook worden gerealiseerd door het vergroten van de nutriëntenretentie in de sloten, door het aanpassen van waterlopen of door het aanleggen van helofytenfilters. Deze maatregelen zijn echter relatief duur. Lokaal kunnen deze maatregelen wel effectief zijn om de waterkwaliteit te verbeteren.

Afwenteling

Maatregelen ter verbetering van de nutriëntenbenutting en ter verlaging van de stikstof- en fosfaatoverschotten leiden in het algemeen tot lagere emissies naar lucht, grondwater en oppervlakte water. Er is geen sprake van afwenteling, maar van synergie. Effecten van voornoemde maatregelen op de bodemkwaliteit zijn verwaarloosbaar gering op korte termijn. Op langere termijn kunnen de organische stofvoorraad en de fosfaattoestand van de bodem dalen afhankelijk van het bouwplan en de hoogte van de fosfaatoverschotten. Via de huidige wet- en regelgeving is er echter altijd de mogelijkheid om een lage fosfaattoestand te repareren tot een fosfaattoestand voldoende. Ook door grondverbetering om de oppervlakkige afspoeling te voorkomen, of door de aanleg van bufferstroken, zal de luchtkwaliteit of bodemkwaliteit niet verslechteren. Bij regelbare drainage kan bewust worden gestuurd op het verlagen van nitraatconcentratie in het grondwater door het vernatten van het perceel, waardoor meer nitraat denitrificeert en de stikstofemissie naar de lucht toeneemt. Indien bewust gestuurd wordt om de fosfaattuitspoeling te verminderen zullen de stikstofemissies naar de lucht juist afnemen. Over het algemeen heeft vernatten - verdrogen een groter effect op de gewasgroei, dan op de verandering in nutriëntenuitspoeling, en daardoor op de nutriëntenopname waardoor verwacht wordt dat de feitelijke effecten in relatie tot afwenteling minimaal zullen zijn.

Vertaling van de resultaten naar beleid

We willen hierbij kort ingaan op de vertaling van de beschreven maatregelen naar beleid (hoewel dit strikt niet tot onze opdracht behoorde). Veel van de benoemde maatregelen kunnen op relatief korte termijn ingevoerd worden (< 4 jaar). Belangrijke uitkomst van dit project is dat de maatregelenpakketten specifiek voor bedrijven samengesteld moeten worden om maximaal effect en kosteneffectiviteit te bereiken. Boeren dienen zelf met hun adviseurs bedrijfsspecifieke pakketten samen te stellen. Hiervoor is het van belang dat vooraf transparant wordt aangegeven in welke gebieden het zinvol is om maatregelen te nemen en welke doelen er worden gesteld om de beoogde verbetering van de waterkwaliteit te kunnen realiseren.

Er zijn prikkels nodig om de maatregelen in de praktijk in te voeren, omdat de maatregelen vaak kennis, tijd en aandacht vergen. Voorgesteld wordt om de regio-specifieke en bedrijfsspecifieke maatregelen via ‘cross compliance’ achtige regelingen in te voeren. Mogelijk kan er ook via de (voorgenomen)

vergroeningsmaatregelen of via regelingen van de tweede pijler van het gemeenschappelijke landbouwbeleid financiële prikkels worden gevonden. Andere opties zijn groen-blauwe diensten en/of compensaties via ruimtelijke ordening sfeer (functies). Door een dergelijke strategie kunnen wellicht ook meerdere beleidsdoelen gerealiseerd worden. Met een bedrijfsspecifieke aanpak worden boeren uitgedaagd om hun management zo uit te voeren dat ze met de minste kosten, passend bij hun bedrijfsvoering de gestelde doelen halen. Verder vereist niet alleen de implementatie aandacht maar gelijktijdig ook de toetsing in de keten: gebruik - emissies - waterkwaliteit, zodat op een gerichte en kostenefficiënte manier bijsturing mogelijk is.

Conclusies

Samengevat, brongerichte maatregelen op bedrijfs- en perceelschaal zijn effectieve aanvullende maatregelen om de belasting van grondwater en oppervlakte water te verminderen. Omdat niet elke maatregel overal effectief en in het bedrijf inpasbaar is, is maatwerk nodig. Door bedrijven te laten kiezen uit een pakket van potentieel effectieve maatregelen, waarmee 'eenzelfde doel' bereikt wordt, kan flexibiliteit in de bedrijfsvoering worden gehandhaafd. Dit is het meest kosteneffectief omdat de effectiviteit sterk kan verschillen afhankelijk van het gewas, de hydrologische situatie en grondsoort. Maatregelen waarvan veel verwacht wordt zijn:

- verhoging van de gewasopbrengst en nutriëntenafvoer met het geoogste gewas,
- het telen van vanggewassen/groenbemesters na teelten die een hoge minerale stikstofvoorraad in de bodem achterlaten,
- de afvoer van stikstofrijke gewasresten,
- het scheiden van dunne mest en op het perceel gericht gebruik van de dikke en dunne fracties,
- verhoging van de nutriëntenbenutting door de '4R Nutrient Stewardship' waarbij het bemestingsniveau wel wordt aangepast en de gebruiksnormen dus niet worden opgevuld.

Het verminderen van oppervlakkige afstroming en het zuiveren/saneren van puntbronnen op het boerenbedrijf zijn ook effectieve, brongerichte maatregelen die onderdeel uitmaken van Best Management Practices. Effectgerichte maatregelen in het water- en landsysteem via waterbeheer ('regelbare drainage') of het vergroten van nutriëntenretentie in het oppervlaktewater dragen ook bij aan het verbeteren van de waterkwaliteit. Het inregelen van deze maatregelen is maatwerk gelet op de regionale verschillen in hydrologische situatie.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het kader van het Nederlandse 5^e AP Nitraatrichtlijn dient de Rijksoverheid een milieueffectrapport op planniveau (planMER) op te stellen (uitspraak van het Europese Hof; 'Terre Wallonne'). In een dergelijke planMER moet voor enkele beleidsopties de invloed op het milieu in brede zin in kaart gebracht worden. Ter voorbereiding van een planMER heeft het ministerie van EZ behoefte aan inzicht in de effectiviteit van maatregelen om de landbouw-gerelateerde nitraatconcentraties in het grondwater in de zand- en lössgebieden te verlagen en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater door de landbouw in verschillende landschappelijke regio's terug te dringen. De 'hoeken van het speelveld' zijn in beginsel in de Evaluatie Meststoffenwet (Bolt et al., 2012; Groenendijk et al., 2012; Willems en Schijndel, 2012) in kaart gebracht in de vorm van scenario's met en zonder aanscherping van gebruiksnormen. Inzet van de rijksoverheid is geen verdere aanscherping van de gebruiksnormen (beleidsbrief toekomstig mestbeleid Kamerstukken II, 2011/12, 33037, nr. 1). Informatie is nu noodzakelijk over de effectiviteit van aanvullende maatregelen om nutriëntenuitspoeling te reduceren en over mogelijke neveneffecten zoals afwenteling van nutriëntenemissies naar bodem/lucht en via lucht op natuur en klimaat, zoals beschreven in de paragraaf Milieueffectrapportage van de Wet volkshuisvesting, ruimtelijke ordening en milieubeheer (artikel 7.7 lid 1 Wm in combinatie met artikel 1.1 lid 2 Wm). De informatie over het effect van aanvullende maatregelen wordt gebruikt om de feitelijke invulling van het planMER vorm te geven en beleidsvoornemens binnen de ministeries nader te evalueren.

1.2 Probleemstelling

Om aan de doelstellingen van de Nitraatrichtlijn te voldoen worden er om de vier jaar actieprogramma's geformuleerd waarin het rijksbeleid voor de komende vier jaar is aangegeven. Als gevolg van deze actieprogramma's is de grondwaterkwaliteit ten aanzien van nitraat verbeterd (Hooijboer en Klijne, 2012) en is de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater verminderd (Bolt et al., 2012; Groenendijk et al., 2012) en de oppervlaktewaterkwaliteit verbeterd (Boekel et al., 2012; Klein et al., 2012a; Klein et al., 2012b).

In de evaluatie van de meststoffenwet 2012 is vastgesteld dat de nitraatconcentratie in het grondwater van veen- en kleigebieden gemiddeld beneden de 50 mg nitraat per liter ligt. In het zandgebied hadden echter slechts 43% van de bedrijven de norm van 50 mg nitraat per liter grondwater gerealiseerd, en in het lössgebied slechts 23% van de bedrijven. De gemiddelde nitraatconcentratie in deze gebieden is resp. 69 en 82 mg NO₃/l (Bolt et al., 2012; Hooijboer en Klijne, 2012).

Ook de oppervlaktewaterkwaliteit voldoet in Nederland nog niet overal aan de doelstellingen zoals deze in het kader van de stroomgebiedsbeheersplannen zijn opgesteld. Het percentage meetlocaties, dat aan de doelstellingen voor stikstof of fosfor voldoet, bedraagt op dit moment voor zowel stikstof als fosfor ongeveer 50%. Overschrijdingen van de waterkwaliteitsdoelen (KRW-normen en waterschapdoelen) komen algemeen voor, zowel in de benedenstroomse grotere wateren als in de bovenstroomse, landbouw-beïnvloede wateren. De doelrealisatie voor stikstof en fosfor is voor grote delen van het watersysteem nog niet bereikt.

Een fors deel (50-70%) van de belasting van het oppervlaktewater wordt veroorzaakt door uit- en afspoeling van nutriënten uit landbouwgronden. Realisatie van de doelen voor waterkwaliteit vergt daarom dat (ook) aanvullende maatregelen in de landbouw worden genomen, in aanvulling op die van het huidige mestbeleid.

Het ministerie van Economische Zaken (EZ) heeft, in samenspraak met het ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM), aan Wageningen UR gevraagd via een deskstudie in kaart te brengen welke aanvullende maatregelen een substantiële bijdrage kunnen leveren aan het verder verminderen van de nitraatuitspoeling naar het grondwater en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Er wordt aandacht gevraagd voor de gevolgen van deze maatregelen op de afwenteling op bodem en lucht en via de lucht op natuur en het klimaat. Op deze wijze krijgen de ministeries inzicht in de potenties van maatregelen, welke in de feitelijke Milieueffectrapportage meegenomen dienen te worden.

1.3 Doelstelling(en) van het project

In afstemming met het ministerie van EZ zijn de volgende doelstellingen voor deze deskstudie benoemd:

- 1) De selectie van (aanvullende) maatregelen om:
 - a) de uitspoeling van nitraat naar het grondwater te verlagen in het zandgebied en op de lössgronden,
 - b) de stikstof- en fosfaatbelasting van het oppervlaktewater te verlagen in de zand-, klei en veengebieden.

Als het mogelijk en zinvol is, opgesplitst voor verschillende landbouwsectoren.

Het gaat hier een inschatting van de belangrijkste effectieve maatregelen door experts op dit werkveld.

Er moet ook aandacht worden besteed aan mogelijke afwentelingsaspecten.

- 2) Kwantitatieve informatie over de effectiviteit van maatregelen en als deze niet beschikbaar is een kwalitatieve score.

1.4 Leeswijzer

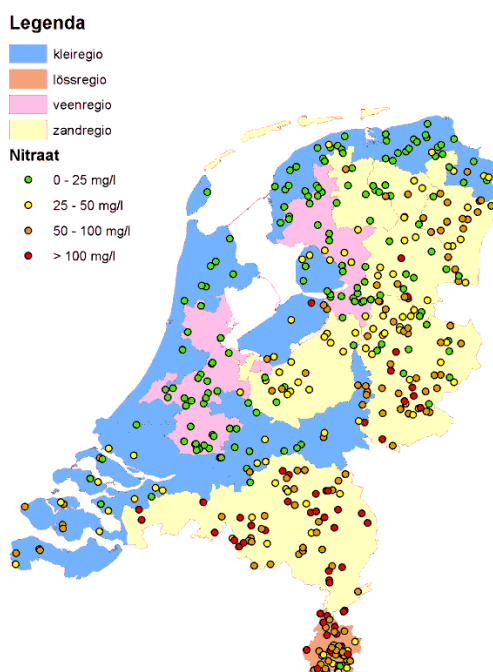
In hoofdstuk 2 is de gehanteerde methodiek beschreven en in hoofdstuk 3 staan de resultaten vermeld. In hoofdstuk 4 worden de maatregelen nader bediscussieerd en in hoofdstuk 5 zijn de belangrijkste conclusies vermeld. De volledige lijst met maatregelen zijn in bijlage 1 benoemd. In bijlage 2 zijn de meest perspectiefvolle maatregelen als factsheets uitgewerkt.

2 Werkwijze

2.1 Selectie van regio's

De selectie van regio's is gebaseerd op de ruimtelijke beelden van de waterkwaliteit zoals deze in het kader van de evaluaties van de meststoffenwet zijn gerapporteerd (Bolt et al., 2012; Hooijboer and Klijne, 2012; Klein et al., 2012a; Klein et al., 2012b).

Figuur 1 geeft een beeld van de nitraatconcentraties in het bovenste grondwater zoals deze worden gemeten in het kader van het landelijke meetnet effecten mestbeleid (LMM) door het RIVM. Uit dit beeld blijkt dat vooral in het zandgebied en het lössgebied de nitraatconcentratie boven de norm van 50 mg NO₃ per liter ligt. Omdat het lössareaal ten opzichte van het zandareaal relatief klein is, zijn deze twee grondsoorten in deze studie samen genomen. Verhoogde fosfaatconcentraties in het grondwater vormen beleidsmatig geen probleem en zijn dan ook niet in deze studie betrokken.

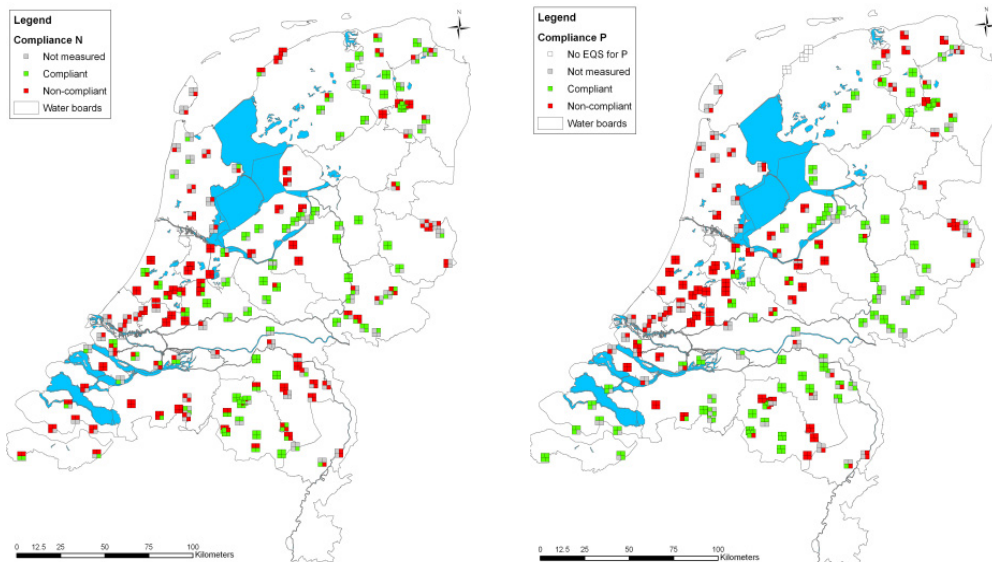


Figuur 1

Indeling van LMM-bedrijven in klassen op basis van de gemiddelde nitraatconcentratie in het uitspoelingswater, 2007 - 2010 (Hooijboer en Klijne, 2012).

Figuur 2 geeft de beelden in welke mate aan respectievelijk de stikstof- of fosfornorm in het oppervlaktewater wordt voldaan conform de doelen die in de eerste stroomgebiedsbeheersplannen (1^e SGBP) zijn opgesteld. Vooral in het laagveengebied wordt niet aan de N- en P-norm voldaan. In de zand- en kleigebieden is het beeld van overschrijding van de N- en P-normen wisselend.

De EU-Kaderrichtlijn water heeft een stroomgebiedsbenadering als ingang voor het verbeteren van de oppervlaktewaterkwaliteit. Deze ingang is ook gebruikt bij de regio-indeling in de voorliggende studie; er zijn zand/löss, klei en zandregio's benoemd (Figuur 3; bodem-regio-indeling van Nederland). Hierbij wordt opgemerkt dat het westelijke deel van het stroomgebied Maas West (Schouwen-Duivenland) bij de provincie Zeeland (kleigronde) is getrokken.



Figuur 2

Doelrealisatie van de waterschapsdoelen zoals geformuleerd in de stroomgebiedsbeheersplannen voor N-totaal en P-totaal per meetpunt (Klein et al., 2012a; Klein et al., 2012b).



Figuur 3

Gehanteerde bodem-regio-indeling in relatie tot de achttien deelstroomgebieden waarin Nederland is onderverdeeld.

Op basis van deze ruimtelijke beelden van de waterkwaliteit is als uitgangspunt gekozen dat de maatregelen om nitraatuitspoeling zich moeten richten op de zand- en lössgronden (gele gebied; figuur 3) en de maatregelen om de nutriëntenuitspoeling naar oppervlaktewater te verminderen op de zand-, klei- en veengronden. Over de oppervlaktewaterkwaliteit in de lössgebieden is weinig informatie voorhanden, gelet op de zeer diepe grondwaterstanden en het geringe aantal sloten. Om de eenvoud zijn deze ook bij de zandgronden betrokken, zodat rekening wordt gehouden met een bodemregio-indeling zoals in Figuur 3 is aangegeven.

2.2 Selectie van sectoren

Om tot een selectie van te onderscheiden landbouwsectoren in de verschillende regio's (paragraaf 2.1) te komen, is nagegaan welk areaal gewassen er in de verschillende regio's voorkomen, waarna een clustering is aangebracht voor de gewassen in de open teelten (akker- en tuinbouwgewassen). De studie richt zich op de grondgebonden landbouw. De glastuinbouw is daarom buiten beschouwing gelaten. Het landbouwareaal van hokdierbedrijven, die voornamelijk in de zandgebieden zijn gelegen, is zeer gering ten opzichte van het areaal van de grondgebonden landbouw (melkveehouderij en open teelten). Om deze reden zijn hokdierbedrijven ook buiten de analyse gelaten, ondanks dat de hoogste nitraatconcentraties in het grondwater onder deze bedrijven gemeten worden (Hooijboer en Klijne, 2012). Dit hangt mogelijk samen met de hoge bemestingsdruk (Schoumans et al., 2012), maar als gevolg van het geringe areaal (2%, 4% en 7% in resp. het Noordelijk, Centraal en Zuidelijk zandgebied) is de impact op de gemiddelde nitraatconcentratie in de regio beperkt.

Voor het vaststellen van de gewasarealen binnen de bodem-regio-indeling van Nederland (paragraaf 2.1) is als databestand gekozen de arealen in 2010 die aan het nationale nutriëntenemissiemodel STONE worden aangereikt vanuit het LEI, waarbij 24 gewassen (deels groepen van gewassen) worden onderscheiden. Omdat het areaal van een groot aantal gewassen of gewasgroepen zeer gering is, is een clustering gemaakt in gras, maïs, akkerbouw, tuinbouw en natuur, waarbij tuinbouw verder is onderverdeeld in bollenteelt en vollegrondsgroententeelt. geeft een overzicht van het procentuele aandeel areaal van de gewassen in de regio's. Een deel van het maïsareaal en het overgrote aandeel van het graslandareaal maakt deel uit van melkveehouderijbedrijven. Een ander deel van het maïsareaal maakt deel uit van akkerbouwbedrijven. Een relatief klein percentage van areaal landbouwgronden bestaat uit vollegrondsgroenten en bollenteelt. Als er specifieke aspecten zijn in relatie tot het selecteren van type maatregelen binnen de akker- en tuinbouw worden deze aangegeven.

Tabel 1

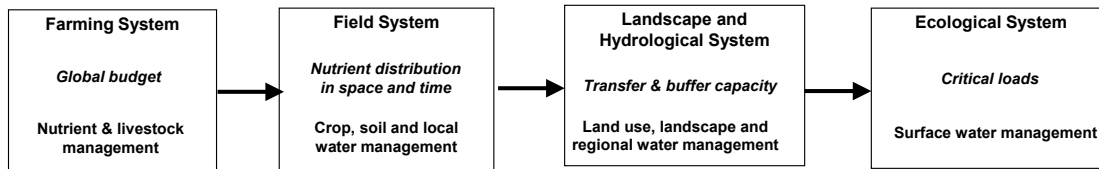
Procentuele verdeling van gewasgroepen in de drie bodemregio's, berekend als aandeel van het groene areaal.

Regio	ha groen	Natuur	Maïs	Gras	Akkerbouw	Tuinbouw	
					Aard., granen, suikerb & uien	Vollegronds groenten	Bollen
Zand	1278419	37.2%	14.4%	33.5%	13.2%	1.3%	0.3%
Klei	1247506	25.1%	2.7%	33.7%	34.7%	2.3%	1.6%
Veen	280450	23.4%	1.1%	48.4%	23.3%	2.1%	1.6%
Totaal	2806375	30.4%	7.9%	35.1%	23.8%	1.8%	1.0%

2.3 Denkwijze en conceptueel raamwerk

Om de waterkwaliteit te verbeteren kunnen op verschillende plaatsen in het land-grondwater-oppervlaktewatersysteem maatregelen worden getroffen. Binnen EU-COST action 869 'mitigation option to reduce nutrient emissions' is een cascade-framework ontwikkeld, waarbinnen specifieke maatregelen zijn te

implementeren. Dit cascade-framework houdt rekening met de mineralenstroom op het bedrijf en in het regionale watersysteem (Figuur 4). Het conceptuele denkraam achter dit framework is toegepast bij onderhavige deskstudie.



Figuur 4

Schematische weergaven van belangrijke systemen die de waterkwaliteit beïnvloeden en waarbinnen gericht management mogelijk is om de waterkwaliteit te verbeteren (Schoumans et al., submitted; Schoumans et al., 2011).

Om de diffuse belasting van het oppervlaktewater vanuit landbouwgronden terug te dringen, speelt het management op het landbouwbedrijf (landbouwbedrijfssysteem; blok 1, fFiguur 4) een cruciale rol. Hier vinden de sociaaleconomische beslissingen plaats ten aanzien van de nadere uitwerking van het plantaardig en/of dierlijk productiesysteem tezamen met het bijbehorende nutriëntenmanagement. Gegeven de randvoorwaarden die vanuit wet- en regelgeving worden opgelegd, wordt een bedrijfseigen 'management practice opgezet die resulteert in een bemestingsstrategie en mineralenstromen en '-overschotten op bedrijfsniveau. Verliezen vanuit de landbouw naar het milieu komen voornamelijk tot stand doordat de nutriënten op landbouwbedrijven niet in voldoende mate benut worden, waardoor relatief hoge N- en P-overschotten kunnen ontstaan. Bij het benoemen van maatregelen wordt dan ook sterk vanuit landbouwbedrijven geredeneerd. Welke maatregelen kan de boer nemen om de N- en P-benutting te verhogen en daarmee de N- en P-overschotten te verlagen.

Het nutriëntenoverschot is hierbij gedefinieerd als:

$$\text{Overschot} = \Sigma(\text{Input}) - \Sigma(\text{Output})$$

Een vermindering van het overschot kan worden gerealiseerd door een verhoging van de output bij gelijkblijvende input, door een verlaging van de input bij gelijkblijvende output of door een verlaging van de input tezamen met een verhoging van de output. In het ideale geval wordt een hoge output gerealiseerd bij een laag overschot. Een laag overschot realiseren door een lage input en een lage output is ook mogelijk, maar is vanuit de doelstelling van voedselproductie minder wenselijk en in de Nederlandse context voor het overgrote deel van de ondernemers financieel onhaalbaar.

De efficiëntie van het stikstof en fosfaatgebruik wordt gedefinieerd als:

$$\text{Efficiëntie} = [\Sigma(\text{Output}) / \Sigma(\text{Input})] \times 100\%$$

Kortom, de maatregelen ter vermindering van het overschot moeten ook gericht zijn op verhoging van de efficiëntie. De maatregelen die zich richten op het verhogen van de efficiëntie spreken aan bij ondernemers, en het is hierbij van belang dat het overschot in absolute zin niet te hoog omdat het overschot een sterkere relatie heeft met milieudoelen dan efficiëntie. Dit vereist de noodzaak voor het benoemen van een bovengrens in overschotten.

Niet alleen op het bedrijf maar vooral ook in het veld (blok 2; Figuur 4) zijn maatregelen mogelijk die de uit- en afspoeling kunnen beïnvloeden. Dit kan onder andere via gewas- en bodemmanagement. Voorbeelden hiervan zijn het verhogen van de gewasopbrengst en stikstof- en fosfaatopname in het gewas. Dit kan bereikt worden door verbetering van de bodemstructuur en bodemkwaliteit, precisiebemesting, toepassing van vanggewassen en het afvoeren van gewasresten met veel N in het najaar. Belangrijkste doelen van dergelijke maatregelen zijn: het verlagen van bodemoverschot aan mineralen en het beperken van de rechtstreekse verliezen uit de bouwvoor of over het maaiveld.

Het neerslagpatroon en het grondwaterregime bepalen in belangrijke mate wat het lot is van de nutriëntenverliezen die uit de bouwvoor optreden. Aanpassing in het watermanagement van het perceel of in de regio heeft dan ook direct gevolgen op de nutriëntenbelasting van het grondwater en oppervlaktewater. Naarmate het perceel natter wordt zal de denitrificatie toenemen waardoor de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater over het algemeen zal dalen. Onder nattere omstandigheden neemt echter de kans op fosfaatuitspoeling naar het oppervlaktewater toe.

Ook op grotere schaal dan het bedrijfsniveau zijn in het landelijke gebied maatregelen te nemen die het nutriëntentransport kunnen beïnvloeden (blok 3; Figuur 4). Deze zijn in belangrijke mate gericht op vermindering van de bijdrage van erosie en oppervlaktewaterafvoer. In het relatief vlakke Nederland zijn deze maatregelen van ondergeschikt belang en vallen ook buiten de scope van deze studie, evenals de maatregelen die betrekking hebben op de watergangen (blok 4; Figuur 4).

2.4 Bronnen en processen die uitspoeling bepalen

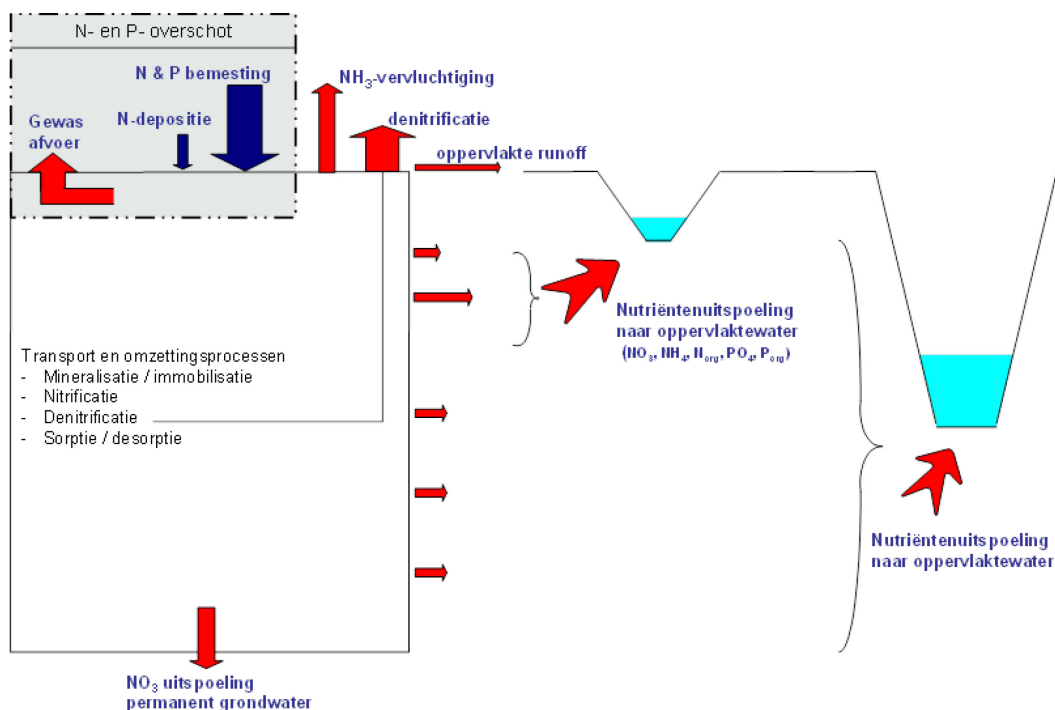
De nitraatconcentratie in het zandgebied en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater vanuit landbouwgronden in het zand-, klei- en veengebied kan verlaagd worden door te sturen op de 'factoren' die deze verliezen bepalen.

Uitspoeling van nutriënten hangt van een groot aantal bronnen, processen en patronen af (Figuur 5), te weten:

- hoogte, vorm en tijdstip van giften (incl. depositie)
- NH_3 -vervluchtiging
- nitrificatie, denitrificatie
- mineralisatie van / immobilisatie in organische stof
- sorptie en desorptie
- opnameverloop door het gewas
- watertransport door de bodem

Veel processen zijn biologisch van aard waardoor het procesverloop veelal afhankelijk is van het vocht-, zuurstof- en zuurgehalte en de temperatuur, met als gevolg dat variatie in (risico's op) uitspoeling gedurende het jaar groot is. Daardoor kan de grootte van de stromen (pijlen in Figuur 5) veranderen, als de nutriëntenaanvoer en -aanwending verandert, de gewasafvoer verandert en/of de weersomstandigheden /hydrologische situatie veranderen.

Om inzichtelijk te maken op welke manier de nitraat(NO_3), totaal stikstof(N) en totaal fosfor (P)-concentraties verlaagd kunnen worden, wordt op basis van vereenvoudigde modelconcepten aangegeven welke bronnen ('sources en sinks'), processen en patronen in belangrijke mate de nitraatuitspoeling naar het grondwater en de N- en P-belasting van het oppervlaktewater beïnvloeden.



Figuur 5

Schematische weergave van de processen en patronen die de nutriëntenuit- en -afspoeling naar het grond- en oppervlaktewater bepalen.

Nitraatuitspoeling

Het netto stikstofoverschot van de bodem (N-bemesting + N-depositie minus N-gewasafvoer) is een belangrijk drijvende kracht voor de nitraatuitspoeling. Als het netto stikstofoverschot wordt gedeeld door het netto neerslagoverschot kan de nitraatconcentratie berekend worden die maximaal kan uitspoelen. In de praktijk treden echter processen in de bodem op waardoor N naar de lucht verdwijnt of naar het oppervlaktewater uitspoelt en de nitraatconcentratie in het grondwater veelal lager is dan deze maximale concentratie (Figuur 5). Uit de LLM-dataset zijn empirisch gemiddelde uitspoelfracties afgeleid waarvoor de maximaal berekende nitraatconcentratie gecorrigeerd moet worden om op de gemeten bedrijfsgemiddelde nitraatconcentratie uit te komen. Hierin zijn in feite alle processen (vervluchtiging, netto mineralisatie-immobilisatie, nitrificatie-denitrificatie) tezamen met de uitspoelingpatronen naar oppervlaktewater die op de LMM-bedrijven voorkomen in één factor verdisconteerd. De uitspoelfracties zijn vastgesteld voor combinaties van bodemgebruik en grondsoort en zo mogelijk grondwatertrap (Fraters et al., 2012) en zijn weergegeven in Tabel 2. Opgemerkt wordt (Fraters et al., 2012) dat dit gemiddelde uitspoelfracties zijn over de periode 1991-2009. Voor melkveebedrijven op zand blijken de uitspoelfracties af te nemen in de tijd, dat waarschijnlijk veroorzaakt wordt door een afname van de beweiding en een toename van het maaipercantage.

Tabel 2

Nitraatuitspoelfractie naar het grondwater voor bouwland (incl. maisland) en grasland opgesplitst naar grondsoort en indien mogelijk naar grondwatertrap gebaseerd op LMM-data 1991-2009 (Fraters et al., 2012).

		grondsoort												
		veen	klei				zand							
	grondwatertrap	all	all	VIII	VII	VI	V*	V	IV	III*	III	II*	II	I
bouwland	-	0.34	0.9	0.75	0.59	0.43	0.45	0.39	0.28	0.07	0.05	0.05	0.05	0.05
grasland	0.05	0.11	0.44	0.37	0.29	0.21	0.22	0.19	0.14	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02

In tabel 2 is duidelijk te zien dat de uitspoelfracties op grasland lager zijn dan op bouwland. Dit komt vooral door een hogere organische stofgehalte in de bouwvoor en opgeloste organische fracties in de bovengrond waardoor de denitrificatie hoger is en een langere periode van nutriëntenopname door het gewas (hogere efficiëntie).

De nitraatconcentratie wordt bepaald door de uitspoelfractie en de mate van verdunning. De mate van verdunning wordt bepaald door het netto neerslagoverschot dat verschilt per gewas. Zonder verandering van het bouwplan moet verlagen van de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater zich dan ook in belangrijke mate richten op de verlaging van het stikstofbodemoverschot. Aanpassing van grondwatertrap via verdroging/vernassing (grondwaterstandsmanipulatie) zal de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater ook beïnvloeden; hoe natter des te lager de nitraatconcentraties en hoe droger des te hoger de nitraatconcentraties.

Fosfaatuit- en afspoeling

Om de eutrofiëring van het oppervlaktewater terug te dringen in de zoetwatersystemen moet vooral de fosforconcentratie in het oppervlaktewater teruggedrongen worden. Het terugdringen van de fosfaatbelasting vanuit landbouwgronden draagt hiertoe bij, evenals het verder terugdringen van de belasting vanuit puntbronnen (vooral erfafvoeren). Fosfaat wordt sterk in de bodem vastgelegd en is in tegenstelling tot nitraat niet mobiel. Een verhoogde fosfaatuitspoeling vanuit landbouwgronden komt voornamelijk tot stand bij gronden waar de grondwaterstand in contact komt met lagen waarin veel fosfaat is opgeslagen en van een goede ontwatering sprake is. Er zijn vereenvoudigde methoden ontwikkeld om de fosfaatuit- en afspoeling uit landbouwgronden te voorspellen, zoals het metamodel SIMPLE voor toepassing op regionale schaal (Schoumans et al., Subm.; Schoumans et al., 2002) en de PLEASE-methode voor de kwantificering van de perceelsaf- en uitspoeling (Schoumans et al., 2008). Uit beide methoden zijn de belangrijkste parameters te destilleren, dit zijn:

- Fosfaatvoorraad in de bodem, vooral de fractie die makkelijk vrij kan komen
- Grondwatertrap (GHG en GLG; resp. gemiddelde hoogste en laagste grondwaterstand)
- Greppel- en/of slootdiepte of drandiepte
- Fosfaatoverschot op jaarbasis
- Bodemtype
- Gewas
- Kwelaanvoer

Terugdringen van de fosfaatbelasting van het oppervlaktewater kan vooral door de fosfaatvoorraad in de bodem te verlagen (negatief fosfaatoverschot; uitmijnen) en het voorkomen van hoge grondwaterstanden en ondiepe waterafvoer naar greppels en sloten. Het fosfaatoverschot heeft op korte termijn weinig effect, maar op lange termijn bepaalt het fosfaatoverschot de verdere ontwikkeling van de fosfaatvoorraad in de bodem en daarmee de fosfaatuitspoeling. Het fosfaatoverschot moet erop gericht zijn de fosfaatvoorraad in de bodem niet verder te verhogen als daarvoor geen aanleiding is zoals bij een voldoende of hoge fosfaatbodemvruchtbaarheidstoestand.

Stikstofuit- en afspoeling

Naast een verhoogde fosfaatconcentratie kan een verhoogde stikstofbelasting van het oppervlaktewater ook tot eutrofiëring leiden. Dit is vaak het geval in de brakke en zoute watersystemen, omdat stikstof daar limiterend is. De beschrijving van de dynamiek van de verschillende stikstofconcentraties in de bodem is zeer complex en daarmee ook de schatting van de stikstofbelasting van het oppervlaktewater. Meestal worden exportcoëfficiënten gebruikt. Uit het lot van het stikstofoverschot (De Willigen et al., 2003) en de bronnenanalyse van de EMW (Groenendijk et al., in prep.) blijkt dat er onder de huidige omstandigheden een lineair verband bestaat tussen o.a. de stikstofbelasting van het oppervlaktewater en de netto bodembelasting. Dit geldt zowel voor de resultaten op nationale schaal als voor bodem-gewascombinaties. Een vermindering

van de netto belasting van 1 kg N ha⁻¹ j⁻¹ op landbouwgronden leidt op nationale schaal tot een vermindering van de N-uit- en afspoeling van gemiddeld 16% en is verder te differentiëren naar grondsoort, grondgebruik en klassen van grondwatertrappen (Tabel 3). Ook hieruit blijkt dat verlaging van het N-overschot en verandering van de hydrologische situatie (grondwaterklassen) tot een andere uitspoeling kan leiden en daardoor aanknopingspunten geeft voor het reduceren van de N-verliezen naar het oppervlaktewater.

Tabel 3

Percentage stikstofuitspoeling naar het oppervlaktewater van het stikstofoverschot (links) en percentage fosforuitspoeling naar het oppervlaktewater van het fosforoverschot, gebaseerd op berekeningen met STONE2.4 voor de periode 2000-2010 (Groenendijk et al., 2012).

gewas	Grondwater- klassen	grondsoort		
		zand	klei	veen
gras	nat	17%	10%	11%
	matig droog	15%	8%	Opp. te
	droog	8%	8%	klein
bouwland	nat	33%	22%	22%
	matig droog	23%	25%	Opp. te
	droog	14%	23%	klein
maïsland	nat	27%	11%	17%
	matig droog	21%	6%	Opp. te
	droog	10%	7%	klein

gewas	Grondwater- klassen	grondsoort		
		zand	klei	veen
gras	nat	21%	18 — 35%	31 — 43%
	matig droog	6%	6 — 67%	Opp. te
	droog	2%	2 — 13%	klein
bouwland	nat	10%	23%	48%
	matig droog	5%	31%	Opp. te
	droog	2%	15%	klein
maïsland	nat	16%	10%	24%
	matig droog	6%	3%	Opp. te
	droog	2%	2%	klein

2.5 Selectie van aanvullende maatregelen

Onze studie richt zich op de maatregelen die binnen de grondgebonden landbouwbedrijven genomen kunnen worden (blok 1 en 2; Figuur 4).

Bij het selecteren van maatregelen om de nutriëntenuitspoeling naar grond- en oppervlaktewater te verminderen is gebruik gemaakt van gepubliceerde overzichtsstudies en van kennis uit de praktijknetwerken Telen met toekomst en Koeien en Kansen via raadpleging van rapporten en betrokken onderzoekers:

- 1) Rapportage inventarisatie innovatieve maatregelen (Smit et al., 2011).
- 2) Rapportage modelmatige verkenning van maatregelen (Schröder et al., 2011).
- 3) Database KIS-hydrometra met effectiviteit van maatregelen (Os et al., 2009).
- 4) EU COST 869 studie ten aanzien van effectiviteit maatregelen (Schoumans et al., 2011).
- 5) IP-KRW landbouwkundige maatregelen voor zover beschikbaar.
- 6) Praktijknetwerk Telen Met Toekomst (Dam et al., 2006; Dam et al., 2007; Dekker en Brinks, 2009; Dekker en Brinks, 2010; Dekker et al., 2008; Geel en Brinks, 2011).
- 7) Best Practices Bemesting (Haan en Dekker, 2005a; Haan en Dekker, 2005b; Dam en Haan, 2005).
- 8) Praktijknetwerk Koeien en Kansen (Aarts et al., 2008; Oenema, 2011a; Oenema, 2011b; Verloop et al., 2010).
- 9) Kaderrichtlijn Water in de agrarische bedrijfsvoering. Mogelijkheden voor de verbetering van de waterkwaliteit (Anonymus, 2007).

Er is een groot pakket van potentieel interessante maatregelen te benoemen die inhaken op de bronnen, processen, patronen en transportroutes die de nutriëntenuitspoeling bepalen (paragraaf 2.3) en daardoor aanknopingspunten bieden om de waterkwaliteit te verbeteren. Veel maatregelen hebben hetzelfde doel voor ogen en zijn te rubriceren in de volgende categorieën:

- het verlagen van het stikstofoverschot van het perceel,
- het verlagen van het fosfaatoverschot van het perceel,
- verminderen rechtstreekse oppervlakkige perceelafvoer (runoff),
- verlagen van stikstofuitspoeling via watermanagement,
- verlagen van de fosforuitspoeling via water management,
- verlagen van de nutriëntbelasting via aanleg van bufferstroken.

Maatregelen kunnen op verschillende abstractieniveaus uitgewerkt worden. Bijvoorbeeld: het verlagen van stikstofoverschot kan aan de hand van maatregelen op een hoog abstractieniveau beschreven worden zoals verlaging van het overschot, daarbinnen is bijv. een maatregel als efficiëntere toedieningstechnieken te onderscheiden en vervolgens daarbinnen kan je dan echte concrete maatregelen onderscheiden als rijenbemesting of fertigatie. Ook concrete maatregelen kunnen nog nader gedetailleerd worden in hoe ze precies worden toegepast. Getracht is om zo duidelijke mogelijk aan te geven met welke maatregelen 'winst' te halen is. Vaak is dan e.e.a. op een relatief hoog abstractieniveau aangegeven, de verschillende opties zijn dan wel ter ondersteuning in bijlage 1 nader benoemd.

Om de meest perspectiefrijke maatregelen te selecteren zijn die maatregelen geselecteerd waarvan verwacht wordt dat deze in ieder geval lokaal een verbetering van de milieukwaliteit kunnen bewerkstellingen. Daarnaast is met een schuin oog gekeken naar de inpasbaarheid op bedrijfsniveau en toepasbaarheid (areaal). Een echte impact assessment op regionale / nationale schaal heeft niet plaatsgevonden. Feitelijk heeft nog geen weging plaatsgevonden van maatregelen met kleine effecten die op grote schaal toepasbaar zijn en groot draagvlak hebben en maatregelen die een groot effect hebben, maar die beperkt inzetbaar zijn of in de praktijk weinig zullen worden toegepast / draagvlak hebben. Aan controleerbaarheid/handhaafbaarheid en afwentelingseffecten is wel aandacht besteed bij de beschrijving van de maatregelen, maar heeft nagenoeg geen rol gespeeld bij de selectie van maatregelen.

2.6 Beschrijving van maatregelen

Van de uiteindelijk in deze studie geselecteerde prioritaire maatregelen zijn factsheets gemaakt. In een factsheet wordt telkens informatie gegeven over het doel van de maatregel, de wijze van werking, toepassingsgebied, mate van effectiviteit, indicatie van kosten en neveneffecten (afwenteling). Deze factsheets zijn opgenomen in bijlage 2.

3 Overzicht van maatregelen

3.1 Melkveehouderij

Selectie en indeling van maatregelen

Voor melkveehouderijbedrijven zijn maatregelen geselecteerd, waarvan op proefboerderij De Marke en op Koeien & Kansen-bedrijven is aangetoond dat deze effectief zijn. De maatregelen zijn gerangschikt onder twee hoofddoelen (Tabel 4):

1. verlaging van het N-bodemoverschot,
2. verlaging van het P-bodemoverschot.

Tabel 4 geeft een overzicht van belangrijke maatregelen om het stikstofoverschot terug te dringen, en daarmee de stikstofemissies naar grond- en oppervlaktewater te verlagen. Deze maatregelen staan in detail beschreven in factsheets in bijlage 2A, en bestaan veelal uit een clustering van individuele maatregelen welke zijn beschreven in bijlage 1A.

De maatregel 'Mineralenmanagement' is overkoepelend aan alle maatregelen en bekijkt de onderlinge samenhang om tot optimale keuzes te komen. De andere maatregelen zijn gericht op een efficiëntere bemesting (mestscheiding, beperking van verliezen bij beweiding en efficiëntere bemesting) op een betere benutting van de N die vrijkomt bij mineralisatie, en op verhoging van de productiviteit van de veestapel waardoor ook meer wordt geproduceerd per eenheid stikstof en fosfaat (zoals hogere melkproductie, minder jongvee en verbetering rantsoensamenstelling).

Verlaging van het P-bodemoverschot om emissies van P te verminderen kan bereikt worden door de aanwezige P optimaal te benutten. Dit kan via rijenbemesting, en de gewasbeschikbaarheid van P kan verhoogd worden via gewasrotatie. Daarnaast moet het aantal percelen met hoge P-toestand beperkt worden, waarbij mestscheiding kan helpen om P beter over de eigen percelen te verdelen.

Tabel 4

Maatregelen voor de melkveehouderij met een inschatting van hun effect op terugdringen van het stikstofoverschot op korte en lange termijn. Aangegeven is op welk bedrijfs onderdeel deze inschatting betrekking heeft (hele bedrijf, grasland of mais/bouwland), op welke grondsoort en welk areaal de maatregel van toepassing is en welke maatregelen uit bijlage 1A onder de benoemde maatregel vallen.

Maatregel	% reductie N-overschot		Bedrijfs-onderdeel	Grond-soort	Maatregelen Bijlage 1A (nrs.)
	korte termijn	lange termijn			
1. Mineralenmanagement	0-15%	10-50%	hele bedrijf	alle	alle
2. Mestscheiding	0-10%	0-10%	hele bedrijf	alle	2
3. Betere benutting van N uit mineralisatie	0-5%	5-25%	gras en mais	alle ¹	7,8,9,10
4. Beperking van verliezen bij beweiding	0-20%	10-50%	gras	alle	4,5
5. Efficiëntere bemesting	0-5%	5-10%	gras	alle ¹	1,6
	0-10%	10-20%	mais		
6. Verhoging productiviteit veestapel	0-5%	0-5%	hele bedrijf	alle	11,12

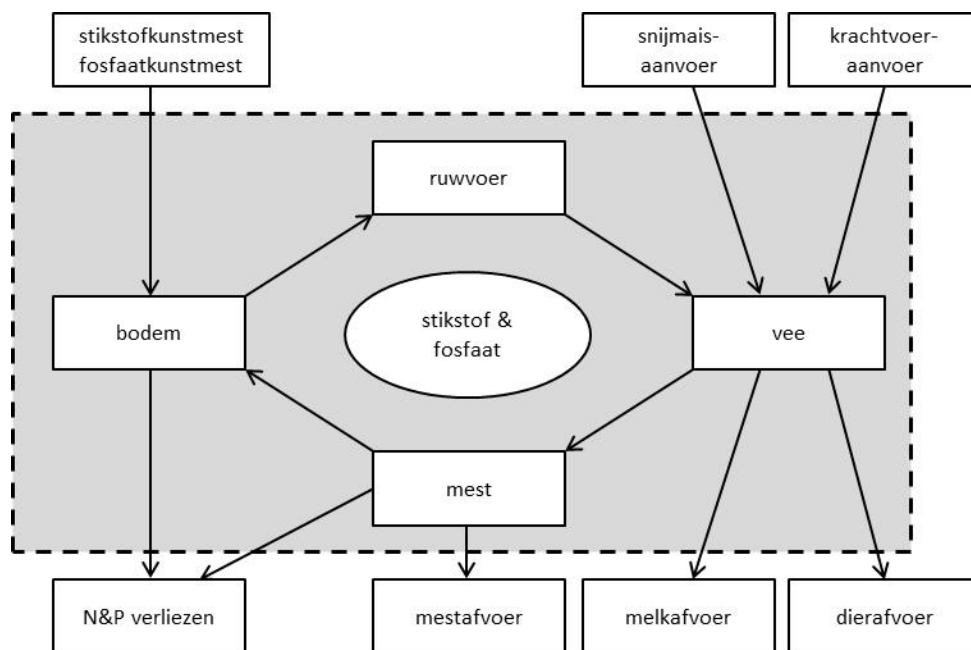
¹ Alle grondsoorten, maar met minder effect op klei en veen waar minder mais wordt verbouwd dan op zandgrond

Kwantificering effecten

De effectiviteit van maatregelen is geschat op basis van informatie over de huidige praktijk (Aarts et al., 2008), Koeien & Kansen-bedrijven (persoonlijke mededeling Jouke Oenema, Plant Research International) en De Marke (persoonlijke mededeling Koos Verloop, Plant Research International). Hierbij zijn de resultaten van de Koeien & Kansen-bedrijven gebruikt voor de inschatting van wat op korte termijn realiseerbaar is, en die van De Marke voor wat op langere termijn haalbaar is.

Maatregelen binnen de melkveehouderij zijn onderling sterk verweven vanwege de nutriëntenstromen via mest, bodem, ruwvoer en vee (Figuur 6). Verandering van één aspect binnen het bedrijf kan daardoor gevolgen hebben elders in het bedrijf. Dit betekent dat de effectiviteit van losse maatregelen niet zomaar opgeteld kan worden. In het systeemkundig onderzoek op de Marke en via analyses van Koeien & Kansen bedrijven is de effectiviteit van pakketten aan maatregelen onderzocht. In tabel 4 is deze effectiviteit beschreven onder mineralenmanagement.

Op de Marke wordt voor verlaging van het N-bodemoverschot het merendeel van de in tabel 4 en bijlage 1A genoemde maatregelen toegepast. Het stikstofoverschot op de Marke bedraagt ongeveer 80 kg N ha⁻¹. Vergeleken met een overschot van 163 kg N ha⁻¹ voor praktijkbedrijven op droog zand (Aarts et al., 2008) betekent dit een verlaging van het N-overschot met 50%. Het wisselbouwsysteem zoals op De Marke wordt toegepast met twee tot drie jaar gras, twee jaar snijmaïs en één jaar graan draagt in belangrijke mate bij aan de verlaging van het overschot (gerangschikt onder maatregel 3: Betere benutting van N uit mineralisatie). De Koeien & Kansen-bedrijven passen ongeveer de helft van de in bijlage 1A genoemde maatregelen voor verlaging van het N-bodemoverschot toe. Het N-overschot op Koeien & Kansen-bedrijven bedraagt ongeveer 205 kg ha⁻¹ en is daarmee vergelijkbaar met het landelijk gemiddelde gebaseerd op cijfers van het BIN (Oenema, 2011c). Echter, de Koeien & Kansen-bedrijven hebben een hogere efficiëntie; ze hebben een veel hogere output. De gemiddelde melkproductie is 22.500 kg ha⁻¹ tegen 13.500 kg ha⁻¹ voor het landelijk gemiddelde in 2009. Een hogere intensiteit gaat veelal gepaard met een hoger N-overschot, maar de Koeien & Kansen-bedrijven weten dit te beperken door een hogere stikstofbenutting: 38% vs. 27% voor het landelijk gemiddelde (Oenema, 2011b). Deze hogere stikstofbenutting is een maat voor de effectiviteit van maatregelen, en kan vertaald worden in een 15% lager N-bodemoverschot. Het verschil wordt voor een belangrijk deel bepaald door een hogere drogestofopbrengst van gras en maïs op de Koeien & Kansen-bedrijven.



Figuur 6

Vereenvoudigde weergave van de stikstof en fosfaatstromen op melkveehouderijbedrijven. De gestippelde lijn geeft de bedrijfsgrens aan. De aanvoerposten staan boven, de afvoerposten van stikstof en fosfaat, inclusief verliezen, staan onder. De pijlen geven stromen van stikstof en fosfaat weer.

Het P-bodemoverschot van praktijkbedrijven was in 2006 gemiddeld voor Nederland ruim 8 kg ha⁻¹ (Aarts et al., 2008). Resultaten van de Marke laten zien dat dit door toepassing van een combinatie van maatregelen kan dalen naar een overschot van 0 kg ha⁻¹ (dus een reductie van 100%). Na zeventienjaar evenwichtsbemesting (aanvoer met bemesting is gelijk aan afvoer met oogstproducten) is er geen significant effect op de opbrengst van gras en snijmais merkbaar. Wel daalde de fosfaattoestand op percelen met een hoge uitgangstoestand, en bleef de fosfaattoestand stabiel op percelen met een relatief lage fosfaattoestand (Verloop et al., 2010). Bij voortgezette evenwichtsbemesting, is de verwachting voor De Marke dat het Pw-getal op bouwland stabiliseert rond de 20 (laag), en het P-AL-getal op grasland rond de 30 à 40 (neutraal)

Maatregelen om beschikbare P beter te benutten bestaan uit rijenbemesting met drijfmest bij maïs, en een betere verdeling van P over de eigen percelen gebaseerd op de P-toestand van de bodem. Daarnaast geeft vruchtwisseling een hogere beschikbaarheid van P doordat geïmmobiliseerde P na scheuren van grasland weer vrijkomt. N-verliezen bij scheuren van grasland kunnen beperkt worden door toepassing van het wisselbouwsysteem zoals op De Marke wordt toegepast.

Belasting van het oppervlaktewater kan niet alleen verminderd worden via verlaging van het N- en P-bodemoverschot, maar ook via maatregelen die de oppervlakkige af- en uitspoeling beperken. Specifiek voor de melkveehouderij kan inzaai van gras op de kopakker van bouwland genoemd worden. Daarnaast komt oppervlakkige afspoeling het meest voor op percelen met een verdichte bodem, waardoor plasvorming optreedt (natte plekken). Op melkveebedrijven kunnen deze percelen beter gebruikt worden voor grasland dan voor bouwland omdat gras minder problemen heeft met wateroverlast dan maïs. Maatregelen ter vermindering van oppervlakkige afspoeling worden beschreven in hoofdstuk 3.3.

Toepassing van combinaties van maatregelen

Voor het daadwerkelijk bereiken van een vermindering van de nitraatbelasting van het grondwater is vaak een combinatie van maatregelen nodig. Zo geeft onderzaai van een groenbemester in maïs in vergelijking met zaai na de maïsogst een betere ontwikkeling van de groenbemester en een hogere N-opname in het najaar. Deze maatregel is echter vooral effectief wanneer in het volgende jaar de bemesting aan het volggewas gereduceerd wordt en de nawerking uit de groenbemester echt benut wordt. Mestscheiding kan een effectieve methode zijn om zo min mogelijk mest van het bedrijf af te voeren en geeft dan vooral een economisch voordeel. Voor vermindering van de belasting van grond- en oppervlaktewater met N en P heeft mestscheiding vooral nut als de dikke en dunne fractie dusdanig wordt ingezet dat N efficiënter gebruikt wordt, en ophoping van P op specifieke percelen voorkomen wordt. N kan binnen het melkveebedrijf efficiënter benut worden door grasland met de dunne fractie te bemesten, en maïs met de dikke fractie, waarbij via onderzaai van de groenbemester de verhoogde mineralisatie opgevangen kan worden. Een combinatie van maatregelen is ook te vinden in het wisselbouwsysteem met twee tot drie jaar gras, twee jaar maïs en één jaar graan zoals wordt toegepast op De Marke (Verloop en Rensen, 2005). In dit systeem is de N-opbouw in de graszode beperkt, en wordt N uit mineralisatie na scheuren van grasland optimaal benut door maïs niet (eerste jaar) of nauwelijks (tweede jaar) te bemesten. Na het graan kan de nieuwe graszode tijdig worden ingezaaid voor een goede overgang naar de grasfase. De mate van toepassing van het wisselbouwsysteem op bedrijven is afhankelijk van het areaal maïs. Op derogatiebedrijven met maximaal 30% van het areaal maïs zal toepassing van wisselbouw ten hoogste op 60% van het bedrijfsareaal mogelijk zijn.

Afwenteling en effectiviteit van maatregelen op bedrijfsniveau

Toepassing van de maatregelen zoals genoemd in tabel 4 en bijlage 1A ter verlaging van het bodemoverschot van N en P geven weinig afwenteling op andere milieucompartmenten. In de factsheets in bijlage 2A is afwenteling per maatregel beschreven. Belangrijkste punten zijn dat de ammoniakemissie kan iets toenemen bij verhoging van het gebruik van N uit dierlijke mest op het melkveebedrijf door mestscheiding (en afvoer van de P-rijke dikke fractie) of door berekening van de bedrijfsspecifieke excretie. Gebruik van herbiciden neemt toe bij vaker scheuren van grasland (wisselbouw) of maisteelt in stroken. Stalvoeding in plaats van beweiding leidt tot een hoger energieverbruik, een verhoging van de methaanemissies maar een daling van de lachgasemissies. Het netto effect op broeikasgasemissies is niet gekwantificeerd. Tenslotte vragen maatregelen als mestopslag en precisiebemesting om investeringen met effect op het financiële resultaat.

Naast afwenteling spelen terugkoppelingen op bedrijfsniveau een belangrijke rol bij de uiteindelijke effectiviteit van maatregelen. Handelingen binnen de melkveehouderij zijn sterk verweven met de bedrijfsvoering als geheel en verandering van één aspect binnen het bedrijf kan daardoor gevolgen hebben elders in het bedrijf. Binnen een melkveebedrijf is er sprake van een kringloop van nutriënten via bodem → gewas → vee → mest → bodem enz. (Figuur 6). Over de bedrijfsgrenzen heen worden nutriënten geïmporteerd in de vorm van veevoer en kunstmest. Daarenboven komt er stikstof binnen via depositie uit de lucht en door stikstofbinding. Nutriënten worden geëxporteerd via afvoer van melk, vlees en mest, en verlaten ook het bedrijf via gasvormige verliezen (N) en uit- en afspoeling.

Belangrijke sturende en regulerende factoren binnen de melkveehouderij zijn momenteel vooral:

- Het financiële resultaat.
- De stikstofgebruiksnorm.
- De fosfaatgebruiksnorm.
- De gebruiksnorm voor dierlijke mest.
- Mestproductie in relatie tot gebruiksnormen (noodzaak mest af te voeren vanuit N of P oogpunt).

De stikstofgebruiksnorm is gegeven per gewas als werkzame N. Daarnaast geldt er ook voor stikstof uit dierlijke mest een specifieke gebruiksnorm van maximaal 170 kg N ha⁻¹, of 250 kg N ha⁻¹ voor rundveebedrijven met meer dan 70% grasland en die zich hebben aangemeld voor derogatie. Daarnaast

verschillen de gebruiksnormen tussen grasland met beweiden en grasland met volledig maaien. Bij de maatregel 'vee permanent opstallen' (onderdeel van maatregel 4 uit tabel 4) wordt verlaging van het N-overschot daardoor deels ongedaan gemaakt door verhoging van de N-aanvoer. De hoogte van de fosfaatgebruiksnorm (totale hoeveelheid fosfaat via kunstmest en dierlijke mest) is afhankelijk van de fosfaattoestand van de percelen.

Op veel melkveebedrijven wordt in de praktijk de toegestane gebruiksruimte volledig benut, en is afvoer van een deel van de geproduceerde mest nodig. Door de recente aanscherping van de P-gebruiksnormen op bouwland (maïsland) en op grasland met een hoge P-toestand wordt de noodzaak tot mestafvoer vaker door P bepaald dan door N.

Wanneer onbewerkte mest wordt afgevoerd op basis van teveel N in de mest dan wordt er relatief teveel P afgevoerd en blijft er gebruiksruimte over binnen het bedrijf voor aanvoer van P-kunstmest. Afhankelijk van de P-toestand van de bodem zal de veehouder deze ruimte al dan niet benutten. Wanneer onbewerkte mest wordt afgevoerd op basis van teveel P in de mest ontstaat er meer gebruiksruimte voor kunstmest-N. Deze ruimte wordt veelal volledig opgevuld en vooral gebruikt voor bemesting van grasland. Via mestscheiding kan de hoeveelheid af te voeren mest geminimaliseerd worden wat bijdraagt aan het financiële resultaat.

Voor veel bedrijven vergt het tijd en kennis om het N- en P-bodemoverschot te verlagen naar het niveau van De Marke, en/of de efficiëntie te realiseren van de Koeien & Kansen bedrijven. Wanneer bedrijven bij gelijkblijvende melkproductie efficiënter met N omgaan, zal het N-overschot (in kg/ha) en de nitraatuitspoeling dalen. Wanneer bedrijven echter intensiever worden met een hogere melkproductie per ha, dan is tevens verhoging van de N-efficiëntie nodig om het N-overschot en de nitraatuitspoeling niet te laten toenemen. Naast een leereffect zal de snelheid van adoptie afhangen van de grootte van prikkels om daadwerkelijk efficiënter met N om te gaan, de output te verhogen en het bodemoverschot te verlagen. Implementatie van genoemde maatregelen zal het eenvoudigst en snelst gaan als een efficiëntere N-benutting samen gaat met economische voordelen. Deze mogelijkheden worden onderzocht via het netwerk van De Marke en Koeien & Kansen. Kennis en goede tools zijn hierbij essentieel. Voor goed mineralenmanagement kan de ontwikkeling van de Kringloopwijzer bijdragen (zie Bijlage 2A, factsheet 1), vooral als een laag overschot en hoge efficiëntie wordt beloond met een hogere melkprijs (en een hoog overschot en lage efficiëntie wordt ontmoedigd met een lagere melkprijs), en/of een hogere vergoeding uit de middelen van het gemeenschappelijk landbouwbeleid.

Conclusies

De aanvullende maatregelen voor de melkveehouderij zijn vooral inzetbaar op zandgrond. Er wordt verwacht dat de N-overschotten met 10-50% gereduceerd kunnen worden en het fosfaatoverschot met 0-100%, afhankelijk van de bedrijfssituatie. De voorgestelde maatregelen sluiten aan bij de filosofie van de gangbare melkveehouderijbedrijven, namelijk verlaging van de voerkosten door verhoging van de eigen ruwvoeropbrengst (en de benutting daarvan), verhoging van de melkproductie per koe, en vermindering van de (kosten van) mestafzet. De volgende maatregelen om de N- en P-overschotten te minimaliseren bieden perspectief:

- Verhoging van de productie en verbetering van de benutting van voer van eigen grasland en maïsland.
- Wisselbouw (2-3 jaar gras, 2 jaar maïs en 1 jaar graan) waarbij maïs niet of nauwelijks bemest wordt na scheuren van gras.
- Onderzaai groenbemester in maïs in combinatie met korting op de bemesting van het perceel het volgende jaar.
- Mestscheiding in een stikstofrijke dunne fractie en fosfaatrijke dikke fractie biedt mogelijkheden om de N en P uit de mest efficiënter te benutten op grasland en maïsland, rekening houdend met de fosfaattoestand van de percelen binnen het bedrijf.

3.2 Akker- en tuinbouw

Selectie en indeling van maatregelen

In Tabel 5 zijn de maatregelen opgenomen die voor de akker- en tuinbouw als veelbelovend zijn aangemerkt om nutriëntenemissies naar grond- en oppervlaktewater te beperken. De maatregelen staan uitgebreid beschreven in factsheets in bijlage 2. De maatregelen genoemd in Tabel 5 zijn afgeleid uit bijlage 1B. Hierbij zijn een aantal detailmaatregelen samengevat in één maatregel omdat de specifieke maatregelen een beperkte reikwijdte hebben (toepasbaar in enkele gewassen of op beperkt areaal) en in combinatie een groter effect hebben. Een effectief maatregelenpakket moet worden samengesteld afhankelijk van o.a. geteelde gewassen, grondsoort en bedrijfskenmerken. Enkele detailmaatregelen waarvan we relatief veel effect op de grond- en oppervlaktewaterkwaliteit verwachten, zoals gebruik van stikstofvanggewassen, zijn er specifiek uitgelicht. De maatregelen in bijlage 1B zijn afgeleid uit ervaringen in verschillende projecten uit de afgelopen tien jaar zoals Telen met toekomst (Dam et al., 2006; Geel en Brinks, 2011), Nutriënten Waterproof (Haan et al., 2010), Best practices bemesting (Dam en Haan, 2005; Dam et al., 2005; Haan en Dekker, 2005a; Haan en Dekker, 2005b), Monitoring verspreiding innovaties (Smit et al., 2011) en Teelt de grond uit (Dijk en Haan, 2010; Haan et al., 2010). De effecten van de maatregelen op vermindering van emissies onderverdeeld naar verlaging van N- en P-overschot en beperking van de oppervlakkige afspoeling staan in figuur 7. Daarnaast is in figuur 7 aangegeven wat de strategische maatregelen zijn die vooraf in de planning genomen moeten worden en wat de operationele maatregelen zijn die tijdens het groeiseizoen genomen kunnen worden. De strategische maatregelen hebben effect op zowel verlaging van het N- en P-overschot als op de oppervlakkige afspoeling. De operationele maatregelen hebben niet op alle aspecten effect.

Tabel 5

Belangrijke maatregelen voor de akker- en tuinbouw om stikstof- en fosfaatemissies naar grond- en oppervlaktewater te beperken met een inschatting van hun effect op bedrijfsniveau op het overschot op korte termijn en het verwachte maximale effect op lange termijn. Er is ook aangegeven in welke sectoren, op welke grondsoorten, op welk areaal de maatregel van toepassing is en welke maatregelen uit de bijlage 1B onder de benoemde maatregel valt.

Maatregel	% reductie overschot korte termijn	% maximum reductie overschot	Sectoren	Grond- soort**	Areaal (ha)	Maatregelen Bijlage 1B (nrs)
Bedrijfsmanagement						
1. Aangepaste vruchtwisseling en rassenkeuze	N 5-10% P 5-10%	N 7-35% P 5-20%	Alle	Alle	800 000	1-4
2. Beter bodembeheer	N 0-5% P 0-5%	N 0-20% P 0-20%	Alle	Alle	800 000	19-23
3. Betere bemestingsplanning	N 0-10% P 0-100%	N 5-20% P 20-100%	Alle	Alle	800 000	5-16, 18
Gewas- en perceelsmanagement						
4. Meer gebruik van stikstofvanggewassen en groenbemesters	N 0-5% P 0%	N 5-10% P 0%	Alle	Alle	100 000	1
5. Afvoeren van stikstofrijke gewasresten	*	N 0-5% P 0-5%	Akkerbouw, vollegrondsgroenten	Zand	30 000	17
Alternatieve teeltsystemen						
6. Teelt de grond uit	*	N >70% P ?	Tuinbouw	Alle	20 000	24

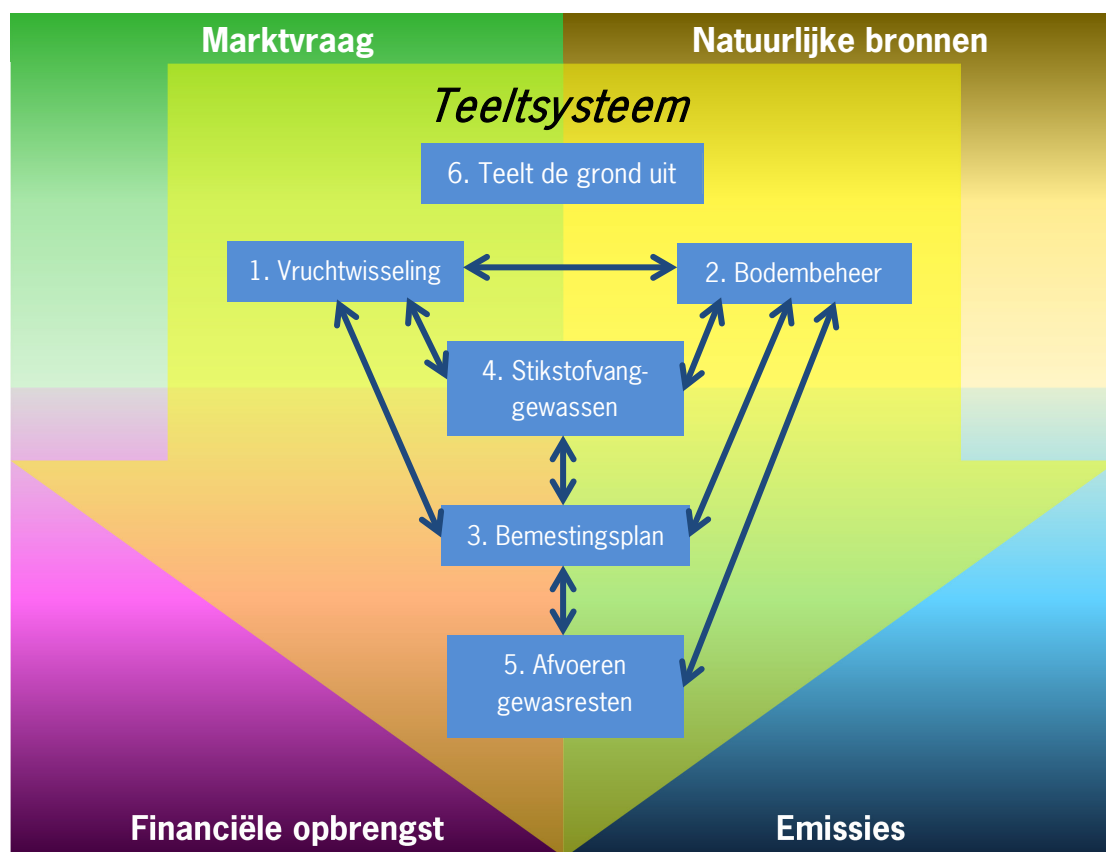
* Op korte termijn wordt geen implementatie van de maatregel in de praktijk verwacht op enige schaal

** Akkerbouw is van beperkt belang op veengronden, deze is niet beschouwd bij het beoordelen van de maatregelen

	Vermindering P-overschot	Vermindering N-overschot	Vermindering oppervlakkige afspoeling
Strategisch (bedrijf)	6. Teelt de grond uit		
↓	1. Vruchtwisseling/rassenkeuze		
	2. Beter bodembeheer		
	3. Betere bemestingsplanning		
Operationeel (perceel)	4. Stikstofvanggewassen		
	5. Afvoeren gewasresten		

Figuur 7

Werking van de maatregelen op de subdoelen en plaats binnen de bedrijfsvoering.



Figuur 8

Samenhang tussen de verschillende maatregelen versimpeld tot de zaken die te maken hebben met nutriëntenemissies. Marktvraag en beschikbaarheid van natuurlijke bronnen zijn de randvoorwaarden voor het teeltsysteem. In het teeltsysteem (de gele pijl in de figuur) worden maatregelen genomen die leiden tot een bepaald financieel resultaat en een bepaalde hoeveelheid emissies van stikstof en fosfaat naar grond- en oppervlaktewater. Binnen het teeltsysteem is de samenhang gegeven van de maatregelen zoals in tabel 5 vermeld.

Maatregelen voor de akker- en tuinbouw kunnen ingedeeld worden naar bedrijfs- en perceelsniveau (zoals ook aangegeven in paragraaf 2.3 en Figuur 1), en kennen een samenhang met elkaar zoals weergegeven in figuur 8. In deze figuur is de samenhang versimpeld tot de zaken die te maken hebben met nutriëntenemissies en zijn de randvoorwaarden en resultanten vermeld. De marktvraag en de beschikbaarheid van natuurlijke bronnen zijn de randvoorwaarden voor het teeltsysteem. In het teeltsysteem (de gele pijl in de figuur) worden maatregelen genomen die leiden tot een bepaalde financiële opbrengst en een bepaalde hoeveelheid emissies van stikstof en fosfaat naar grond- en oppervlaktewater. Binnen het teeltsysteem is de samenhang gegeven van de maatregelen zoals in tabel 5 vermeld. Maatregelen op bedrijfsniveau zijn vooral de planning, analyse en evaluatie. Dit start met de vruchtwisseling waarin de gewassen- en rassenkeuze en volgorde van gewassen aan de orde komen en een bodembeheerplan. Hieruit volgt vervolgens een bemestingsplan op bedrijfsniveau.

Het opstellen van de plannen is een cyclisch proces waarin telkens gekeken moet worden in hoeverre aan de doelstellingen van de bedrijfsvoering (bijvoorbeeld voldoende opbrengst) en de (wettelijke) randvoorwaarden (bijvoorbeeld voldoen aan de mestwetgeving) voldaan wordt (De Haan en Garcia-Diaz, 2002). In de plannen wordt gezorgd voor voldoende handvatten en ruimte om in te spelen op de specifieke omstandigheden die optreden tijdens het groeiseizoen. Dit zijn dan de maatregelen op perceelsniveau. De planningsmaatregelen omvatten vooral Best Management Practices die telers zonder extra middelen zelf kunnen uitvoeren.

Er zijn enkele maatregelen die lastig inpasbaar zijn of nog relatief nieuw zijn. Van de maatregelen op perceelsniveau zijn er twee aangemerkt als zeer effectief (zie bijlage 1B). Het gaat hierbij om het telen van een stikstofvanggewas en het afvoeren van stikstofrijke gewasresten. Het telen van een stikstofvanggewas is een Best Management Practice. Het afvoeren van gewasresten is een bovenwettelijke maatregel. Teelt de grond uit is een buitenbeentje binnen de geselecteerde maatregelen. Met teelt de grond uit maakt een teler een rigoureuze keuze voor een heel ander teeltsysteem, los van de ondergrond waarmee het productieproces en de emissieroutes een andere vorm krijgen. De maatregel is nog in onderzoek.

De bovengenoemde maatregelen hebben geen of een beperkt negatief effect op emissies naar de lucht (zie ook bijlage 1B). Enkele maatregelen kunnen ook positieve effecten hebben zoals binnen duurzaam bodembeheer ondiep ploegen of niet-kerende grondbewerking. Enkele maatregelen zoals het telen van een groenbemester of het delen van stikstofgiften kosten meer bewerkingen en daarmee meer energie en CO₂-uitstoot. De verwachte effecten hiervan zijn beperkt.

Kwantificering effecten

Strategische planning: aangepaste vruchtwisseling en rassenkeuze

Een goede strategische planning 'hoe de teelt uit te voeren' is van groot belang om emissies te beperken. Hierbij gaat het in eerste instantie om de keuze van gewassen en rassen en om de volgorde waarin deze geteeld worden (De Haan en Garcia-Diaz, 2002). De keuze van gewassen en rassen wordt in de praktijk vooral door andere redenen bepaald dan emissiebeperking. Belangrijk hierin zijn de financiële opbrengst, marktperspectief en resistenties tegen ziekten en plagen. Het meenemen van emissiebeperking in het vormgeven van de vruchtwisseling en de rassenkeuze kan leiden tot een verandering van de financiële opbrengst, waarbij in een aantal gevallen sprake kan zijn van opbrengstderving.

Concrete detailmaatregelen op het gebied van vruchtwisseling en rassenkeuze die emissies beperken zijn:

- keuze voor gewassen die weinig stikstof achterlaten in de bodem: bijvoorbeeld teelt van granen en gras en/of rotatie samen met veehouderijbedrijven,
- keuze voor rassen met een hoge opbrengst en afvoer of een lage N-behoefte of rassen die weinig stikstof achterlaten in de bodem (hoog opbrengende rassen; rasverschillen in N-behoefte bij aardappelen),
- de afwisseling van diep en ondiep wortelende gewassen (vooral effectief op lössgronden), zoals de afwisseling van aardappel (ondiep wortelend) met granen en suikerbieten (diepwortelend).

Neveneffecten van bovenstaande maatregelen zijn een hogere organische stofaanvoer (met groenbemesters en granen) en een betere bodemstructuur (groenbemesters, organische stofaanvoer en minder berijding onder slechte omstandigheden).

Bij de drie genoemde detailmaatregelen is de teelt van granen dan vanuit het beperken van emissies een goede optie. Uit modelstudies blijkt dat via deze aanpassingen van het bouwplan het stikstofoverschot met 4 tot 19 kg/ha verlaagd kan worden, maar omdat granen financieel veel minder opleveren dan groenten of aardappelen, zullen deze gewassen daarom naar verwachting beperkt worden geteeld (Van Dijk et al., in prep).

In het project Telen met toekomst bleek dat het vervangen van de boon in de dubbelteelt erwt-boon door een groenbemester de uitspoeling drastisch reduceerde (Smit et al., 2005). In het project Nutriënten Waterproof bleek de uitspoeling hoog te zijn in een gangbare vruchtwisseling met voornamelijk gewassen die veel stikstof na laten en die laat geoogst worden. Daarnaast waren de mogelijkheden voor het verder beperken van de uitspoeling beperkt zonder iets aan de vruchtwisseling te doen (De Haan et al., 2010). De gemeten nitraatuitspoeling was in het biologische systeem aanzienlijk lager dan in het gangbare systeem (40 mg per liter ten opzichte van 100-120 mg nitraat per liter). Het biologische bouwplan bevatte een lager aandeel uitspoelingsgevoelige gewassen en meer (meerjarige) gewassen met een lange stikstofopnameperiode. Ook was er in de rotatie meer ruimte aanwezig voor tijdig gezaaide groenbemesters. Opvallend was dat het stikstofoverschot (inclusief biologische binding) van de systemen wel redelijk vergelijkbaar was, wat volgens de modellen zou leiden tot een vergelijkbare uitspoeling tussen beide systemen.

In veldonderzoek op proefboerderij Wijnandsrade naar de vermindering van de nitraatuitspoeling op lössgronden (Dekker et al., 2003) zijn rotaties met elkaar vergeleken, onder andere aardappel-wintertarwe-suikerbiet, aardappel-snijmaïs-suikerbiet en continue teelt van snijmaïs. Bij de rotaties met snijmaïs werd een hogere nitraatuitspoeling gemeten dan bij de rotatie zonder snijmaïs. Verder kwam naar voren dat als na de aardappelen een diep wortelend gewas als wintertarwe werd geteeld, deze in staat was stikstof uit diepere bodemlagen (100-150 cm) op te nemen. Bij snijmaïs na aardappelen was dit niet het geval. Dit betekent dat wintertarwe een deel van de door de aardappel achtergelaten stikstof kan benutten in het daaropvolgende groeiseizoen. Voorwaarde is wel dat het gewas in staat is diep te wortelen, zoals dat op lössgrond het geval is, en dat bodemvocht en daarmee de stikstof in het winterseizoen niet versneld wordt afgevoerd via drains.

Teeltvervroeging via bijvoorbeeld het telen van vroege rassen verhoogt de ontwikkelingsmogelijkheden van een vanggewas. In een recent uitgevoerde studie zijn de effecten hiervan onderzocht voor consumptieaardappelen en snijmaïs in het zuidoostelijk zandgebied (Verhoeven et al., 2011). Hieruit kwam naar voren dat het telen van een vroeg snijmaïsras de uitspoeling verlaagde met 4 mg per liter in vergelijking met een situatie waarin een later ras werd geteeld. Bij aardappelen is dat effect minder sterk omdat vroege rassen vaak een hogere N-behoefte hebben.

Strategische planning: beter bodembeheer

De gewaskeuze en vruchtwisseling moet mede afgestemd worden op de grond waarop geteeld wordt. Integraal bodembeheer is hierbij belangrijk. De aandacht voor integraal bodembeheer is de laatste jaren groeiende. Waar in het verleden de chemische, fysische en biologische kant vaak los van elkaar beschouwd werden, is in de laatste jaren het beeld ontstaan dat bodembeheer integraal uitgevoerd moet worden om enerzijds tot goede opbrengsten te komen en anderzijds tot beperking van emissies te komen (Berge and Postma, 2010; Haan et al., 2010). Belangrijke sturende handelingen binnen beter bodembeheer zijn grondbewerking en organisch stofbeheer naast vruchtwisseling dat hierboven al beschreven is. Voor het beperken van stikstofuitspoeling naar het grondwater is het van belang om een bodem met goede groeiomstandigheden voor het gewas te creëren: hierbij gaat het om een goede beworteling, geen storende lagen, en voldoende vochthoudend vermogen. Voor het beperken van oppervlakkige afspoeling is van belang dat de bodem een goede structuur heeft met een goede infiltratiecapaciteit. Een goed bodembeheer zorgt ook voor een hogere koolstofopslag in de bodem en minder broeikasgasemissies.

Het is echter lastig om dit ook goed te staven met onderzoeksgegevens, mede omdat de effecten pas op langere termijn zichtbaar worden. Veel onderzoek op dit gebied loopt nu in Nederland. Zie voor overzichten hierover o.a. (Boonekamp, 2012; Haan et al., 2011a; Talsma en Kooiman, 2012). Van de meeste projecten is de periode nog te kort om gedegen uitspraken te doen op effecten van emissievermindering. Van oudere projecten en buitenlandse resultaten zijn effecten wisselend afhankelijk van de precieze invulling van maatregelen en de locatie specifieke omstandigheden (grondsoort, klimaat). Uit een review rond no-till landbouw in West-Europa blijkt bijvoorbeeld dat de effecten van grondbewerkingsstrategieën op nutriëntenverliezen wisselend zijn (Soane et al., 2011). In het project Nutriënten Waterproof blijkt dat geen aanvoer van organische stof tot lagere nutriëntenconcentraties in het grondwater leidt, maar dat ook de opbrengsten na enkele jaren een dalende tendens laten zien (Haan et al., 2010).

De effecten van een beter bodembeheer schatten we daarom voor de korte termijn laag in op 0-5% vermindering van het overschot. Uitgaande van de verwachte positieve effecten van de maatregelen zou dit op termijn tot 20% effect kunnen oplopen. Dit is een gemiddelde voor Nederland. Wanneer ingezoomd wordt op de slechte percelen met bijvoorbeeld een laag organische stofgehalte en/of een slechte structuur kan het effect veel groter zijn.

Strategische planning: betere bemestingsplanning

Vruchtwisseling en bodembeheer zijn vervolgens de basis voor het bemestingsplan. In het bemestingsplan wordt tot in detail uitgewerkt hoeveel van welke meststoffen op welke tijdstippen op welke wijze wordt toegediend. Dit is in verschillende methoden uitgewerkt. In Nederland ligt de basis in de adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen (Dijk en Geel, 2012). Dit is door verschillende partijen in meer detail uitgewerkt in Nederland (De Haan, 2002; Kroonen-Backbier en Haan, 2005; Kroonen-Backbier en Haan, 2006; Postma et al., 2012). Internationale uitwerking is gebeurd in het 4R Nutrient Stewardship right fertilizer source, at the right rate, at the right time, with the right placement (Bruulsema et al., 2009).

In principe gaat het hier vooral om het toepassen van Goede Landbouw Praktijk. Het toepassen van de beschikbare kennis in de praktijk. Veel telers blijken dit niet of maar gedeeltelijk te doen (Geel en Brinks, 2011). Hier is dus al winst te boeken. Met verdergaande maatregelen dan GLP als het toepassen van precisielandbouw kan meer winst worden geboekt. Bemestingsplanning vindt vooral plaats op perceelschaal. Met de ontwikkeling van plaats-specifieke bemesting met gebruik van o.a. GPS kan ook de mestgift binnen het perceel gevarieerd worden. Dit kan verder bijdragen aan een verhoging van de efficiëntie van de bemesting.

Het afstemmen van de giften op de gewasbehoefte kan leiden tot een hoger overschot, b.v. als voor het behalen van een hogere opbrengst een hogere N-gift nodig is (voor 10 ton wintertarwe is bijvoorbeeld een hogere N-gift nodig of als door overvloedige regenval in het teeltseizoen eerder gegeven of reeds gemineraliseerde N uitspoelt en een extra gift of een hogere gift nodig is voor het behalen van een goede opbrengst en/of kwaliteit. De verwachting is dat in de meeste gevallen minder bemest kan worden of dat met dezelfde bemesting een hogere opname en afvoer gerealiseerd kan worden. De inschatting is dat op korte termijn 0-10% op het stikstofoverschot bespaard kan worden. Op de langere termijn kan dit oplopen tot 20%, afhankelijk van het bouwplan. Voor de beperking van het fosfaat zijn de mogelijkheden nog groter. Gezien de hoge fosfaattoestand van een groot deel van de Nederlandse percelen kan de fosfaatbemesting sterk beperkt worden tot wel 50% van de huidige aanvoer. In de praktijk is dit echter lastig vanwege het gebruik van dierlijke mest en de wens om organische stof aan te voeren met mest.

In de bemestingsplanning gaat het om het vooraf formuleren van een strategie voor de toepassing van de 4 r's. Hieronder vallen dus verschillende concrete maatregelen zoals in bijlage 1B is opgenomen. Afzonderlijk levert elk van deze maatregelen maar een kleine bijdrage in het verlagen van de emissies. We verwachten dat

een aantal maatregelen op elkaar afgestemd in een bemestingsplan wel een duidelijk effect op het verminderen van de emissie heeft.

In de hoeveelheid van de toe te dienen meststoffen moet goed rekening gehouden worden met de behoefte van het gewas en in hoeverre de behoefte al gedekt wordt door aanbod van stikstof uit mineralisatie uit bodem, gewasresten, groenbemesters en eerder toegediende mest en andere bronnen als depositie en hulpstoffen (zoals gebruik van stro bij aardbeien). Door hier vooraf rekening mee te houden wordt voorkomen dat vooraf teveel meststoffen gegeven worden. In de keuze van meststoffen gaat het om de keuze voor organische en/of kunstmeststoffen waarbij bij de organische meststoffen rekening gehouden moet worden dat het vrijkomen van de stikstof uit de organische mest past bij het opnamepatroon van het gewas (maatregelen 2 en 3, bijlage 1B). Met name moet voorkomen worden dat nog veel stikstof vrijkomt uit de meststof na het stoppen van de opname door het gewas. Bij snijmaïs en aardappel stopt de opname al begin augustus, terwijl de gewassen pas half september of later worden geoogst en er geen geslaagde groenbemester meer gerealiseerd kan worden. De stikstof die mineraliseert na de stop van de opname kan vanaf begin augustus nog enkele tientallen kilo's stikstof bedragen die niet meer benut kan worden. Bemesting op het juiste tijdstip gaat over toediening van meststoffen op momenten wanneer het gewas het ook nodig heeft (maatregel 8, 11-13, Bijlage 1B). De bemesting moet zoveel mogelijk vlak voor of in de teelt plaatsvinden. Er moet zeker geen mest worden uitgereden nadat een gewas geoogst is en er geen volggewas of groenbemester geteeld wordt.

In het Mest als Kans-proefveld zijn met modelberekeningen effecten zichtbaar gemaakt op de stikstofuitspoeling van langjarige toepassing van diverse mestsoorten. Hierbij gaf gebruik van drijfmest en kunstmest de hoogste uitspoeling en het gebruik van composten de laagste (Zanen et al., 2008). Dit geeft aan dat met de keuze voor de (organische) mestsoort de uitspoeling beperkt kan worden.

Deling van stikstofgiften en gebruik van bijmestssystemen op basis van bepaling van gewasopname en/of bodemvoorraad kunnen tussentijdse uitspoeling voorkomen en helpen om te zorgen dat niet meer stikstof gegeven wordt dan door het gewas opgenomen kan worden. Dierlijke mest moet vaak voor de teelt toegepast worden en het beste is dit dan zo kort mogelijk voor planten of zaaien uit te voeren. Plaatsing van meststoffen bij de wortels is nodig voor een efficiënte opname. Rijenbemesting, plantgatbemesting en fertigatie zijn technieken om meststoffen efficiënter te kunnen gebruiken (maatregel 15, bijlage 1B). Ook het zorgen voor een goede vochtvoorziening door een optimale beregening verhoogt de benutting. Ook hierbij kunnen nieuwe technieken als vochtsensoren behulpzaam zijn (maatregel 16, bijlage 1B).

Met het verbeteren van de bemesting kan het energiegebruik per eenheid product enerzijds omhoog gaan om dat meer bewerkingen (bijv. splitsen van giften, meer beregening) plaatsvinden en anderzijds omlaag gaan door minder inzet van meststoffen en een betere benutting van de meststoffen en een hogere opbrengst.

Stikstofvanggewassen en afvoeren gewasresten

De teelt van stikstofvanggewassen en het afvoeren van gewasresten zijn twee specifieke maatregelen die een groot effect hebben op het verminderen van emissies.

Het effect van een groenbemester/stikstofvanggewas is vooral afhankelijk van het zaaitijdstip, de voorraad N-min in de bodem, de eventuele bemesting en het tijdstip van inwerken (voor of na de winter). Een groenbemester/vanggewas kan tot meer dan 100 kg N/ha opnemen. Het effect op emissies naar grond- en oppervlaktewater kan ook variëren van 0-60 kg N/ha. In het volgseizoen kan een groenbemester tussen de 0-50 kg N/ha naleveren, dit is mede afhankelijk van het volggewas. Deze nalevering kan gekort worden op de stikstofgift. Na een aantal gewassen is geen groenbemester nodig vanwege te late oogst of is de ontwikkeling zeer matig. De mate van toepassing kan wel nog vergroot worden: telers zien er nu nog regelmatig vanaf door gebrek aan prioriteit en het risico op vermeerdering van ziekten en plagen. Echter bij een goede keuze van de groenbemester kan dit risico sterk beperkt worden (Eldering et al., 2011; Timmer et al., 2003; Timmer et al., 2004). Daarnaast zijn er mogelijkheden voor verruiming van de toepassing door vroeger oogsten (zie

paragraaf vruchtwisseling en Verhoeven et al., 2011) en de ontwikkeling van nieuwe groenbemesters die ook laat gezaaid kunnen worden.

Bij afvoeren van gewasresten gaat het vooral om die gewassen die veel stikstof achterlaten in de gewasresten en die geoogst worden in de herfstperiode wanneer het niet meer mogelijk is om een geslaagde groenbemester te zaaien, maar nog wel veel minerale stikstof uit de gewasresten vrijkomt. Hierbij gaat het met name om suikerbieten en een aantal groentegewassen als bladgewassen, prei en koolsoorten. Daarnaast is een goede strategie voor verwerking van de gewasresten voorwaarde. Afhankelijk van de soort gewasrest kan het N-overschot met 20 tot 100 kg/ha worden verminderd en wordt 5 tot 70 kg P2O5 afgevoerd. Van deze stikstof kan bij achterlaten op het land meer dan de helft uitspoelen (Ruijter, 2008). Grote nadelen van de maatregel zijn de extra kosten en de geringe tot geen inkomsten of besparingen voor de teler (Geel et al., 2008; Ruijter en Smit, 2007; Wolf en Haan, 2005).

Teelt de grond uit

Teelt de grond uit omvat een geheel andere manier van telen dan nu gebruikelijk is. Systemen voor het los van de ondergrond telen zijn nu in alle vollegrondstuinbouwsectoren in ontwikkeling binnen het onderzoeksprogramma Teelt de grond uit. Technisch lijkt het mogelijk om vrijwel alle gewassen los van de ondergrond te telen. De vraag is of de systemen rendabel en robuust zijn. Met dit laatste wordt bedoeld dat een stabiele opbrengst behaald kan worden met een stabiele kwaliteit. De stand van zaken is dat het mogelijk is om tot rendabele systemen te komen voor de kapitaalsintensieve gewassen, maar dat er nog een aantal knelpunten opgelost moet worden om het ook robuust te doen. De emissiebeperking is nog onzeker: het type emissie verschuift van een diffuse bron naar een puntemissie. De hoogte van de emissie hangt af van de noodzaak van het verversen van het water voor de teelt, het watergebruik en de mogelijkheden tot zuivering van het water voor lozing. Hierbij wordt aangesloten op ontwikkelingen in waterbeheer en zuiveringstechnieken in de glastuinbouw (Vermeulen, in prep). Vooraf in het programma is tot doel gesteld om de emissies met 70% terug te brengen. Technisch is dit mogelijk maar de vraag is of de systemen dan ook nog rendabel zijn.

Toepassing van combinaties van maatregelen op bedrijfsniveau

Het blijkt niet mogelijk om in de open teelten stikstofoverschotten sterk te beperken binnen de huidige vruchtwisseling en teeltsystemen. Ook in experimentele systemen zoals op PPO-locatie Vredepeel kon het overschot maar beperkt worden teruggebracht zonder effecten op de opbrengst ondanks een nauwkeurige planning en monitoring (De Haan et al., 2010). Op praktijkbedrijven is meestal nog meer winst te halen, maar ook daar blijkt reductie lastig zoals is gebleken binnen Telen met toekomst (Geel en Brinks, 2011). Onze verwachting is dat met een goede planning zonder kosten al een behoorlijke winst gehaald kan worden. Echter gezien de ervaring in eerdere projecten is de noodzaak voor een betere planning van vruchtwisseling, bodem en bemesting voor veel telers nog onvoldoende. Blijkbaar ontbreken de (financiële) prikkels om tot een nauwkeurigere bemesting te komen met een hogere efficiëntie en lagere overschotten. Hier spelen zowel bewustwording als kennis als sociaal-maatschappelijke aspecten een rol. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden in weten, willen, kunnen en mogen:

- telers moeten weten wat het effect is van hun handelen: nutriëntenemissies zelf zijn slecht zichtbaar en de effecten van emissies zijn slecht te koppelen aan het handelen van de teler;
- telers moeten willen veranderen: als een teler weet dat zijn handelen een negatief effect heeft moet hij dat ook willen veranderen;
- telers moeten kunnen veranderen: de kennis en competenties hebben om het anders te doen;
- telers moeten mogen veranderen van hun omgeving. Collega telers en erfbetreders (verkopers en adviseurs van toeleveranciers en afnemers die adviseren in de bemesting en teelt) moeten de veranderingen in handelen accepteren of zelfs stimuleren.

De aanpak om tot lagere emissies en hogere efficiënties te komen is bedrijfsspecifiek zowel wat betreft de fysische omstandigheden als grondsoort en klimaat als de bedrijfsmatige aspecten als geteelde gewassen en

bedrijfsomvang. Telers moeten in staat worden gesteld om voor hun bedrijf de juiste beslissingen te nemen. Het gaat er om om de kennis beschikbaar te stellen die dat mogelijk maakt via o.a. adviseurs, kennisystemen en vakbladen. De omgeving moet het vervolgens mogelijk maken dat de teler de kennis kan en mag toepassen. Hierin hebben we nog een hele weg te gaan.

Conclusies

De aanvullende maatregelen voor de akker- en tuinbouw leveren naar verwachting een daling op van de N-overschotten met 5-30% en van het fosfaatoverschot met 0-100%. Het nutriëntenmanagement binnen de akker- en tuinbouw is sterk gericht op een maximale gewasproductie van een goede kwaliteit. Naarmate de financiële opbrengsten hoger zijn, is het risicomijdend gedrag groter. De diversiteit in managementstrategie binnen de akker- en tuinbouw is groot, doordat gericht aandacht wordt besteed aan gewas- en rassenkeuze, bodembeheer en bemesting (mestverdeling, opbrengst en kwaliteit dierlijk mest en aankoop kunstmest, groenbemester). Het verlagen van het nutriëntenoverschotten kan hier gerealiseerd worden door:

- een verhoging van de nutriëntenbenutting door o.a. een betere bemestingsplanning en bodembeheer waarbij optimaal rekening gehouden wordt met mogelijke extra mineralisatie (gewasresten, groenbemesters en vanggewassen) waardoor de productie en de nutriëntenafvoer toeneemt;
- gebruik van stikstofvanggewassen en groenbemesters;
- aangepaste vruchtwisseling en rassenkeuze;
- het afvoeren van gewasresten (effectief op lokaal niveau, echter op landelijk niveau beperkt door klein areaal van toepassing),
- teelt de grond uit, vooral voor intensieve vollegrondstuinbouw met lokaal sterk effect, maar nationaal beperkt door relatief beperkte areaal.

3.3 Water- en landsysteem

Door aanpassingen in inrichting en beheer van het water- en landsysteem kunnen verliezen van nutriënten naar grondwater en oppervlaktewater aanvullend worden verminderd. Anders dan de maatregelen in de melkveehouderij en de akker- en tuinbouw zijn deze maatregelen niet gericht op het reduceren van de nutriëntenoverschotten, maar op de doorwerking van de overschotten vanuit de percelen naar de reductie in nutriëntenbelasting en -concentraties in het grondwater en oppervlaktewater.

In Tabel 6 zijn perspectiefrijke groepen van maatregelen gegeven op basis van de bijdrage aan de realisatie van de milieudoelstellingen op lokale schaal. Daarbij zijn zowel de reductie in de uit- en afspoeling van nutriënten als de haalbaarheid van de maatregelen in beschouwing genomen. De effecten zijn afgeleid van meetgegevens, rekenresultaten en expertkennis. De haalbaarheid is gebaseerd op de kosten van en het draagvlak voor deze maatregelen. Omdat de effecten en de haalbaarheid van de maatregelen in het water- en landsysteem (Tabel 6) van veel factoren afhangt, is een kwalitatieve benadering gekozen.

Tabel 6

Prioritering van perspectiefrijke ingrepen in het water- en landsysteem op percelen-/bedrijfsniveau op basis van de haalbaarheid in combinatie met de te verwachten reducties in en emissies van nitraat (NO₃) naar het grondwater en stikstof (N) en fosfor (P) naar het oppervlaktewater. Duiding cijfers: 1 eerste prioriteit, makkelijk op korte termijn te realiseren; 2 tweede prioriteit en op termijn inpasbaar; 3 derde prioriteit ook positieve effecten, minder makkelijk / op langere termijn inpasbaar.

Doel	Ingrep	NO ₃	N	P
Reduceren oppervlakkige afspoeling	Bodemkwaliteit		1	1
	Grondbewerking		1	1
	Inrichting en beheer		1	1
Verkleinen uitspoeling fosfor	Peilen verlagen		3	2
	Actieve sturing op peilverlaging		3	2
Verkleinen uitspoeling stikstof	Peilen verhogen	3	2	
	Actieve sturing op peilverhoging	3	2	
Verlagen van concentraties	Zuiveringsmoerassen		3	3
	Zuiveren puntbronnen	3	1	1

De werking van de maatregelen is afhankelijk van de lokale omstandigheden zoals de bodem en vochttoestand. De uiteindelijke selectie van maatregelen in het water- en landsysteem is daardoor maatwerk. De beoordeling van de verschillende maatregelen is in bijlage 1C aangegeven.

Mogelijke strategieën in het water- en landsysteem

De maatregelen in het water- en landssysteem zijn gericht op het veranderen van transportroutes en omzettings- en vastleggingsprocessen zoals deze in Figuur 5 zijn aangegeven. Deze effectgerichte maatregelen kunnen de nutriëntenstromen en -concentraties verlagen door de nutriënten in het water- en landsysteem 1) beter te benutten, 2) vast te leggen of 3) te verwijderen.

Er kunnen vier strategieën gericht op specifieke doelen worden onderscheiden om de emissies van nutriënten in het water- en landsysteem op perceelniveau te reduceren:

1. Reduceren van oppervlakkige afstroming.
2. Uit- en afspoeling van fosfor reduceren via waterbeheer.
3. Uit- en afspoeling van stikstof reduceren via waterbeheer.
4. Reduceren van concentraties in het oppervlaktewater.

Deze strategieën zijn gericht op de reductie van de emissie van fosfor en stikstof via uit- en afspoeling naar het oppervlaktewater (1, 2, 3 en 4). Strategie 3 kan ook de uitspoeling van nitraat naar het grondwater verminderen, 1 en 2 doen dat niet. Sturen op het waterbeheer heeft beperkt effect in de droge zand- en lössregio's waar de uitspoeling van nitraat vooral een probleem vormt. De effecten op de uitspoeling van nitraat zijn in alle gevallen relatief klein. Om de emissie van nitraat naar het grondwater te reduceren zijn de brongerichte maatregelen i.e. het verlagen van de bodemoverschotten het meest geschikt (zie paragrafen 3.1 en 3.2). De perspectiefrijke maatregelen om de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te verminderen zijn in bijlage 2C beschreven.

Selectie van maatregelen

Oppervlakkige afstroming (runoff) treedt vooral op bij hevige regenbuiten, op hellende percelen en op percelen met verdichte en onbegroeide bodems. In het najaar en winter is de kans op plasvorming en oppervlakkige afstroming het grootst. Het afstromende water kan relatief veel stikstof en fosfaat bevatten als de bovengrond rijk aan stikstof en fosfaat is. De bijdrage van oppervlakkige afstroming aan de totale belasting van het

oppervlakte water is niet nauwkeurig bekend, maar recent onderzoek geeft aan dat de bijdrage wellicht groter is dan eerder werd aangenomen (Assinck en Salm, 2012; Klein et al., 2012b; Massop en Noij, 2012). Het reduceren van oppervlakkige afstroming door vermindering bodemverdichting en vergroting van de infiltratiecapaciteit heeft ook een positief effect op de bodemkwaliteit, beworteling en gewasopbrengst. Het dienen van meerdere doelen maakt de maatregel 'vermindering oppervlakkige afstroming' daardoor dus relatief goedkoop. Maatregelen gericht op verbeteren van de bodemkwaliteit zijn aantrekkelijk door combinaties van effecten/werking: verbeteren van de bodemkwaliteit resulteert niet alleen in een betere structuur (waardoor de infiltratiecapaciteit toeneemt en de runoff afneemt), maar ook in een grotere bodemvruchtbaarheid en een betere benutting van de meststoffen. Deze maatregelen hebben daardoor een directe relatie met de bedrijfsvoering voor zowel de melkveehouderij als de akker- en tuinbouw. Daarom kunnen deze maatregelen worden beschouwd als no-regret acties die deel zouden moeten uitmaken van Best Management Practices. Het zuiveren van lokale (punt)bronnen als erfafspoeling en bedrijfswater (die grotere investeringen vragen, maar ook grote effecten op deze lokale bronnen hebben) maakt deel uit van de Goede Landbouwkundige Praktijk (EC, 2009).

Bufferstroken kunnen lokaal een bijdragen leveren aan de vermindering van de uitspoeling (Noij et al., 2012),. Op nationale schaal zijn ze waarschijnlijk weinig perspectiefrijk omdat ze een groot beslag op productiegrond leggen. Naast de reductie van de emissies aan nutriënten vanaf een perceel kunnen bufferstroken meer doelen dienen, zoals het verminderen van drift (bestrijdingsmiddelen), het voorkomen van mee-mesten van de sloot, het stabiliseren van taluds, het vergroten van de landschappelijke kwaliteit, het creëren van recreatieve functies en het vergroten van de biodiversiteit. Natte bufferstroken kunnen bovendien de bergingscapaciteit van het oppervlaktewatersysteem vergroten. De werking van natte bufferstroken resulteert echter in afwenteling naar de lucht voor stikstof (in de vorm van N_2 , N_2O en NO_x) en leidt (onder permanent natte omstandigheden) tot mobilisatie en uitspoeling van fosfor.

'Sturen op ontwatering' beïnvloedt zowel de waterhuishouding, de waterbeschikbaarheid als de nutriëntenbelasting. Waterbeheer kan verschillende doelen hebben, die tegengesteld kunnen zijn en keuzes vragen en die andere effecten op de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor hebben. Het verbeteren van de drooglegging is gericht op het voorkomen van natte omstandigheden en reduceert de emissie van fosfor. Water vasthouden en water aanvoeren om droogteschade te voorkomen doet de uit- en afspoeling van stikstof afnemen omdat in nattere omstandigheden de denitrificatie toeneemt. Water aanvoeren om de afbraak van veen te reduceren en de bodemdaling te vertragen, reduceert zowel de emissies van stikstof als fosfor in deze gebieden (Hendriks en Van den Akker, 2012). Het resulterende effect op de waterkwaliteit wordt bepaald door de nagestreefde doelen. Bij actief beheer via regelbare drainage (Stuyt, in prep.) en/of peilbeheer kunnen door de grote flexibiliteit die hier mogelijk is de nagestreefde doelen in de tijd variëren zodat ook meerdere doelen kunnen worden gecombineerd. Bovendien zijn dit relatief goedkope maatregelen die momenteel groot draagvlak bij telers en waterschappen lijken te hebben. Het blijvend anders inrichten is een dure maatregel die op grotere schaal alleen via ander urgent beleid (bijv. de implementatie van de Kader Richtlijn Water of natuurbesluit) zal worden uitgevoerd.

Verlagen van de concentraties van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater kan door het vergroten van de retentie in de sloten (effectgericht) en door (technologisch) zuiveren. De effecten, kosten en het draagvlak voor de verschillende maatregelen verschillen sterk. Lokaal zuiveren van lokale (punt)bronnen met individuele behandeling van afvalwater (IBA) of helofytenfilters vereist beperkte investeringen, maar heeft grote effecten op deze bronnen en is op bijna elk bedrijf een optie (Haan et al., 2011b). Daarom zijn ook deze maatregelen als kansrijk beoordeeld. Vergroten van de retentie door aanpassingen van de waterlopen worden niet als preferente maatregelen gezien door hun beperkte effecten en hun groot beslag op grond. Een uitzondering wordt mogelijk gevormd door riet in de sloot, dat geen extra beslag legt op grond en een goedkope maatregel is. De effectiviteit van de maatregel is echter nog niet goed vastgesteld (Buck et al., 2012). Omdat deze

maatregel ook andere doelen dient (denk aan biodiversiteit en landschap) vormt ook dit een mogelijke no-regret maatregel.

Brongerichte maatregelen in de melkveehouderij en de akker- en tuinbouw zijn effectieve maatregelen omdat deze op grote arealen toepasbaar zijn en rechtstreekse milieueffecten hebben. Reduceren van oppervlakkige afstroming en zuiveren/saneren van puntbronnen op het boerenbedrijf zijn eveneens brongerichte maatregelen en zijn om dezelfde redenen effectief. Effectgerichte maatregelen in het water- en landsysteem via waterbeheer of het verlagen van concentraties in het oppervlaktewater dragen bij aan het verbeteren van de waterkwaliteit en kunnen aanvullend worden overwogen. Omdat de effecten indirect via het water- en landsysteem worden gerealiseerd zijn de effecten van deze maatregelen afhankelijk van de lokale omstandigheden (en bronnen). Het nemen van de juiste (combinaties van) maatregelen is maatwerk. Wanneer de effectgerichte maatregelen tegelijkertijd ook andere doelen kunnen dienen, worden deze maatregelen waarschijnlijk eerder gerealiseerd.

Toepassen van maatregelen

Eerdere studies (Bolt et al., 2008; Ligtoet et al., 2008) hebben laten zien dat de additionele opgave om aan de waterkwaliteitsdoelstellingen te voldoen, boven het generieke mestbeleid, groot is. Dit betekent dat vaak een combinatie van maatregelen noodzakelijk is. De brongerichte maatregelen in de melkveehouderij en akkerbouw en de effectgerichte maatregelen in het water- en landsysteem zijn min of meer complementair. De effecten van deze maatregelen kunnen in principe worden opgeteld. Dat geldt niet voor de verschillende effectgerichte maatregelen in het water- en landsysteem zelf, deze kunnen interfereren waardoor het effect van een pakket aan maatregelen anders uitpakt en dus anders moet worden gekwantificeerd. Om de perspectieven van de maatregelen uiteindelijk op nationaal/regionale niveau te bepalen en te evalueren, is het verder nodig de verschillen in effecten door de lokale omstandigheden onderling te wegen. Dit kan resulteren in specifieke gebieden/zones en kleinere arealen waarop een maatregel prioriteit kan hebben (Boekel et al., 2009; Bolt et al., 2008).

Conclusies

Reduceren van oppervlakkige afstroming en zuiveren/saneren van puntbronnen op het boerenbedrijf zijn brongericht en effectief. Effectgerichte maatregelen via waterbeheer of het verlagen van concentraties in het oppervlaktewater dragen bij aan het verbeteren van de milieutoestand en kunnen aanvullend worden overwogen. De volgende combinaties van maatregelen in het water- en landsysteem worden als effectief beoordeeld:

- Het verminderen van de kans op oppervlakkige afstroming over het perceel (runoff) door de structuur van de bouwvoor te verbeteren, in combinatie met het egaliseren van het maaiveld en/of afdammen van greppels, en het aanleggen van bufferstroken op plaatsen waar runoff toch optreedt nadat maatregelen zijn genomen om de infiltratiecapaciteit van de bodem te vergroten.
- Via regelbare drainage kan specifiek gestuurd worden op het verminderen van de N- of P- uitspoeling naar het oppervlaktewater en het verbeteren van de waterhuishouding en de waterbeschikbaarheid.

Ook de inpasbaarheid van aanvullende maatregelen in het water- en landsysteem is bedrijf- en locatie-specifiek. De maatregelen kunnen vaak niet landelijk worden genomen.

4 Discussie en conclusies

De nitraatbelasting van het grondwater in het zandgebied en de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater kunnen verder teruggedrongen worden via brongerichte- en effectgerichte-maatregelen binnen de grondgebonden landbouwbedrijven (voornamelijk melkveehouderijbedrijven en de akker- en tuinbouwbedrijven) die aanvullend zijn op de maatregelen in het huidige mestbeleid.

In de onderhavige studie zijn een groot aantal mogelijke maatregelen, die in de recente literatuur worden beschreven, geanalyseerd en getoetst op hun bijdragen aan de vermindering van de belasting van stikstof en fosfaat naar het grondwater (zie bijlage 1). In principe is er 'weinig laaghangend fruit'. Maatregelen die 'echt zoden aan de dijk zetten', zoals gebruiksnormen, regels voor het uitrijden van mest en kunstmest, nagewassen, etc. zijn al ingevoerd en in voorbije jaren steeds verder aangescherpt. De opdracht van de onderhavige studie was om *aanvullende* maatregelen te selecteren, dus in aanvulling op wat nu al in de wet- en regelgeving is belegd, dan wel goede praktijk is of zou moeten zijn (Best Management Practices: BMP). De geselecteerde aanvullende maatregelen in hoofdstuk 3 kunnen deels worden gekarakteriseerd als 'fine-tuning' (maatwerk), deels ook als 'systeemingrepen'. Een belangrijk aandachtspunt blijft echter dat BMP beter en meer in de praktijk toegepast kunnen worden. Zo worden de gebruiksnormen vaak opgevuld terwijl daar agronomisch geen aanleiding toe is, zoals bijvoorbeeld op gronden met een hoge fosfaattoestand. Verder worden BMP regels niet altijd geïmplementeerd omdat ze niet goed in de bedrijfsvoering passen, extra kosten met zich mee kunnen brengen, men mogelijke risico's wil mijden, dan wel omdat aandacht, kennis en/of competenties ontbreken. Hierdoor is er in de praktijk, ook via stimulering om tot BMP te komen, nog steeds eenvoudig 'winst te boeken'.

De geselecteerde maatregelen in de paragrafen 3.1, 3.2 en 3.3 kunnen een forse extra bijdrage leveren aan het verminderen van de emissies; de geselecteerde maatregelen worden als 'perspectiefrijk' gekenschetst. De kracht van de geselecteerde maatregelen is niet zozeer dat ze nieuw zijn, maar dat ze effectief zijn als ze op een vernieuwende manier worden geïmplementeerd, namelijk bedrijfsspecifiek en regio-specifiek. Er is een grote variatie tussen bedrijven, niet alleen in gewassen, dieren, bedrijfsvoering, maar ook in prestaties. *De implementatie van aanvullende bedrijfsmaatregelen moet gericht te zijn op het verhogen van de nutriëntenefficiëntie en het realiseren van een gering/acceptabel nutriëntenoverschot, aangezien ook de verliezen naar het milieu geminimaliseerd moeten worden.*

De aanvullende maatregelen zijn gericht op bronnen van emissies (brongerichte maatregelen) en op het minimaliseren van de uit- en afspoeling van niet-benutte mineralen (effectgerichte maatregelen). De effectiviteit van maatregelen is afhankelijk van de context waarin ze genomen worden. Hierbij gaat het vooral om grondsoort, klimaat, hydrologie en de geteelde gewassen. De toepasbaarheid van de maatregelen is vooral afhankelijk van bedrijfsomvang, geteelde gewassen, bedrijfsstructuur en kennis en competenties van de teler en zijn personeel. Ook hebben veel maatregelen interacties waardoor de effectiviteit en toepasbaarheid worden beïnvloed. Dit leidt ertoe dat de effectiviteit en toepasbaarheid van de aanvullende maatregelen per bedrijf verschilt en dat er vrijwel geen aanvullende maatregelen generiek opgelegd kunnen worden. Er is maatwerk nodig, voor elk individueel bedrijf. Daarom zijn de aanvullende maatregelen in dit rapport vrij algemeen en abstract benoemd om voldoende ruimte te geven voor een specifieke invulling op bedrijfsniveau.

De aanvullende maatregelen voor de melkveehouderij zijn vooral inzetbaar op zandgrond. Er wordt verwacht dat de N-overschotten met 10-50% gereduceerd kunnen worden en het fosfaatoverschot met 0-100%. De maatregelen moeten aansluiten bij de filosofie van de gangbare melkveehouderijbedrijven, namelijk verlaging

van de voerkosten door verhoging van de eigen ruwvoeropbrengst (en de benutting daarvan), verhoging van de melkproductie en minimalisatie van de (kosten van) mestafzet. De volgende maatregelen om de N- en P-overschotten te minimaliseren bieden perspectief:

- Verhoging van de benutting van eigen grasland en maïsland.
- Wisselbouw (2-3 jaar gras, 2 jaar maïs en 1 jaar graan) waarbij maïs niet of nauwelijks bemest wordt na scheuren van gras.
- Onderzaai van een groenbemester in maïs in combinatie met korting op de bemesting van het perceel het volgende jaar.
- Mestscheiding in een stikstofrijke dunne fractie en fosfaatrijke dikke fractie biedt mogelijkheden om de N en P uit de mest efficiënter te benutten op grasland en maïsland, rekening houdend met de fosfaattoestand van de percelen binnen het bedrijf.

De aanvullende maatregelen voor de akker- en tuinbouw leveren naar verwachting een daling van de N-overschotten met 5-30% en van het fosfaatoverschot met 0-100%. Het nutriëntenmanagement binnen de akker- en tuinbouw is sterk gericht op een maximale gewasproductie van een goede kwaliteit. Naarmate de financiële opbrengsten hoger zijn, is het risicomijdend gedrag groter. De diversiteit in managementstrategieën binnen de akker- en tuinbouw is groot, doordat gericht aandacht wordt besteed aan gewas/raskeuze, bodembeheer en bemesting (mestverdeling, opbrengst en kwaliteit dierlijk mest en aankoop kunstmest, groenbemester). Het verlagen van het nutriëntenoverschotten kan hier gerealiseerd worden door:

- een verhoging van de nutriëntenbenutting door o.a. een betere bemestingsplanning en bodembeheer waarbij optimaal rekening gehouden wordt met mogelijke extra mineralisatie (gewasresten, groenbemesters en vanggewassen) waardoor de productie en de nutriëntenafvoer toeneemt,
- gebruik van stikstofvanggewassen en groenbemesters,
- aangepaste vruchtwisseling en rassenkeuze,
- het afvoeren van gewasresten, effectief op lokaal niveau, echter op landelijk niveau beperkt door klein areaal van toepassing,
- teelt de grond uit, vooral voor intensieve vollegrondstuinbouw met lokaal sterk effect, maar nationaal beperkt door relatief beperkte areaal.

Effectgerichte maatregelen voor verwijdering van al uitgespoelde nutriënten zijn ook mogelijk, maar ook hier geldt dat de inpasbaarheid bedrijfsspecifiek en regio-specifiek is. De volgende aanvullende maatregelen worden als effectief beoordeeld:

- het verminderen van de kans op oppervlakkige afstroming over het perceel (runoff) door de structuur van de bouwvoor te verbeteren, waardoor de infiltratiecapaciteit wordt vergroot,
- het aanleggen van bufferstroken op plaatsen waar runoff toch optreedt nadat maatregelen zijn genomen om de infiltratiecapaciteit van de bodem te vergroten,
- via regelbare drainage specifiek sturen op het verminderen van de N- of P- uitspoeling naar het oppervlaktewater of het verbeteren van de waterhuishouding en de waterbeschikbaarheid.

De perspectiefvolle maatregelen kunnen veelal op relatief korte termijn ingevoerd worden (< 4 jaar). Om de potentie van het maatregelenpakket volop te benutten zou de boer in combinatie met zijn adviseurs bedrijfsspecifieke pakketten moeten samentellen. Hiervoor is het van belang dat vooraf transparant wordt aangegeven in welke gebieden het zinvol is om maatregelen te nemen en welke doelen er uiteindelijk worden gesteld om de beoogde waterkwaliteit te kunnen realiseren. Voor de feitelijke implementatie zijn de juiste prikkels nodig. Door monitoring in de keten: gebruik - emissies - waterkwaliteit kan enerzijds toetsing van de effectiviteit plaatsvinden en kan anderzijds een gerichte en kostenefficiënte bijsturing plaatsvinden.

Literatuur

- Aarts, H.F.M., C.H.G. Daatselaar en G.J. Holshof, 2008 Bemesting, meststofbenutting en opbrengst van productiegrasland en snijmais op melkveebedrijven, Wageningen, Plant Research International, Rapport 208.
- Appels, W.M., in prep. Water redistribution at the soil surface: ponding and surface runoff in flat areas. PhD, Wageningen University.
- Appels, W.M., P.W. Bogaart, S.E.A.T.M. van der Zee, in prep. Observations of surface runoff on flat agricultural fields: interactions between driving mechanisms and surface topography and associated thresholds. PhD in prep. Chapter 2.
- Assinck, F.B.T. en C.v.d. Salm, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden : bemestingstool: een instrument ter voorkoming van incidentele nutriëntenverliezen door oppervlakkige afvoer, Alterra, Wageningen. pp. 44.
- Berge, H.F.M.T. en J. Postma, 2010. Duurzaam bodembeheer in de Nederlandse landbouw. Visie en bouwstenen voor een kennisagenda, Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR. Wageningen.
- Boekel, E.M.P.M., P. Bogaart, H.P. Broers, B. van de Grift, C.H.G. Daatselaar, W. van Dijk, J.P. Groenendijk, A. van de Ham, A.E.J. Hooijboer, A.D. Klijne, R.L.M. Schils en T.P.V. Tol-Leenders, 2012. Ontwikkeling van de bodem- en waterkwaliteit. Evaluatie Meststoffenwet 2012: eindrapport ex post, in: F. J. E. v. d. Bolt and O. F. Schoumans (Eds.), Evaluatie Meststoffenwet 2012, Wageningen, Alterra, Alterrarapport 2318
- Boekel, E.M.P.M. van, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van de Bolt, W.J. Chardon, O.A. Clevering, W. van Dijk, I.E. Hoving, G.A.M. Noij en E.A. van Os, 2009. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW : achtergrondstudie: effecten van aanvullende maatregelen. Wageningen : Alterra, (Alterra-rapport 1987) - p. 106.
- Bolt, F.J.E.v.d., O.F. Schoumans, E.M.P.M. van Boekel, P.W. Bogaart, H.P. Broers, B. Grift, C.H.G. Daatselaar W. van Dijk, P. Groenendijk, A. van de Ham, A.E.J. Hooijboer, A. de Klijne, R.L.M. Schils en T.P. van Tol-Leenders, 2012. Ontwikkeling van de bodem- en waterkwaliteit : evaluatie Meststoffenwet 2012: eindrapport ex-post, Alterra Wageningen UR, Wageningen. pp. 116.
- Bolt, F.J.E.v.d., E.M.P.M. Boekel, O.A. Clevering, W. van Dijk, I.E. Hoving, R.A.L. Kselik, J.J.M. de Klein, T.P. van Tol-Leenders, V.G.M. Linderhof, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, I.G.A.M. Noij, E.A. van Os, N.B.P. Polman, L.V. Renaud, A.J. Reinhard, O.F. Schoumans en D.J.J. Walvoort, 2008. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW : effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten, Alterra, Wageningen, Alterrarapport 1687. pp. 120.
- Boonekamp, P.M. 2012. Beleidsondersteunend onderzoek verduurzaming plantaardige productieketen (BO-VPP) BO-12.03 : rapportage 2011 : duurzame en gezonde bodem (BO-12.03-002 en BO-12.03-003), Plant Research International, Wageningen. pp. 24.
- Bruulsema, T., J.L. Lemunyon en B. Herz, 2009. Know your fertilizer rights. Crops & Soils March-April 2009:13-18.
- Buck, A.J.d., L.P.A. van Gerven, J. van Kleef, J.R. van Schoot, G.C.A. van Wijk, A. Buijter en F.J. van de Bolt, 2012. Helofytenfilters in sloten; schoonheid door eenvoud, Lelystad : PPO-agv WUR, (PPO Projectrapport 517.
- Dam, A.M. van en J.J. de Haan, 2005. Best practices bemesting : boom- en vasteplantenteelt, PPO, Lelystad. pp. 24.
- Dam, A.M. van en L.J.M. Haan, 2005. Best Practices Bemesting. Bloembollen, PPO, Lelystad. pp. 27.
- Dam, A.M. van , Dekker P.H.M., Pronk A.A., Ruijter F.J.d. 2006. Rapportage bemesting 2005 Telen met toekomst. Presentaties deelnemers in 2005 in relatie tot de gebruiksnormen vanaf 2006, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV, Wageningen. pp. 27.
- Dam, A.M. van., P.H.M. Dekker, A.A. Pronk en F.J. de Ruijter, 2007. Rapportage bemesting 2006 Telen met toekomst. Presentaties deelnemers in 2006 in relatie tot de gebruiksnormen vanaf 2007. Beoordeling Best Practices Bemesting, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV, Wageningen. pp. 27.
- De Haan, J.J. en A. Garcia-Diaz, 2002. Manual on Prototyping Methodology and Multifunctional Crop Rotation, VEGINECO Report 2, Applied Plant Research. Lelystad.

- De Willigen, P., P. Cleij, H.P. Oosterom en C.G.J. Scotten, 2003. Lot van het stikstofoverschot. Analyse van STONE berekeningen die zijn uitgevoerd in het kader van Evaluatie Meststoffenwet 2002, Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 732.
- Dekker P.H.M., Radersma S., Schoot J.R.v.d., De Wolf M. (2003) Scenariostudie 'maatregelen voor de akkerbouw op lössgrond om met inzet van dierlijke mest aan Minas- en nitraatnormen te voldoen', Lelystad: PPO, Business-unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroente.
- Dekker, P.H.M. en H. Brinks, 2009. Rapportage bemesting 2008 Telen met toekomst. Presentaties deelnemers in 2008 in relatie tot de gebruiksnormen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV, Wageningen.
- Dekker, P.H.M. en H. Brinks, 2010. Rapportage bemesting 2009 Telen met toekomst. Presentaties deelnemers in 2009 in relatie tot de gebruiksnormen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV, Wageningen.
- Dekker, P.H.M., A.M. van Dam, A.A. Pronk en F.J. de Ruijter, 2008. Rapportage bemesting 2007 Telen met toekomst. Presentaties deelnemers in 2007 in relatie tot de gebruiksnormen vanaf 2008, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV, Wageningen.
- Dijk, S.M.v. en J.J. de Haan, 2010. Teelt de grond uit, Ontwerp van nieuwe teeltsystemen los van de ondergrond voor de vollegrondstuinbouw, Verslag van de start- en ontwerpfasen van Teelt de grond uit, Wageningen UR, Lelystad. pp. 19.
- Dijk, v.W. en W.C.A. van Geel, 2012. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen, PPO 307. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR.
- EC, 2009. European commission 2009. European communities (Good Agricultural Practice for protection of waters) regulations 2009. Statutory Instruments. S.I. No. 101 of 2009. .
- Eldering, C., C. den Herder, P. Hooijman, L. Persoon, J. Salomons, E. Visser Radbouden J. Wander, 2011. Deskstudie verbetering mogelijkheden groenbemesters + nieuwe groenbemesters, Wageningen DLV Plant.
- Fraters, B., T.C. van Leeuwen, A. Hooijboer, M.W. Hoogeveen, L.J.M. Boumans en J.W. Reijs, 2012. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven. Herberekening van uitspoelfracties., RIVM, Bilthoven, RIVM rapport 680716006.
- Geel, W.C.A.v. en H. Brinks, 2011. Telen met toekomst bemesting 2010; Bemesting in de akkerbouw in relatie tot gebruiksnormen, PPO-agv, Lelystad. pp. 26.
- Geel, W.C.A.v., J.J. de Ruijter, A.L. Smit en H.A.G. Verstegen, 2008. Effect verlaging gebruiksnorm en afvoer gewasresten op de nitraatuitspoeling : deelonderzoek voor Telers Mineraal Paraat uitgevoerd in 2005-2007 binnen project Nutriënten Waterproof, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen. pp. 72.
- Groenendijk, J.P., L.V. Renaud, O.F. Schoumans, H.H. Luesink, T.J. de Koeijer en G. Kruseman, 2012. MAMBO en STONE-resultaten van rekenvarianten van gebruiksnormen. Evaluatie meststoffenwet 2012: eindrapport ex ante, Evaluatie Meststoffenwet 2012, Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2317.
- Haan, J.J.de en P.H.M. de, Dekker, 2005a. Best Practices Bemesting Vollegrondsgroenten, PPO 338-2. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Lelystad.
- Haan, J.J.de., 2002. Integrated and Ecological Nutrient Management, VEGINECO Report 3. Applied Plant Research. Lelystad.
- Haan, J.J.de. en P.H.M. Dekker, 2005b. Best Practices Bemesting Akkerbouw, PPO 338-1. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Lelystad.
- Haan, J.J.de., W.C.A. van Geel, H.A.G. Verstegen en V.J.C. Hendriks-Goossens 2010. Nutriënten Waterproof : Nitraatnorm op zand verdraagt geen intensieve landbouw, Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.
- Haan, J.J.de., W. Sukkel, L.P.G. Molendijk en B.J.M. Meijer, 2011a. Vruchtbare Gronden; Praktijkonderzoek Plant & Omgeving werkt aan bodemkwaliteit, PPO-agv / WUR, Lelystad. pp. 39.
- Haan, J.J.d., F.P. Sival, J.R. van de Schoot en J.R. van de Buck, 2011b. Natuurlijke zuiveringssystemen voor zuivering van drain- en slootwater uit de landbouw. Inhoudelijk eindrapportage voor Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water, PPO-agv WUR, Lelystad. pp. 65.
- Hendriks, R.F.A. en J.J.H. van den Akker, 2012. Effecten van onderwaterdrains op de waterkwaliteit in veenweiden. Modelberekeningen met SWAP-ANIMO voor veenweide-eenheden naar veranderingen van de fosfor-, stikstof- en sulfaatbelasting van het oppervlaktewater bij toepassing van onderwaterdrains in het westelijke veenweidegebied, Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2354.
- Hilhorst, G.J., K. Verloop, J. van Middelaar en H.A. van Schooten, 2012. Beslisboom snijmaïs op zandgrond : duurzaam en praktisch oplossen van problemen in de teelt van snijmaïs, Koeien & Kansen.

- Hooijboer, A.E.J. en A. de Klijne, 2012. Waterkwaliteit op Landbouwbedrijven. Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post, Evaluatie Meststoffenwet 2012, Bilthoven, RIVM, RIVM-Rapport 680123001.
- Klein, J., J.C. Rozemeijer en H.P. Broers, 2012a. Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater. Deelrapport A: Opzet Meetnet. Bijdrage aan de Evaluatie Meststoffenwet 2012, Evaluatie Meststoffenwet 2012, Utrecht, Deltares, Deltares-rapport 1202337-000-BGS-0007.
- Klein, J., J.V. Rozemeijer, H.P. Broers en B. van de Griff, 2012b. Meetnet Nutriënten Landbouw Specifiek Oppervlaktewater. Deelrapport B: Toestand en trends. Bijdrage aan de Evaluatie Meststoffenwet 2012, Evaluatie Meststoffenwet 2012, Utrecht, Deltares, Deltares-rapport 1202337-000-BGS-0008.
- Koopmans, G.F., A. van de Toorn, I.C. Regelink en C. van de Salm, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden : incidentele nutriëntenverliezen en speciatie op zware kleigrond. Wageningen : Alterra Wageningen UR, (Alterra-rapport 2269) - p. 36.
- Kroonen-Backbier, B en J.J. de Haan, 2005. Een goed stikstofbeheer is geld waard : preiteler, haal meer stikstof uit de bodem!, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen. pp. np.
- Kroonen-Backbier, B. en J.J. de Haan, 2006. Een goed stikstofbeheer is geld waard: maïsteler, haal meer stikstof uit de bodem!, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Wageningen. pp. np.
- Ligtvoet, W., G. Beugeling, C. Brink, R. Franken en F. Kragt, 2008. Kwaliteit voor Later. Ex Ante evaluatie Kaderrichtlijn Water, Bilthoven, PBL, Rapportnummer 50014001.
- Massop, H.T.L. en G.A.M. Noij, 2012. Oppervlakkige afspoeling op landbouwgronden. Maatregelen op bedrijfsniveau, Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2272.
- Noij, I.G.A.M., M. Heinen en P. Groenendijk, 2012. Effectiveness of non-fertilized buffer strips in the Netherlands. Final report of a combined field, model and cost-effectiveness study, Alterra, Wageningen, Alterra rapport 2290.
- Noij, I.G.A.M., C. van de Salm, H.T.L. Massop, E.M.P.M. Boekel, C. Schuiling, M. Pleijter, O.A.M. Clevering, P.T.J. van Bakel, W.J. Chardon en D.J.J. Walvoort, 2009. Beleidskader fosfaat voor Noord- en Midden-Limburg : wetenschappelijke onderbouwing, Alterra, Wageningen, Alterra-rapport : 1894. pp. 144.
- Oenema, J., 2011a. Koeien & Kansen-bedrijven onder de loop met KringloopWijzer (3/5). Stikstofoverschot 200 en fosfaatoverschot 6 kg. per ha. www.verantwoordeveehouderij.nl, bekeken 5 oktober 2012, in: n. i. d. veehouderij (Ed.).
- Oenema, J., 2011b. Koeien & Kansen-bedrijven onder de loop met KringloopWijzer (3/5). Dure grond eist hoge mineralenbenutting. www.verantwoordeveehouderij.nl, bekeken 5 oktober 2012, in: N. i. d. veehouderij (Ed.).
- Oenema, J., 2011c. Koeien en Kansen-bedrijven onder de loop met KringloopWijzer (1/5). Stikstofoverschot 200 en fosfaatoverschot 6 kg per ha, Wageningen UR Livestock Research/ Koeien & Kansen. , Lelystad.
- Oenema, J., H. van Keulen, R.L.M. Schils en F. Aarts, 2011. Participatory farm management adaptations to reduce environmental impact on commercial pilot dairy farms in the Netherlands. NJAS -Wageningen Journal of Life Sciences 58 2011 :39-48.
- Oenema, J., H.F.M. Aarts, D.W. Bussink, R.H.E.M. Geerts, J.C. Curth-van Middelkoop, J. van Middelaar, J.W. Reijs en O. Oenema, 2012. Variatie in fosfaatopbrengst van grasland op praktijkbedrijven en mogelijke implicaties voor fosfaatgebruiksnormen, Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu. WOT-werkdocument 287.
- Os, E.A.vav, I.G.A.M. Noij, P.J.T. van Bakel, W. de Winter en F.J.E. van Bolt, 2009. Kennissysteem voor het bepalen van effecten van brongerichte en hydrologische maatregelen op de uitspoeling van N en P naar grond- en oppervlaktewater, Wageningen, Alterra-rapport 1863.
- Postma, R., L. van Schöll, H.J. Russchen, H. de Boer, P.J. Dogterom en P.J. van Erp, 2012. Naar een duurzaam bodem - en nutriëntenbeheer in de akkerbouw, Wageningen: Nutriënten Management Instituut NMI BV.
- Ruijter, F.J.de., 2008. Nitraatuitspoeling uit gewasresten van broccoli, prei en suikerbiet. Wageningen UR.
- Ruijter, F.J.de. en A.L. Smit, 2007. Het lot van stikstof uit gewasresten, Plant Research International, Wageningen. pp. 34.
- Schoumans, O.F., R. Kruijne en D.T. van de Molen, 1995. Vermindering fosfaatuitspoeling; mogelijkheden bij fosfaatverzadigde gronden. Landschap 12 1995, 6: 63-73.
- Schoumans O.F., Groenendijk P., Salm C.v.d., Pleijter M. (2008) Methodiek voor het karakteriseren van fosfaatlekkende gronden : beschrijving van het instrumentarium PLEASE, Alterra, Wageningen, Alterra-rapport 1724. pp. 76.
- Schoumans, O.F., C. van der Salm en P. G. Groenendijk (Subm.) PLEASE: A simple approach to determine P losses by leaching. Soil Use and Management.

- Schoumans, O.F., J. Mol-Dijkstra, L.M.M. Akkermans en C.W.J. Roest, 2002. SIMPLE: Assessment of non-point phosphorus pollution from agricultural land to surface waters by means of a new methodology. *Water Science and Technology* 45:177-182.
- Schoumans, O.F., P. Groenendijk, L.V. Renaud, W. van Dijk, J.J. Schroder, A. van de Ham en A.E.J. Hooijboer, 2012. Verhoogde nitraatconcentraties in het Zuidelijke zandgebied: analyse van de mogelijke oorzaken, Alterra Wageningen UR, Wageningen.
- Schoumans, O.F., W.J. Chardon, M.E. Bechmann, C. Gascuel-Oudou, G. Hofman, B. Kronvang, G.H. Rubæk, B. Ulén en J.-M. Dorioz (submitted). Overview of mitigation options to reduce phosphorus losses from rural areas and to improve surface water quality. *Science of the Total Environment*.
- Schoumans, O.F., W.J. Chardon, M. Bechmann, C. Gascuel-Oudou, G. Hofman, B. Kronvang, I. Litaor, A. Lo Porto, P. Newell en G.H. Rubæk, 2011. Mitigation options for reducing nutrient emissions from agriculture: a study amongst European member states of Cost action 869, Alterra. Alterra report 2141, Wageningen.
- Schröder, J.J., W. van Dijk en H. Hoek 2011. Modelmatige verkenningen naar de relaties tussen stikstofgebruiksnormen en de waterkwaliteit van landbouwbedrijven. Onderzoek in het kader van de Evaluatie van de Meststoffenwet 2011, Wageningen, Plant Research International, Rapport 415.
- Smit, A., F.J. de Ruijter, J.J. de Haan en J.G.M. Paauw 2011. Maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling. De mate van toepassing in de praktijk, Wageningen, Alterra, rapport 2239
- Smit, A.L., J.J. de Haan en K.B. Zwart, 2005. Kan de akkerbouw en groenteteelt op zandgrond voldoen aan de nitraatnorm? : resultaten experimenteel onderzoek op de kernbedrijven Vredepeel en Meterik, Plant Research International, Wageningen. pp. 68.
- Soane, B.D., B.C. Ball, J. Arvidson, G. Basch, F. Moreno en J. Roger-Estrade, 2011. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil & Tillage Research* 118 2012:66-87.
- Stuyt, L.C.P.M. (in prep.) Toepassingsmogelijkheden van (samengestelde) regelbare drainagesystemen in Nederland'. Wageningen, Alterra-rapport 2370.
- Talsma, M. en S. Kooiman, 2012. Klimaatadaptief waterbeheer: wat biedt de bodem? Kennismaking, kennisvragen en lopende projecten, STOWA. Amersfoort.
- Timmer, R.D., G.W. Korthalsen L.P.G. Molendijk, 2003. Groenbemesters. Van teelttechniek tot ziekten en plagen. Wageningen, Brochure PPO-316.
- Timmer, R.D., G.W. Korthals en L.P.G. Molendijk, 2004. Teelthandleiding groenbemesters. <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/teelthandleiding-groenbemesters>.
- Van Dijk, W., J. Spruijt en W. Runia (in prep). Verruiming vruchtwisseling in relatie tot mineralenbenutting en bedrijfseconomie op akkerbouwbedrijven. , Lelystad: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR.
- Verhoeven, J.T.W., C.B. Bus, W. van Dijk, W.C.A. van Geel, H.A. van Schooten, J.J. Schroder en R. Wustman, 2011. Teeltvervroeging bij consumptieaardappel en snijmais op zand ten behoeve van vanggewassen, PPO-agv, Lelystad. pp. 67.
- Verloop, J. en G.J. Hilhorst, 2010a. Mest scheiden loont. *BioKennis nieuws* 2010.
- Verloop, J., J. Oenema, S.L.G.E. Burgers, H.F.M. Aartsen H. van Keulen, 2010. P-equilibrium fertilization in an intensive dairy farming system: effects on soil-P status, crop yield and P leaching. *Nutr Cycl Agroecosyst* 87:369-382.
- Verloop, J., L.J.M. Boumans, H. van Keulen, J. Oenema, G.J. Hilhorst, H.F.M. Aarts en L.B.L. Sebek. 2006. Reducing nitrate leaching to groundwater in an intensive dairy farming system. *Nutr Cycl Agroecosyst* 74:59-74.
- Verloop, K. 2012. Beslisboom snijmais, 2012. Beslisboom snijmais op zandgrond. Duurzaam en praktisch oplossen van problemen in de teelt van snijmais (<http://www.verantwoordeveehouderij.nl>, bekeken 5 oktober 2012. In: N. i. d. Veehouderij (Ed.), Wageningen.
- Verloop, K. en J. Rensen, 2005. Wisselteelt op melkveebedrijven, Wageningen.
- Verloop, K. en G.J. Hilhorst, 2010b. Het gebruik van de dunne en dikke fractie van rundveemest op proefbedrijf De Marke. Doel, planvorming, uitvoering en resultaten, Wageningen, Koeien & Kansen - Rapport nr. 58
- Verloop, K., R.H.E.M. Geerts en G.J. Hilhorst, 2012. Gebruik van de dunne en dikke fractie van rundveemest getest op Koeien & Kansenmelkveebedrijven - Stikstofbenutting 2010 en 2011, Rapport Plant Research International nr. 466 / Koeien & Kansen - Rapport nr. 65.
- Vermeulen, T. (in prep) Nutriëntenemissie en waterstromen bij teeltsystemen los van de ondergrond in de Nederlandse vollegrondstuinbouw, Wageningen UR Glastuinbouw.

- Walvoort, D.J.J., D.J. Brus, C. van de Salm, M. Pleijte en T.P. van Tol-Leenders, 2010. Kwantificering van de fosfaattoestand in de bodem van vier stroomgebieden. Wageningen : Alterra, (Alterra-rapport 1958) - p. 51. .
- Willems, W.J. en M. van Schijndel, 2012. Evaluatie Meststoffenwet 2012: syntheserapport, Planbureau voor de Leefomgeving, PBL-publicatienummer: 500252001, Den Haag.
- Wolf, M.d. en J.J. de Haan, 2005. Gewasresten afvoeren: utopie of optie? Systeeminnovatieprogramma open teelten, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving. Wageningen UR. Lelystad. (Brochure).
- Zanen, M., J.G. Bokhorst, C. Ter Berg en G.F. Koopmans, 2008. Investeren tot in de bodem. Evaluatie van het proefveld Mest Als Kans, Louis Bolk Instituut Driebergen.

Bijlage 1 Overzicht maatregelen

Legenda bijlagen 1A, 1B, 1C

Deze bijlage bevat een overzicht aan concrete maatregelen die emissie naar grond- en oppervlaktewater beperken afgeleid uit de publicaties zoals genoemd in paragraaf 2.4. De maatregelen zijn gescoord op hun effect, de inpasbaarheid en haalbaarheid, de handhaafbaarheid en de afwenteling naar andere milieucompartimenten. Indien aanwezig is een referentie gegeven naar publicaties rond de effectiviteit van de maatregel.

Effect

- Doel verlaging N- bodemoverschot
 - + 0-10 kg/ha
 - ++ 10-30 kg/ha
 - +++ >30 kg/ha
 - Doel verlaging P- bodemoverschot
 - + 0-10 kg/ha
 - ++ 10-30 kg/ha
 - +++ >30 kg/ha
- Verbeteren bodemkwaliteit en Teelt de grond uit is een globale inschatting totale emissie
- Maatregelen in watersysteem
 - -2 duidelijk negatief effect
 - -1 negatief effect
 - 0 nauwelijks effect
 - 1 positief effect
 - 2 duidelijk positief effect

Inpasbaar/haalbaar

- + makkelijk inpasbaar en haalbaar op korte termijn
- 0 niet inpasbaar of haalbaar op korte termijn

Handhaafbaar

- + direct handhaafbaar
- 0 niet direct handhaafbaar

Afwenteling

- E verandering energieverbruik
- L verandering emissie naar de lucht (ammoniak, lachgas)
- O verandering organisch stofgehalte
- G verandering gewasbeschermingsmiddelengebruik (en emissie)
- W verandering watergebruik
- I vergroting intensieve veehouderij

Bijlage 1A. Overzicht maatregelen melkveehouderij *(zie voor uitleg en legenda pagina 47).*

Doel	Nr	Maatregel	Effect	Inpasbaar/ haalbaar	Handhaafbaar	Afwenteling	Referentie ¹
Verlaging N-bodemoverschot	1	Betere timing van mest-toediening; bemestings-periode verkorten	++	+	+		1
<i>verhoging van de N-benutting door efficiëntere bemesting</i>	2	Mestscheiding voor betere benutting van N uit eigen mest door betere verdeling van mest over de eigen gewassen	+	+	0		2,3
	3	Verbetering graslandbeheer (zoals productieve variëteiten, geen zware snede in najaar)	+	+	0		
	4	Minder beweiden voor verhoging aandeel werkzame N uit dierlijke mest	++	+	+		4
	5	Lage stikstofgehalten in het rantsoen (vermindert ammoniakemissie uit de stal en nitraatuitspoeling bij beweiding)	+	+	0		
	6	Rijenbemesting met drijfmest bij maïs	++	+	0		
<i>verhoging van de N-benutting door betere benutting mineralisatie</i>	7	Onderzaaien van vanggewas bij maïs	++	+	+		5
	8	Beter benutten N-nawerking uit gescheurd grasland	++	+	0		6, 7
	9	Laatste bouwlandjaar met gerst en onderzaai van gras voor soepele overgang naar grasland.	++	+	0		8
	10	Teelt snijmaïs in stroken uitgefreesd in gras	+	+	0	G	9
<i>aanpassing veestapel: verlaging voederbehoefte voor onderhoud</i>	11	Verlaging hoeveelheid jongvee	+	+	+	I	7
	12	Verhoging melkopbrengst per koe	+	+	0		
Verlaging P-bodemoverschot	2	Mestscheiding voor betere benutting van eigen mest door betere verdeling van P over de eigen percelen.	+	+	0	E	2, 3
	13	Verhoog de gewasbeschikbaarheid van P door gewasrotatie	+	+	0	0	10
	6	Rijenbemesting met drijfmest bij maïs	++	+	0		

¹ referenties: 1. De Marke bemest tussen 1/3 en 1/8; 2. (Verloop et al., 2009; Verloop en Hilhorst, 2010); 3. (Verloop et al., 2012); 4. (Verloop et al., 2006); 5. (Hilhorst et al., 2012); 6. (Verloop et al., 2006); 7. (Oenema et al., 2010); 8. (Verloop and Rensen, 2005); 9. www.maisteeltinstroken.nl; 10. (Verloop et al., 2010)

Bijlage 1B. Overzicht maatregelen akker en tuinbouw *(zie voor uitleg en legenda pagina 47).*

Doel	Nr.	Maatregel	Effect	Inpasbaar/ haalbaar	Handhaaf baar	Afwenteling	Referentie ¹
Verlaging N-bodemoverschot	1	Teel een stikstofvanggewas	+++	+	+	E	1, 2, 3
	2	Afwisseling van diep en ondiep wortelende gewassen	+	0	0		4
	3	Rassenkeuze	+	0	+		5
	4	Keuze voor gewassen die weinig (minerale) stikstof achterlaten	+++	0	0		6, 36
	5	Opstellen van bemestingsplan	++	+	0		7, 8, 9, 10, 11, 12
	6	Stem de organische bemesting af op de gewas- en bouwplanbehoefte	++	+	0		8, 9, 10, 11
	7	Kies de juiste N-meststoffen	+	+	0		9, 10, 11
	8	Stel de bemesting uit tot vlak voor zaaien/planten	++	+	0		8, 9, 10, 11, 12, 13
	9	Verbeter de plaatsing van organische mest en kunstmest	++	+	0		14, 15
	10	Zorg voor goede afstelling van apparatuur	+	+	+		16, 17
	11	Deel de N-gift	+	+	0	E	7, 8, 9, 10, 11, 12
	12	Bemest aan de hand van metingen aan de bodem	++	+	0		7, 8, 9, 10, 11, 12
	13	Bemest aan de hand van metingen aan het gewas	+	+	0		7, 8, 9, 10, 11, 12
	14	Gebruik GPS voor rechtrijden/voorkomen overlap	+	+	0		31
	15	Pas plaatsspecifieke bemesting toe	+	+	0		18
	16	Beregen naar behoefte	++	+	0	W, E	32
	17	Voer N-rijke gewasresten en/of niet geoogste producten af	+++	0	0	E	19, 20, 35
Verlaging P-bodemoverschot	5	Opstellen van bemestingsplan	++	+	0		7, 8, 9, 10, 11, 12
	6	Stem de organische bemesting af op de gewas- en bouwplanbehoefte	++	+	0		8, 9, 10, 11
	9	Verbeter de plaatsing van organische mest en kunstmest	++	+	0		14, 15
	18	Keuze voor gewassen met een laag of negatief fosfaatoverschot	++	+	0		33
Verbeteren bodemkwaliteit	19	Voer alleen bewerkingen uit onder goede omstandigheden en zorg voor een lage bodemdruk	++	0	0	L	21, 22
	20	Gebruik vaste rijpadensystemen	+	0	+	L	23, 24
	21	Ondiep ploegen en/of niet kerende grondbewerking	+	0	0	G, L	25
	22	Voer voldoende (effectieve) organische stof aan	+	0	0		26, 37
	23	Composteer gewasresten en breng compost terug op perceel	+	0	0	E	27, 28
Teelt de grond uit	24	Recirculerende teeltsystemen los van de ondergrond	+++	0	+	E	29, 30, 34

¹ Referenties: 1. (Timmer et al., 2003); 2. (Timmer et al., 2004); 3. (Eldering et al., 2011); 4. (Dekker et al., 2003); 5. (Verhoeven et al., 2011); 6. (Enckevort et al., 2002); 7. (Dijk and Geel, 2012); 8. (Haan, 2002); 9. (Kroonen-Backbier en Haan, 2005); 10. (Kroonen-Backbier en Haan, 2006); 11. (Postma et al., 2012); 12. (Bruulsema et al., 2009); 13. (Dekker et al., 2005); 14. (Radersma et al., 2004); 15. (Kroonen-Backbier et al., 2004); 16. www.nutrinorm.nl; 17. (Anonymus., 2007); 18. (Kikkert, 2009); 19. (Ruijter en Smit, 2007); 20. (Geel et al., 2008); 21. (Geel et al., 2009); 22. (Vermeulen en Wel, 2008); 23. (Vermeulen en Mosquera, 2009); 24. (Soane et al., 2011); 25. (Weide et al., 2008); 26. (Postma et al., 2010); 27. (Iepema et al., 2008); 28. (Dam, 2007); 29. (Dijk en Haan, 2010); 30. (Vermeulen, in prep.); 31. (Smit et al., 2011); 32. (Schoot et al., 2012); 33. (Ehlert et al., 2009); 34. www.teeltdegrond.nl; 35. (Wolf en Haan, 2005); 36. (Van Dijk et al., in prep.); 37. (Haan et al., 2010)

Bijlage 1C. Maatregelen in het watersysteem gericht op het veranderen van uit- en afspoelingsroutes *(zie voor uitleg en legenda pagina 47).*

Prioritering van ingrepen/maatregelen in het watersysteem gericht op het veranderen van uit- en afspoelingsroutes van nutriënten

De effecten op de nutriëntenstromen en de haalbaarheid van de maatregelen zijn beoordeeld. De effecten zijn op basis van expertkennis geschat met meenemen van bekende meetgegevens en rekenresultaten. (Boekel et al., 2009; Os et al., 2009; Schoumans et al., 2011) De haalbaarheid is gebaseerd op de kosten van en het draagvlak voor deze maatregelen bij de boeren, op de handhaafbaarheid en op het niet-afwentelen naar de atmosfeer.

Ingrep	maatregel	Effect			Inpasbaar/ haalbaar	Handhaaf baar	Afwenteling
		nitraat	stikstof	fosfor			
Verbeteren bodemkwaliteit	Vermijden structuurbederf	0	1	1	+	0	
Grondbewerking	Egaliseren	0	1	1	+	+	
Inrichting en beheer	Droge bufferstroken	-1	1	1	0	+	
	Greppels afdammen	-1	1	1	+	0	
Lokale bronnen reduceren	Verplaatsen vee-verzamelplekken	0	1	1	+	0	
Ontwatering blijvend verlagen (inrichting)	Draineren	-2	-2	2	+	+	0
	Vernieuwen bestaande buisdrainage	0	0	1	+	0	
	Aanleg onderwaterdrains		1	2	+	+	0
Peil verlagen (beheer)	Zomer- en winterpeilen verlagen	-1	0	1	+	+	
Real time water afvoeren	Nieuwe aanleg regelbare drainage	-1	1	2	+	+	
Ontwatering blijvend verhogen (inrichting)	Drainage opheffen	2	-1	-2	0	0	L
Peil verhogen (beheer)	Zowel winter- als zomerpeil verhogen	1	1	-1	+	+	
Actief water vasthouden	Dynamisch peilbeheer	1	1	1	+	0	
	Van drainage naar regelbare drainage	1	1	1	+	0	
	Van drainage naar onderwaterdrains		1	2	+	+	
Retentie vergroten	Verblijftijd sloten verhogen		0	0	0	+	
	Natte bufferstroken		1	-1	0	+	L
	Helofytenfilters in de sloot		1	1	+	+	L
Lokaal reinigen	Kringlopen natuurlijke zuiveringssystemen	0	0	0	+	0	L
	Drains filteren	1	1	1	+	0	
	Erf/bedrijfswater naar IBA			2	+	0	L

Bijlage 2. Factsheets

A. Factsheets maatregelen melkveehouderij

1. Mineralenmanagement
2. Mestscheiding
3. Betere benutting van N uit mineralisatie
4. Beperking van verliezen bij beweiding
5. Efficiëntere bemesting

B. Factsheets maatregelen melkveehouderij

6. Aangepaste vruchtwisseling en rassenkeuze
7. Beter bodembeheer
8. Betere bemestingsplanning
9. Meer gebruik van stikstofvanggewassen en groenbemesters
10. Afvoeren van stikstofrijke gewasresten
11. Teelt de grond uit

C. Factsheets maatregelen land-water-systeem

12. Reduceren van oppervlakkige afstroming
13. Reduceren emissies door droge bufferstroken
14. Waterbeheer op perceelsniveau
15. Zuiveren

Bijlage 2A. Factsheets maatregelen melkveehouderij

1. Mineralenmanagement

Sectoren en gewassen:	Melkveehouderij
Grondsoorten:	Alle (klei, zand, veen en löss)
Effect op N of P:	N en P
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grondwater

Omschrijving maatregel:

Op een melkveebedrijf zijn er verschillende tools voor verbetering van mineralenmanagement beschikbaar:

- Kringloopwijzer: deze geeft een veehouder inzicht in de benutting van mineralen op zijn bedrijf en daarmee een beeld van de milieuprestaties. De kringloopwijzer maakt bedrijfsspecifieke registratie mogelijk, maar is tegelijk ook bruikbaar om aan te geven hoe het management verbeterd kan worden. De kringloopwijzer bestaat uit de volgende onderdelen:
 - ExcretieWijzer (BEX): hiermee wordt de werkelijke excretie van de melkveestapel berekend in plaats van excretie op basis van forfaits voor melkvee in de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Een lagere dan forfaitaire excretie betekent minder mestafvoer en lagere kosten.
 - BEA: dit is een instrument om de ammoniakemissie bedrijfsspecifiek te berekenen.
 - BEP: is een instrument om de fosfaatopname door gewassen bedrijfsspecifiek te bepalen.
- Bemestingsplan, voor afstemming van de stikstofbemesting op de gewasbehoefte, en fosfaatbemesting op de fosfaattoestand van de percelen.

Gezien het bemestingsplan en de hoeveelheid af te voeren N en P kan bekeken worden of mestscheiding zinvol is (zie factsheet 2: Mestscheiding).

Effect op de waterkwaliteit:

Planning kan alle mogelijke maatregelen omvatten, en het effect ervan is afhankelijk van de maatregelen die worden opgenomen in het plan. Het milieukundig ver doorgevoerde plan van De Marke geeft ten opzichte van andere bedrijven op droog zand een reductie van het N-overschot met 50% en daarmee ook een halvering van de nitraatconcentratie in het grondwater. Koeien & Kansen-bedrijven gaan efficiënter om met N dan het landelijk gemiddelde gebaseerd op BIN bedrijven (N-benutting 38% vs 27%). Dit wordt toegeschreven aan beter management, en het effect van dit management kan vertaald worden in een 15% lager N-overschot.

Afwenteling

Mestscheiding of berekening van bedrijfsspecifieke excretie kunnen ervoor zorgen dat er meer N uit dierlijke mest op het melkveebedrijf gebruik kan worden. Dit leidt tot een verschuiving van toediening op bouwland naar toediening op grasland, dit geeft een hogere NH_3 -emissie omdat toedieningstechnieken op grasland hogere vervluchtigingspercentages hebben dan op bouwland (grasland: zodebemester 12% en sleepvoetbemester 29%; bouwland: bouwlandinjecteur 10% en bovengronds toedienen en vervolgens onderwerken in een werkgang 23%). Deze verschuiving is echter gunstig voor verlaging van de nitraatuitspoeling omdat de uitspoelingsfractie op grasland lager is dan op bouwland (tabel 2). Dit kan echter weer leiden tot een hogere productie van broeikasgassen (N_2O). De hoogte van al deze processen is niet gekwantificeerd.

Voors en tegens van de toepassing:**Kansen:**

- Bedrijfsspecifieke informatie en indicatie van de sterke en zwakke punten in het bedrijf voor betreft mineralenbenutting.
- Economisch voordeel door hogere productie en door lagere afvoer van mest.

Bedreigingen:

- De kringloopwijzer is nog in ontwikkeling en handhaafbaarheid moet nog verder uitgewerkt worden.

Implementatie in de praktijk:

- Derogatiebedrijven zijn al verplicht een bemestingsplan te maken voor alle landbouwpercelen met stikstofbemesting afgestemd op de gewasbehoefte en op de gebruiksnormen.
- De ExcretieWijzer wordt door tweederde van de melkveebedrijven gebruikt.
- De KringloopWijzer wordt samen met de praktijk verder ontwikkeld.

Informatiebronnen:

- Kringloopwijzer (<http://www.verantwoordeveehouderij.nl/index.asp?kansen/kringloopwijzer>)
- Excretiewijzer (<http://www.verantwoordeveehouderij.nl/index.asp?kansen/excretiewijzer>)
- Handboek Melkveehouderij (www.handboekmelkveehouderij.nl).

2. Mestscheiding

Sectoren en gewassen:	Melkveehouderij
Grondsoorten:	Alle (klei, zand, veen en löss)
Effect op N of P:	N en P
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grondwater

Omschrijving maatregel:

Drijfmest kan met verschillende methoden (schroefvijzelpers, centrifuge) gescheiden worden in een dikke en dunne fractie. In vergelijking met de drijfmest heeft de dikke fractie hogere concentraties N en P en een lagere N/P-verhouding, en de dunne fractie lagere concentraties N en P en een hogere N/P-verhouding.

Mestscheiding kan ingezet worden om kosten te besparen via afvoer van een kleiner volume mest. De producten uit mestscheiding kunnen ook gebruikt worden om percelen en gewassen op basis van dierlijke mest op maat te voorzien van N en P en efficiënter met de meststoffen om te gaan.

Effect op de waterkwaliteit:

Melkveebedrijven zullen mestscheiding primair inzetten voor kostenbesparing via beperking van het volume van afgevoerde mest. Bij afzet van de vaste fractie blijft er meer drijfmest-N op het melkveebedrijf. Bij een gelijke N-aanvoer geeft bemesting met de dunne fractie in plaats van met drijfmest een 5-10% lagere nitraatuitspoeling doordat de N-werking en NH_3 -emissie bij de dunne fractie hoger is dan bij drijfmest. Een lagere afvoer van mest naar de akkerbouw leidt tot een lagere druk op de mestmarkt en kan een positief effect hebben op de nitraatuitspoeling in de akkerbouw. Het daadwerkelijke effect op de waterkwaliteit hangt echter af van de wijze van gebruik van de afgevoerde mest in de akkerbouw.

Mestscheiding kan ook gebruikt worden om P beter te verdelen over de eigen percelen en zo situaties met hoge P-toestand te voorkomen.

Afwenteling

Van gescheiden producten is de emissie van broeikasgassen en ammoniak anders dan van onbewerkte mest, zowel bij opslag als toediening. Het netto-effect van mestscheiding op emissies is echter naar verwachting klein.

Voors en tegens van de toepassing:

Kansen:

- Economisch voordeel door volume verkleining en lagere kosten afvoer van mest. Fosfaat kan met gemiddeld 40% minder volume worden afgevoerd met de dikke fractie dan met drijfmest, bij stikstof is het volumevoordeel 16% (Verloop et al., 2009)
- Dikke fractie inzetten op maisland als organische-stof bron. Dit dient bij voorkeur gecombineerd te worden met onderzaai van een vanggewas voor vastlegging van de nawerking. De dunne fractie kan als N-bron op grasland worden gebruikt.

Bedreigingen:

- Mestscheiding is technisch goed uitvoerbaar op bedrijfsschaal, maar er zijn nog problemen zoals storingen en een lage verwerkingssnelheid, en het scheidingsresultaat varieert sterk per bedrijf.
- De infrastructuur op de bedrijven is niet altijd goed afgestemd op het gebruik van een mestscheider.

Implementatie in de praktijk:

- Er zijn verschillende mobiele installaties voor mestscheiding beschikbaar.
- Scheiden voor toepassing van de dikke fractie als beddingmateriaal in de ligboxen is zeer populair geworden. Deze toepassing heeft de aankoop van een mestscheider op individuele bedrijven sterk

bevorderd. P wordt hierbij opgepot in de stal, waardoor op korte termijn minder mest hoeft te worden afgevoerd. Mogelijk nadelig effect op uiergezondheid wordt nog nader onderzocht.

- Het aantal beschikbare scheidingsmiddelen wordt geschat op meer dan 100.

Informatiebronnen:

- Mosquera, J., R. Schils, K. Groenestein, P. Hoeksma, G. Velthof en E. Hummelink, 2010. Emissies van lachgas, methaan en ammoniak uit mest na scheiding. Wageningen UR Livestock Research, Rapport 427.
- Verloop, J., G.J. Hilhorst, F.E. Buissonjé en M.H.A. de Haan, 2009. Mest scheiden loont. V-focus (2009)12, p. 28 - 29.
- Verloop, K., R. Geerts en G. Hilhorst, 2012. Gebruik van de dunne en dikke fractie van rundmest getest op Koeien & Kansen-melkveebedrijven - Stikstofbenutting 2010 en 2011. Plant Research International, Rapport 466.
- Schröder, J.J., W. van Dijk en H. Hoek, 2011. Modelmatige verkenningen naar de relaties tussen stikstofgebruiksnormen en de waterkwaliteit van landbouwbedrijven. Onderzoek in het kader van de Evaluatie van de Meststoffenwet 2011, Wageningen, Plant Research International, Rapport 415.

3. Betere benutting van N uit mineralisatie

Sectoren en gewassen:	Melkveehouderij
Grondsoorten:	Alle (klei, zand, veen en löss)
Effect op N of P:	N
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grondwater

Omschrijving maatregel:

Een betere benutting van mineralisatie is vooral belangrijk na scheuren van grasland, en rondom de teelt van maïs. Er zijn verschillende maatregelen die hieraan bijdragen:

- **Wisselbouw:** Op De Marke is een systeem uitgewerkt waarbij maximaal gebruik wordt gemaakt van N uit mineralisatie. In dit systeem met twee tot drie jaar gras, twee jaar snijmaïs en één jaar graan is de N-opbouw in de graszode beperkt, en wordt N uit mineralisatie na scheuren van grasland optimaal benut door maïs niet (eerste jaar) of nauwelijks (tweede jaar) te bemesten. In het graan kan de nieuwe graszode tijdig worden ingezaaid voor een goede overgang naar de grasfase.
- **N-vanggewas:** bij snijmaïs wordt vrijkomende N in de laatste weken voor de oogst niet meer opgenomen. Ook na de oogst gaat mineralisatie door, en daarom is een N-vanggewas na de oogst van maïs op zandgrond verplicht gesteld. Mineraliserende N kan nog beter worden vastgelegd door onderzaai van het vanggewas. Hierdoor is het vanggewas al gevestigd op het oogsttijdstip van de snijmaïs en groeit het na de oogst vlot uit.
- **Teelt van snijmaïs in stroken:** in doodgespoten groenbemester of grasland wordt maïs gezaaid in ca. 10 cm breed gefreesde stroken. Kunstmest en/of drijfmest wordt als rijenbemesting toegediend.

Effect op de waterkwaliteit:

Bij een maïs oogst rond 15/9 geeft onderzaai een beter vanggewas dat per ha 50 kg meer N opneemt en 1-2 ton meer drogestof produceert in vergelijking met zaai na de oogst. Het effect op de waterkwaliteit hangt af van de mate waarin de bemesting in het volgende jaar wordt gecorrigeerd voor nawerking uit het vanggewas. Deze correctie kan ongeveer 20 kg per ha volggewas bedragen.

Het effect van het wisselbouw-systeem zoals wordt toegepast op De Marke wordt geschat op 1/3 van het totale effect van alle toegepaste maatregelen. Dit betekent gemiddeld voor het totale bedrijf een verlaging van het N-overschot met 25-30 kg N ha⁻¹.

Het effect van maïsteelt in stroken op waterkwaliteit is nog niet gemeten, en is sterk afhankelijk van de timing van doodspuiten en rekening houden met mineralisatie bij de hoogte van de mestgift.

Afwenteling

De hogere frequentie van graslandvernieuwing bij wisselbouw en de teelt van snijmaïs in stroken geeft een hoger gebruik van herbiciden.

Wisselbouw verlaagt de hoeveelheid organische stof in grasland, maar verhoogt deze op bouwland (maïsland). Het netto effect van wisselbouw versus permanent grasland/bouwland is niet gekwantificeerd. Scheuren van grasland bij wisselbouw geeft minder sterke mineralisatie en betere mogelijkheden voor goede N-benutting in vergelijking met permanent grasland.

Verhoging van de aanvoer van hoeveelheid organische stof in de bodem bij een beter N-vanggewas kan leiden tot meer denitrificatie, maar dit is niet gekwantificeerd.

Voors en tegens van de toepassing:

Kansen:

- Onderzaai is mogelijk zonder meerkosten ten opzichte van zaai na de oogst
- Graslandvernieuwing blijft nodig, en wisselbouw helpt de N-efficiëntie te verhogen
- Door combinatie van maïsteelt in stroken met rijenbemesting wordt de benutting van N en P verhoogd (zie ook factsheet 'efficiëntere bemesting').

Bedreigingen:

- Teveel aandacht voor de graanopbrengst die lager is dan maïs. De totale productie graan + najaarssnede gras is wel vergelijkbaar aan snijmaïs.
- Maïsteelt in stroken vraagt chemische doding van groenbemester of grasland

Implementatie in de praktijk:

- Wisselbouw en onderzaai van het N-vanggewas worden in de praktijk nog weinig toegepast. Onbekendheid met de methoden speelt hierbij een rol, de vrees voor lagere gewasproductie, naast vasthouden aan bekende teeltwijzen. Wisselbouw is minder praktisch voor percelen vlakbij de stal omdat deze bij voorkeur voor beweiding worden gebruikt, zeker bij gebruik van een melkrobot. Op een aantal Koeien en Kansen-bedrijven zal onderzaai van een vanggewas in maïs worden toegepast.
- In 2011 werd ca. 400 ha snijmaïs in gefreesde stroken geteeld

Informatiebronnen:

- Hilhorst, G.J., K. Verloop, J. van Middelaar en H.A. van Schooten, 2012. Beslisboom snijmaïs op zandgrond : duurzaam en praktisch oplossen van problemen in de teelt van snijmaïs. Koeien & Kansen, 2012 (<http://edepot.wur.nl/200827>)
- Verloop, K. en J. Rensen, 2005. Wisselteelt op melkveebedrijven. Infobladen Mest- en Mineralenkennis voor de praktijk. Serie Rundveehouderij blad 5 (<http://edepot.wur.nl/27822>).
- Verloop, K. en L. Boumans, 2006. Maïs beperkt nitraatverlies van gras, Wageningen, Koeien & Kansen Nieuwsbrief, 2006 (24):4.
- Oenema, J., H. van Keulen, R. Schils en F. Aarts, 2010 Participatory farm management adaptations to reduce environmental impact on commercial pilot dairy farms in the Netherlands. NJAS -Wageningen Journal of Life Sciences 58 (2011) 39-48
- www.maïsteeltinstroken.nl

4. Beperking van verliezen bij beweiding

Sectoren en gewassen:	Melkveehouderij
Grondsoorten:	Alle (klei, zand, veen en löss)
Effect op N of P:	N
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grondwater

Omschrijving maatregel:

Mest en urine die bij beweiding op het land komt geeft hogere N-emissies dan wanneer deze in de stal wordt verzameld en met mestinjectie op het land gebracht wordt. Vermindering van beweiding draagt daarom bij aan het verhogen van het aandeel werkzame N uit dierlijke mest. Er zijn verschillende vormen van vermindering van beweiding mogelijk:

- verkorting van de beweidsduur per dag, met zes uur per dag als ondergrens gezien de arbeidsefficiëntie,
- vee eerder opstallen in het najaar (vanaf ca. 1 september) omdat verliezen uit weidemest in het najaar toenemen,
- vee permanent opstallen.

Hiernaast kunnen N-verliezen bij beweiding ook verminderd worden via:

- omweiden ipv standweiden om de intensiteit van urineplekken te verminderen,
- vermindering van de N-excretie via verlaging van de N-gehalten in het rantsoen. Dit wordt deels ook bereikt bij eerder opstallen in het najaar omdat het gras dan vaak een relatief hoog N-gehalte heeft.

Effect op de waterkwaliteit:

Op De Marke was de nitraatconcentratie bij beweiding 30 mg l⁻¹ hoger dan bij maaien (Verloop et al., 2006). Hierbij was de beweiding al aangepast ter vermindering van de nitraatuitspoeling door het hanteren van een omweidingssysteem en een verlaagde beweidsintensiteit met maximaal 6 uur per dag.

Afwenteling

Stalvoeding in plaats van beweiding leidt tot een hoger energieverbruik en een verhoging van de methaanemissies. De lachgasemissie daalt echter. Het netto effect op broeikasgasemissies is niet gekwantificeerd.

Voors en tegens van de toepassing:

Kansen:

- Minder beweiden vergroot het inzicht in wat de koe aan voer opneemt.
- Minder beweiden biedt meer mogelijkheden de voordelen te benutten van mestmanagement en mestbewerking.
- Stalvoeding kan bedrijfseconomisch voordeel hebben boven beweiding.
- Gebruik van een melkrobot vraagt om vee dicht bij de stal, en dus minder beweiding.

Bedreigingen:

- Lagere beweiding geeft minder koeien in de wei en verandert het landschappelijk beeld.
- Er is een maatschappelijke wens om koeien in de wei te laten lopen.
- Eerder opstallen vraagt om een grotere mestopslagcapaciteit.
- Weidegang heeft effect op de kwaliteit van de melk, aangezien grazende koeien meer meervoudig onverzadigde vetzuren produceren dan koeien die vers gras in de stal krijgen voorgeschoteld.

Implementatie in de praktijk:

In alle weidegebieden neemt permanent opstallen toe, dag en nacht weidegang af en blijft het aandeel van het melkvee dat alleen overdag geweid wordt relatief constant. In 2011 werd gemiddeld over Nederland 30% van

het melkvee binnen gehouden, en bedroeg het aandeel melkkoeien met dag en nacht weidegang minder dan 20% in 2011. Ruim de helft van het melkvee wordt overdag geweid (CBS, 2012).

De mate van beweiding in de toekomst is moeilijk te voorspellen. In juni 2012 heeft een groot aantal partijen het Convenant Weidegang getekend waarin verschillende partijen streven naar een weidegang van minimaal 120 dagen per jaar, tenminste 6 uur per dag. Deze ondergrens wordt ook gehanteerd door zuivelbedrijven voor het uitbetalen van een weidepremie.

Informatiebronnen:

- CBS, Statline, 2012.
- Van den Pol - van Dasselaar, A., 2005. Weidegang in beweging - Grazing on the move. PraktijkRapport Rundvee 81.
- Verloop, J., L.J.M. Boumans, H. van Keulen, J. Oenema. G.J. Hilhorst, H.F.M. Aarts en L.B.J. Sebek, 2006) Reducing nitrate leaching to groundwater in an intensive dairy farming system. Nutr Cycl Agroecosyst 74:59-74.

5. Efficiëntere bemesting

Sectoren en gewassen:	Melkveehouderij
Grondsoorten:	Alle (klei, zand, veen en löss)
Effect op N of P:	N en P
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grondwater

Omschrijving maatregel:

Verhoging van de benutting kan via:

- Betere timing van mest-toediening door de bemestingsperiode te verkorten. Zo wordt op De Marke bemest van 1 maart tot 1 augustus, terwijl de wettelijk toegestane periode voor grasland loopt van 16 februari tot 1 september.
- Toedienen van drijfmest als rijenbemesting bij maïs. De combinatie met tegelijkertijd zaaien verlaagt de zaaisnelheid. GPS maakt het mogelijk om bemesting en zaaien in twee aparte werkgangen te doen waardoor het logistiek mogelijk is. Rijenbemesting met drijfmest maakt kunstmesttoediening bij maïs overbodig.

Effect op de waterkwaliteit:

Volgens De Marke geeft rijenbemesting met drijfmest bij maïs een besparing van ongeveer 20 kg N en 10 kg fosfaat per ha met gelijkblijvende opbrengst. De Adviesbasis Bemesting Grasland en Voedergewassen geeft aan dat via rijenbemesting met 80% van de adviesgift kan worden volstaan.

Een betere timing van bemesting is vooral belangrijk voor grasland waar de N-benutting met 5% verhoogd kan worden. Dit kan vertaald worden in een 5-10 % lager N-overschot.

Afwenteling

Vergroting van de mestopslagcapaciteit en preciezere bemesting brengt kosten met zich mee en heeft effect op het financiële resultaat.

Voors en tegens van de toepassing:

Kansen:

- Effectief zonder opbrengstverlies.
- Landbouwkundige en milieukundige voordelen gaan hand in hand: een lager verlies resulteert bij vaste gebruiksnormen in een betere graskwaliteit (hoger eiwitgehalte).
- Technieken zijn ontwikkeld.

Bedreigingen:

- Onvoldoende opslagcapaciteit voor mest.
- Structuurbederf, vooral op klei, veen en löss.

Implementatie in de praktijk:

Opslagcapaciteit van mest speelt een belangrijke rol bij implementatie van verbeterde timing van mesttoediening in de praktijk: wanneer er voldoende opslagruimte beschikbaar is, is de druk om in ongunstige perioden mest uit te rijden kleiner.

Toepassen van drijfmest in de rij bij maïs was in 2008 op ca. 500-1000 ha.

Informatiebronnen:

Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen (www.bemestingsadvies.nl)

Bijlage 2B. Factsheets maatregelen akker- en tuinbouw

6. Aangepaste vruchtwisseling en rassenkeuze

Sectoren en gewassen:	Akkerbouw, vollegrondsgroenten
Grondsoorten:	Alle
Effect op N of P:	N
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grondwater

Omschrijving maatregel:

Met de keuze van het bouwplan kan het N/P-overschot en de kans op uitspoeling van met name stikstof worden beïnvloed. Gewassen verschillen sterk in N-behoefte en N-efficiency, in N- en P-overschot en in de hoeveelheid minerale N die na de oogst achterblijft.

Het jaarrond bedekt houden van de bodem is vaak gunstig voor de N-opname door het inpassen van stikstofvanggewassen (onderzaai of naoogst) of het telen van gewassen die al in het najaar worden gezaaid (granen, grassen e.d.). Dit beperkt daarnaast de kans op afspoeling. Afwisselend telen van ondiep (aardappelen, maïs, veel groentegewassen) en diep wortelende gewassen (granen, suikerbieten) verlaagde de nitraatuitspoeling op lössgrond (Dekker et al., 2003). Gewassen verschillen sterk. Door een juiste vruchtopvolging te kiezen gaat zo weinig mogelijk stikstof verloren.

Verschillende rassen van een gewas kunnen sterk verschillen in opbrengst en stikstofbehoefte. Dit is vooral bekend bij aardappelen, maar ook bij andere gewassen zijn er rasverschillen in opbrengst en dus N-afvoer. De geadviseerde bemesting kan daarnaast verschillend zijn uit kwaliteitsoogpunt (inhoudsstoffen of kans op legering). Door rassen te kiezen met eenzelfde stikstofbehoefte, maar wel met een hogere opbrengst of door rassen te kiezen met eenzelfde opbrengst, maar een lagere N-behoefte kan het N-overschot worden verkleind. Door de geteelde gewassen naar behoefte met P te bemesten en rekening te houden met Pw en PAI getallen kan de aanvoer worden beperkt in plaats van de fosfaataanvoernorm volledig te benutten.

Effect op de waterkwaliteit:

Met een ruimer bouwplan door telen van meer graan, inpassen van rustgewassen of ruilen met grasland kan het N-overschot op bouwplanniveau met 5 tot 15 kg worden verlaagd.

Het vroeger oogsten van gewassen (aardappelen en maïs) gevolgd door telen van een groenbemester kan op bouwplanniveau een daling van het stikstofoverschot opleveren tot 20 kg N/ha.

Door gewassen naar behoefte met fosfaat te bemesten kan het overschot worden verlaagd.

Het N-overschot tussen rassen van aardappelen kan tot 40 kg N/ha verschillen.

Afwenteling

Wanneer meer granen en groenbemesters binnen een vruchtwisseling geteeld worden is de kans groot dat de organische stofaanvoer toeneemt en meer koolstof wordt opgeslagen. Wanneer bemest wordt volgens de behoefte van het gewas kan minder organische mest worden toegepast waardoor de organische stofaanvoer afneemt. Effecten op emissies naar de lucht als gevolg van aangepaste vruchtwisseling en rassenkeuze zijn niet gekwantificeerd.

Voors en tegens van de toepassing:

Kansen:

- Informatie en kennis over goede vruchtwisseling is voorhanden.
- Aanbod aan rassen is bij de meeste gewassen groot.
- Verdere ontwikkeling van rassen met laag overschot en hoge efficiëntie.
- Veel gewassen kunnen met minder P toe dan ze nu krijgen.

Bedreigingen:

- Rassenkeuze wordt bepaald op basis van andere kenmerken zoals financiële opbrengst, afzetmogelijkheden, ziekteresistentie enz.
- Het telen van diep-wortelende gewassen die weinig N- nalaten, zoals granen, verlaagt het bedrijfssaldo aanzienlijk.
- Kennis over rasspecifieke N-opname of N-efficiëntie is bij veel gewassen beperkt.

Implementatie in de praktijk:

- Bij aardappel bestaat al gebruiksnormdifferentiatie en differentiatie in bemestingsadvies. Bij andere gewassen bestaat dit niet.
- Gewaskeuze wordt nu nauwelijks bepaald door milieuaspecten.
- De P-aanvoer wordt in de huidige praktijk gestuurd door de gebruiksnorm en de organische stofaanvoer.

Bronnen:

- Dijk, W. van en W. van Geel (samenstelling), 2012. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. PPO 307. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR.
- Dijk, W. van, J. Spruijt en W. Runia. In prep. Verruiming vruchtwisseling in relatie tot mineralenbenutting en bedrijfseconomie op akkerbouwbedrijven. Lelystad: Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR. Projectnummer: 32 502336 00
- Dekker, P.H.M., S. Radersma, J.R. van der Schoot en M. de Wolf, 2003. Scenariostudie 'maatregelen voor de akkerbouw op lössgrond om met inzet van dierlijke mest aan Minas- en nitraatnormen te voldoen'. Lelystad: PPO, Business-unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroente.
- Enckevort, P.L.A. van, J.R. van der Schoot en W. van den Berg, 2002. Estimation of residual mineral soil nitrogen in arable crops and field vegetables at standard recommended N-rates. In: H.F.M. ten Bergh (Ed.) A review of potential indicators for nitrate loss from cropping and farming systems in the Netherlands. Reeks Sturen op Nitraat 2. p. 77-90
- Ehlert, P.A.I., P.H.M. Dekker, J.R. van der Schoot, R. Visschers, J.C. Curth-van Middelkoop, M.P. van der Maas, A.A. Pronk en A.M. van Dam, 2009. Fosforgehalten en fosfaatafvoercijfers van landbouwgewassen: eindrapportage. Wageningen: Alterra, 2009 (Alterra-rapport 1773)
- De Haan J.J. en A. Garcia Diaz (eds.) 2002. Manual on Prototyping Methodology and Multifunctional Crop Rotation. VEGINCO Report 2. Applied Plant Research. Lelystad.

7. Beter bodembeheer

Sectoren en gewassen:	Akkerbouw, vollegrondsgroenten
Grondsoorten:	Alle
Effect op N of P:	N en P
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grondwater

Omschrijving maatregel:

De bodem is de basis voor een goede opbrengst en kwaliteit van gewassen. Hoe beter de randvoorwaarden voor een goede plantengroei, des te minder hoeft de teler te doen om tot een goede gewasopbrengst te komen. Zorgen voor een voldoende organische stofaanvoer en het voorkomen van structuurschade zijn belangrijk voor veel bodemaspecten. Het werken met vaste rijpaden of overgaan naar minimale grondbewerking of niet kerende grondbewerking zorgt voor behoud van de poriënstructuur en geeft bodemleven meer kans.

Effect op de waterkwaliteit:

- Op korte termijn kan het N-overschot met 0-5% worden verlaagd.
- Of op langere termijn een hogere reductie kan worden bereikt is onzeker, maar een verdere reductie tot 20% zou mogelijk moeten zijn.
- Minder grondbewerking verkleint de kans op afspoeling.
- Door minder slechte plekken in perceel wordt de kans op uitspoeling verkleind.

Afwenteling

Een beter bodembeheer verhoogt het organische stofgehalte in de bodem door een lagere afbraak en een hogere aanvoer. Het vermindert daarmee ook de broeikasgasemissies naar de lucht. Als zelf organisch materiaal gecomposteerd wordt en teruggebracht wordt op het land kost het composteren wel energie en treden emissies op naar de lucht en water. De hoogte hiervan is niet bekend.

Voors en tegens van de toepassing:

Kansen:

- Onderwerp heeft de aandacht en er loopt veel onderzoek.
- Van goed bodembeheer heeft men jarenlang profijt.

Bedreigingen:

- Schaalvergroting leidt tot verminderde aandacht per vierkante meter en versleping van bodemziekten.
- Effecten van bodembeheer zijn vaak pas op de lange termijn zichtbaar. In langjarig onderzoek is soms wel, soms geen verschil in opbrengst tussen verschillende hoeveelheden en of soorten organische stof vastgesteld.
- Meer organische stof betekent meer broeikasgasemissie en risico op hogere mineralisatie en meer uitspoeling.
- Met organische stof wordt ook vaak P aangevoerd waardoor fosfaatoverschot toeneemt
- Aanvoer van organische stof kost geld (product en toedienen).
- Meer last van onkruid en onderwerken gewasresten bij niet-kerende grondbewerking.
- Zware mechanisatie en het laat in het seizoen oogsten onder slechte omstandigheden bederven de bodemstructuur, maar is bij aantal gewassen onvermijdelijk.

Implementatie in de praktijk:

- De bereidheid om meer organische stof aan te voeren is aanwezig, maar een verhoging van het organische stofgehalte door aanvoer van grote hoeveelheden organische stof is met de huidige mestwetgeving niet of nauwelijks meer mogelijk.
- Beschikbaarheid van organische meststoffen zoals compost is gering.
- Gewijzigde methoden van grondbewerking vergt aanpassing van machines en wordt daarom nog weinig toegepast.

Bronnen:

- Berge, H. ten en J. Postma (red), 2010. Duurzaam bodembeheer in de Nederlandse landbouw. Visie en bouwstenen voor een kennisagenda. Plant Research International, onderdeel van Wageningen UR. Wageningen. <http://edepot.wur.nl/167923>
- Boonekamp, P.M. (red). 2012. Beleidsondersteunend onderzoek verduuzaming plantaardige productieketen (BO-VPP) BO-12.03 : rapportage 2011 : duurzame en gezonde bodem (BO-12.03-002 en BO-12.03-003). Wageningen : Plant Research International. <http://edepot.wur.nl/202479>
- Haan, J.J. de; W. Sukkel, L.P.G. Molendijk en B.J.M. Meijer, 2011. Vruchtbare Gronden; Praktijkonderzoek Plant & Omgeving werkt aan bodemkwaliteit. Lelystad : PPO-agv / WUR, (PPO publicatie 411) - p. 39. <http://edepot.wur.nl/172905>
- Postma, R., G.W. Korthals, R. A.J. Termorshuizen, P. Dekker, T. Thoden, 2010. Effecten van verse organische stof. NMI rapport 1326
- Soane, B.D., B.C. Ball, J. Arvidsson, G. Basch, F. Moreno en J. Roger-Estrade, 2011. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. Soil & Tillage Research 118 (2012) 66–87.

8. Betere bemestingsplanning

Sectoren en gewassen:	Akkerbouw, vollegrondsgroenten
Grondsoorten:	Alle
Effect op N of P:	N en P
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grondwater

Omschrijving maatregel:

In een goed bemestingsplan wordt de bemesting zo optimaal mogelijk afgestemd op de behoefte van het gewas. Daarvoor is een veelheid aan input nodig, zoals de geteelde gewassen, de N- en P-behoefte, stikstofbodemlevering, fosfaattoestand, kennis van de werking van de toegepaste meststoffen en nawerking van gewasresten en vervolgens het tijdstip van bemesten en de keuze van de organische mest (waaronder de N/P-verhouding) en kunstmestsoorten. Door rekening te houden met N-minvoorraad in het voorjaar, de bodemlevering en nalevering van eerder toegediende mest en gewasresten kan de hoogte van de N-bemesting verder worden verfijnd.

Met plaatsing van meststoffen (rijenbemesting met N en P) kan in bepaalde gewassen een efficiency winst worden behaald. Variatie binnen het perceel kan in kaart worden gebracht en met GPS-technieken kan plaatsspecifiek worden bemest. Met de onzekere factor van de beschikbare hoeveelheid N tijdens het groeiseizoen kan rekening worden gehouden door gedeelde bemesting toe te passen.

Effect op de waterkwaliteit:

Een efficiëntere bemesting en een betere benutting verlagen het N/P-overschot met 10% N en 20 tot 50% P. Door meststoffen op het juiste moment en op de juiste plaats toe te dienen wordt de opname verbeterd en de kans op uitspoeling verlaagd. Aanvullende maatregelen verhogen de opname van toegediende meststoffen op perceelsniveau (rassen, beregenen) of verhogen de benutting van nutriënten binnen het bouwplan (vanggewassen, oogstrestenbeheer).

Afwenteling

Een betere bemestingsplanning leidt tot minder inzet van meststoffen en daarmee minder broeikasgasemissies. Echter kan het ook leiden tot meer bewerkingen door deling van giften en een betere watervoorziening waardoor het energiegebruik toeneemt. Tevens kan met een betere watervoorziening het watergebruik stijgen.

Voors en tegens van de toepassing:

Kansen:

- Huidige gebruiksnormenstelsel is niet op perceelsniveau, maar op bedrijfsniveau.
- Informatie, kennis en tools om op perceelsniveau een goed bemestingsplan op te stellen zijn voorhanden.
- De effecten van geleide bemestingsmethoden op perceelsniveau zijn redelijk tot goed onderbouwd
- Technische ontwikkelingen maken het steeds beter mogelijk plaats specifiek te bemesten.
- Goede registratie van teeltgegevens en metingen met ICT pakketten zorgt voor betere advisering
- Ook goede vochtvoorziening is belangrijk. De technologie om continue vocht te meten in de bodem en daarop in te spelen met beregening is beschikbaar en wordt goedkoper om te gebruiken.
- Met verplichte mestverwerking in de veehouderij komen de mogelijkheden om mestproducten op maat te maken passend bij de behoefte van het gewas meer beschikbaar.

Bedreigingen:

- Voor het maken van goede bemestingsplannen is veel informatie nodig. Eenvoudige bemestingsplannen doen geen recht aan specifieke situaties. Voor uitgebreide bemestingsmodules is veel input nodig, waarvan een deel alleen maar kan worden geschat en ze vergen veel administratie.
- Geleide bemesting resulteert niet altijd in een lagere bemesting en daarmee niet in een lager overschot
- Kosten van de bemonstering en analyse, toediening (apparatuur) en andere meststoffen zijn vaak hoger dan de (voorziene) baten.

Implementatie in de praktijk:

- Het overgrote deel van de bedrijven maakt een bemestingsplan, maar meestal is dit vrij globaal. Het gebruik van een gedetailleerd bemestingsplan is beperkt omdat de noodzaak niet wordt ingezien en/of aan de betrouwbaarheid wordt getwijfeld.
- Met de aanvoer van organische mest wordt vaak maximaal fosfaat toegediend en geen rekening gehouden met de benodigde hoeveelheid P.

Bronnen:

- Dijk, W. van en W. van Geel (samenstelling), 2012. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. PPO 307. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR.
- Haan J.J. de (ed.), 2002. Integrated and Ecological Nutrient Management. VEGINECO Report 3. Applied Plant Research. Lelystad. <http://edepot.wur.nl/11787>
- Kroonen, B.M.A. en J.J. de Haan, 2005. Een goed stikstofbeheer is geld waard, Preiteler, haal meer stikstof uit de bodem! Brochure bemesting in prei tbv prei-demo Vredepeel 28 oktober 2005. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Vredepeel.
- Kroonen, B.M.A. en J.J. de Haan, 2006. Een goed stikstofbeheer is geld waard, Maïsteler, haal meer stikstof uit de bodem! Brochure bemesting in maïs tbv maïsmanifestatie Vredepeel 7 september 2006. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Vredepeel.
- Postma, R., L. van Schöll, H.J. Russchen, H. de Boer, J. Dogterom en P.J. van Erp, 2012. Naar een duurzaam bodem - en nutriëntenbeheer in de akkerbouw. Wageningen: Nutriënten Management Instituut NMI BV.

9. Meer gebruik van stikstofvanggewassen en groenbemesters

Sectoren en gewassen:	Maïs, akkerbouw, vollegrondsgroenten en bloembollen
Grondsoorten:	Alle (klei, zand, veen en löss)
Effect op N of P:	N
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grondwater

Omschrijving maatregel:

Een groenbemester/stikstofvanggewas legt stikstof vast in het najaar en draagt bij aan de organische stofvoorziening van de bodem. De in de groenbemesters vastgelegde stikstof komt in het volgende teeltseizoen weer vrij en kan door het dan geteelde gewas worden benut, zeker als in de bemesting met deze nawerking rekening wordt gehouden. Dit effect is groter bij een winterhard gewas dan bij een niet winterhard gewas. Een groenbemester wordt meestal bemest en heeft als voornaamste doel de productie van organische stof. Een stikstofvanggewas wordt niet bemest en heeft als voornaamste doel stikstof vast houden.

Effect op de waterkwaliteit:

Het effect van een groenbemester/stikstofvanggewas is met name afhankelijk van het zaaitijdstip, de voorraad N-min in de bodem, de eventuele bemesting en het tijdstip van inwerken (voor of na de winter). Een groenbemester/vanggewas kan tot meer dan 100 kg N/ha opnemen. Het effect op emissies naar grond- en oppervlaktewater kan ook variëren van 0-100 kg N/ha. In het volgseizoen kan een groenbemester tussen de 0-50 kg N/ha naleveren, dit is mede afhankelijk van het volggewas. Deze nalevering kan gekort worden op de stikstofgift.

Afwenteling

Het inzaaien en onderwerken van een groenbemester kost extra energie. Er is geen afwenteling op de lucht.

Voors en tegens van de toepassing:

Kansen:

- Groenbemester/stikstofvanggewas verbetert de bodemstructuur en levert organische stof.
- Teelt van groenbemester/stikstofvanggewas levert gebruiksruimte op voor telers
- Teelt van groenbemester/stikstofvanggewas levert stikstof op voor volggewas
- Zaadbedrijven ontwikkelen nieuwe rassen groenbemesters/stikstofvanggewassen die resistent zijn tegen belangrijke aaltjessoorten en die winterhard zijn

Bedreigingen:

- Veel gewassen worden te laat geoogst voor een goede ontwikkeling van de groenbemester/stikstofvanggewas en daarmee een substantiële afname van emissies.
- Groenbemesters/stikstofvanggewassen kunnen schadelijke nematoden vermeerderen, een juiste keuze van gewas en ras is daarom nodig. Om deze reden zien veel telers af van het telen van een groenbemester.
- Slechte groeiomstandigheden in het najaar geven kans op een slecht ontwikkelde groenbemester/stikstofvanggewas.
- Telers hebben/nemen te weinig tijd om direct na oogst een groenbemester/stikstofvanggewas te telen.
- Groenbemester/stikstofvanggewas wordt soms niet geteeld om bestrijding van aaltjes (ontsmetten/zwarte braak), bestrijding van (wortel)onkruiden en/of voorkomen van opslag (verliesknollen, -korrels) mogelijk te maken.

Implementatie in de praktijk:

- Vanggewassen zijn wettelijk verplicht na de teelt van maïs
- Veel telers telen al een groenbemester (>50 % van de telers)

- Gewassen zullen niet eerder worden geoogst om een groenbemester te kunnen inzaaien als dit ten koste gaat van de financiële opbrengst of kwaliteit van het gewas. Een beperkte vervroeging van de oogst lijkt alleen mogelijk bij maïs.
- Met het beschikbaar komen van winterharde, resistente gewassen die ook laat kunnen worden gezaaid kan het ingezaaide areaal flink toenemen

Informatiebronnen:

- Hoek, H. en J. Paauw, 2009. Perspectieven van verschillende gewassen als stikstofvanggewas na de oogst van maïs. <http://edepot.wur.nl/10607>
- Timmer, R.D., G.W. Korthals en L.P.G. Molendijk, 2003. Groenbemesters. Van teelttechniek tot ziekten en plagen. Brochure PPO-316;
- Timmer, R.D., G.W. Korthals en L.P.G. Molendijk, 2004. Teelthandleiding groenbemesters.
- <http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/teelthandleiding-groenbemesters>.
- Verhoeven, J., C. Bus, W. van Dijk, W. van Geel, H. van Schooten, J. Schröder en R. Wustman, 2011. Teeltvervroeging bij consumptieaardappel en snijmaïs op zand ten behoeve van vanggewassen. PPO 177975. Projectnummer: 32 501730 10

9. Afvoeren van stikstofrijke gewasresten

10.

Sectoren en gewassen:	Akkerbouw, vollegrondsgroenten
Grondsoorten:	Vooraf zandgronden
Effect op N of P:	N en P
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grondwater

Omschrijving maatregel:

Stikstofrijke gewasresten als gewasresten van suikerbieten en diverse groentegewassen veroorzaken veel uitspoeling. Met het afvoeren van gewasresten na de oogst wordt N en P van het verwijderd en kan de uitspoeling sterk worden verminderd. Hierbij gaat het met name om de periode in de vroege herfst (15 sept tot 15 okt) wanneer het lastig is om nog een goede groenbemester te telen en de stikstofmineralisatie uit de gewasresten nog hoog is. Daarnaast speelt het met name op de droge zandgronden waar de uitspoeling het sterkste is. De afgevoerde gewasresten moeten op een goede wijze verwerkt worden (vergisting, compostering, veevoer) en bij voorkeur in het voorjaar weer teruggebracht worden.

Effect op de waterkwaliteit:

Afhankelijk van de soort gewasrest kan het N-overschot met 20 tot 100 kg/ha worden verminderd en wordt 5 tot 70 kg P₂₀₅ afgevoerd. Van deze stikstof kan bij achterlaten op het land meer dan de helft beschikbaar in de herfst voor uitspoeling. Er is geen besparing om stikstofgiften te verwachten. Er kan zelfs extra N nodig omdat de nawerking van gewasresten vervalst en minder organische stof achterblijft wanneer de verwerkte gewasresten in het volgende voorjaar niet teruggebracht worden.

Afwenteling

Het kost energie om de gewasresten af te voeren en te verwerken en het restproduct weer terug te voeren. Vergisting van afgevoerde gewasresten kan ook weer energie opleveren. Afvoeren van gewasresten vermindert de gasvormige verliezen naar de lucht. Afvoeren van gewasresten onder slechte omstandigheden kan tot verslechtering van de bodemkwaliteit leiden vanwege structuurbederf.

Voors en tegens van de toepassing:

Kansen:

- De maatregel wordt op dit moment vrijwel niet toegepast.
- Behoorlijk potentieel areaal. Suikerbieten, koolgewassen, prei en sla.
- Er is vraag naar gewasresten als grondstof voor bioraffinage, vergisting, inhoudsstoffen
- Restproduct van verwerking (digestaat) is een waardevolle grondstof als organische stofbron met een stabielere organische stof dan de gewasresten zelf

Bedreigingen:

- Met het afvoeren van gewasresten verminderd de aanvoer van organische stof, wat ongunstig is voor de bodemkwaliteit.
- De gewasrest moet een zinvolle bestemming krijgen waarbij geen afwenteling mag plaats vinden.
- Er is geen besparing op de N- en P-gift te verwachten.
- Afvoeren van restproduct geeft kans op structuurbederf, mede daarom beperken tot de droge zandgronden.
- Afvoeren brengt kosten met zich mee.
- Verwaarden van de gewasresten is lastig

Implementatie in de praktijk:

- Belang voor de teler lijkt klein
- Kosten voor de teler
- Energiekosten
- Aanpassing machines noodzakelijk (bietenrooier) en opraapmachines
- Arbeid en kosten voor vervoer

Bronnen:

- Geel, W.C.A. van, J.J. de Haan, F.J. de Ruijter, A.L. Smit en H.A.G. Verstegen, 2008. Effect verlaging gebruiksnorm en afvoer gewasresten op de nitraatuitspoeling: deelonderzoek voor Telers Mineraal Paraat uitgevoerd in 2005-2007 binnen project Nutriënten Waterproof. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Lelystad. 72 blz.
- Ruijter, F. de en A.L. Smit, 2007. Het lot van stikstof uit gewasresten. Plant Research International Wageningen UR. Wageningen. Rapport nr. 133.
- Wolf, M. de en J.J. de Haan 2005. Gewasresten afvoeren: utopie of optie? Systeeminnovatieprogramma open teelten. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving. Wageningen UR. Lelystad. (Brochure)

11. Teelt de grond uit

Sectoren en gewassen:	Vollegrondsgroenten en andere vollegrondstuinbouw
Grondsoorten:	Alle
Effect op N of P:	N en P
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grond- en oppervlaktewater

Omschrijving maatregel:

Teelt de grond uit omvat nieuwe teeltsystemen die los van de ondergrond kunnen functioneren en waar water en nutriënten zoveel mogelijk worden gerecicleerd en hergebruikt. De systemen zijn momenteel in ontwikkeling in het onderzoeksprogramma Teelt de grond uit. In dit programma worden voor alle vollegrondstuinbouwsectoren nieuwe teeltsystemen ontwikkeld. Dit zijn zowel drijvende teeltsystemen (deep flow, voor veel groentegewassen), als systemen met een dunne waterlaag (NFT, voor aardbeien), als systemen met substraat in goten, potten of bedden (voor boomkwekerij, bloembollen en fruitteelt). In de ontwikkeling wordt veel gebruik gemaakt van kennis en technieken uit de glastuinbouw. Technisch lijken vrijwel alle gewassen los van de ondergrond geteeld te kunnen worden. De belangrijkste vraag voor toepassing is of dit rendabel en robuust kan. De maatregel is vanwege de hoge investeringskosten met name geschikt voor de kapitaalsintensieve teelten.

Effect op de waterkwaliteit:

Met teelt de grond uit wordt gestreefd naar een emissiereductie naar grond en oppervlaktewater van tenminste 70%. Het is nog lastig aan te geven of dit in alle gewassen en systemen gehaald wordt omdat dit van veel factoren afhankelijk is als de EC en natriumgevoeligheid van gewassen, de kwaliteit van het ingaande water en de meststoffen, het optreden van ziekten en plagen in de systemen en of er sprake is van neerslagoverschotten in de systemen. De verwachting is dat het vooral een kosten en techniek probleem is dat oplosbaar is. Hierbij gaat het om het ontwikkelen van de juiste systemen en het inzetten van (dure) zuiveringstechnieken. Aangesloten kan worden bij de ontwikkelingen en afspraken die in de glastuinbouw zijn gemaakt.

Afwenteling

Teelt de grond uit kan leiden tot meer energiegebruik. Met name indirect energie gebruik is hoger door een hoger materiaalgebruik. Daarnaast is energie nodig voor het rondpompen van water. Wel wordt er energie bespaard door besparing op bewerkingen.

Voors en tegens van de toepassing:

Kansen:

Met Teelt de grond uit zijn andere voordelen haalbaar op gebied van:

- Arbeidsproductiviteit
- Arbeidsomstandigheden
- Opbrengst en productkwaliteit
- Gewasbeschermingsmiddelengebruik en -emissie

Bedreigingen:

- Hoge investeringskosten en grotere investeringsrisico's
- Onduidelijkheid over optreden (nieuwe) ziekten en plagen in nieuwe teeltsystemen: risico's op oogstmislukking en lozen van water
- Hoger materiaal en totaal energiegebruik, hogere broeikasgasemissies

Implementatie in de praktijk:

De eerste praktijkbedrijven zijn aan het testen in de praktijk, over het algemeen nog op kleine schaal.

Bronnen:

- www.teeltdegronduit.nl
- Dijk, S.M. van en J.J. de Haan, 2010. Teelt de grond uit, Ontwerp van nieuwe teeltsystemen los van de ondergrond voor de vollegrondstuinbouw, Verslag van de start- en ontwerpfase van Teelt de grond uit. Lelystad : Wageningen UR, - p. 19. <http://edepot.wur.nl/146296>
- Vermeulen, T et al. in prep. Nutriëntenemissie en waterstromen bij teeltsystemen los van de ondergrond in de Nederlandse vollegrondstuinbouw. Wageningen UR Glastuinbouw.

Bijlage 2C. Factsheets maatregelen land-water-systeem

12. Reduceren van oppervlakkige afstroming

Sectoren en gewassen:	Alle sectoren en gewassen
Grondsoorten:	Alle, daarnaast waterhuishouding relevant
Effect op N of P:	N en P
Effect op grond of oppervlaktewater:	Grond- en vooral oppervlaktewater

Het tegengaan van oppervlakkige afstroming (runoff) moet worden overwogen omdat de emissies via deze route groot kunnen zijn en omdat deze maatregelen door de boer zelf kunnen worden genomen en de kosten voor deze maatregelen laag zijn waardoor de inpasbaarheid/haalbaarheid van deze maatregel realisatie groot zal zijn.

Omschrijving maatregel:

Runoff treed op wanneer de bodem de neerslag niet voldoende snel kan verwerken en het water via het maaiveld afstroomt naar laagtes en/of ontwateringsmiddelen. Runoff wordt (in het bijzonder op lichte klei- en zavelgronden) vergroot door groundbewerking (verslepen i.e. korstvorming bij grote neerslagintensiteit resulterend in lage infiltratiecapaciteit), door het verdichten van de bodem door rijden met (te) zware machines onder natte omstandigheden (structuurbederf, verdichten ondergrond resulterend in slechte doorlatendheid), via het graven van geultjes om plasvorming op het land om natschade/opbrengstderving te voorkomen (door het verbinden van de lokale laagten met de sloten). De grootte van runoff is in Nederland niet goed bekend, meten is lastig en runoff is nog moeilijk te relateren aan fysische kenmerken. Dat runoff een niet te verwaarlozen proces is bewijzen de vele regelmatig zichtbare plassen aan maaiveld, de sporen van afstroming en de gegraven geultjes. Het belang van runoff voor de waterkwaliteit kan groot zijn omdat de concentraties nutriënten en daarmee de naar het oppervlaktewater afspoelende vrachten groot kunnen zijn. Appels (in prep.) probeert dit proces te kwantificeren en op te schalen.

Effect op de waterkwaliteit:

De effectiviteit van de maatregelen gericht op het tegengaan van oppervlakkige afstroming kunnen relatief gezien groot zijn, blokkeren van de maaiveldafvoer of opvangen in zaksloten reduceren de maaiveldafvoer in theorie met 100%. Het effect op de concentraties in het oppervlaktewater wordt derhalve bepaald door de grootte van de oppervlakkige afstroming en de concentraties van nutriënten en hierover bestaan weinig gegevens. Op een zeer zware kleigrond te Waardenburg (Koopmans et al., 2012) is gedurende een reeks opeenvolgende jaren intensief gemeten. Daarbij bleken de verschillen tussen de jaren zoals verwacht aanzienlijk te zijn, in natte jaren (zonder scheurvorming) bleek oppervlakkige afstroming via greppels voor deze grond het belangrijkste afvoerproces. Incidentele gebeurtenissen voerden tot 50% van de totale nutriëntenverliezen af. In oppervlakkige afvoer op fosfaatrijke zandgrond in Limburg (Noij et al., 2009) zijn concentraties gemeten boven 25 mg/L N en 10 mg/L P. De mediane waarden voor deze metingen waren 10 mg/L N resp. 5 mg/L P. Dit levert ten opzichte van de berekende diffuse emissies substantiële bijdragen, vooral voor fosfor. Metingen op zandgrond in de Achterhoek (Appels in prep.) leverde vergelijkbare resultaten. Reduceren van de oppervlakkige afstroming kan leiden tot een aanzienlijke bijdrage aan de verbetering van d oppervlaktewaterkwaliteit.

Voors en tegens van de toepassing:

Het tegengaan van oppervlakkige afstroming (runoff) kan via goedkope, kosteneffectieve maatregelen. Het blokkeren van runoff kan worden beperkt tot de plekken waar het optreedt. Omdat een boer geen plassen op zijn land wil laten ontstaan zijn aanvullende maatregelen nodig zoals het egaliseren van het land om de afstroming te reduceren en het verbeteren van de bodemkwaliteit om de infiltratiecapaciteit van de bodem te vergroten. Ook het aanleggen of intensiveren van (regelbare) buisdrainage (veelal met andere doelen voor ogen aangelegd) kan onderdeel vormen van een dergelijk samenhangend maatregelenpakket om runoff te reduceren. De effectiviteit van de ingreep Reduceren Oppervlakkige afstroming kan nog niet betrouwbaar landelijk worden gekwantificeerd.

Afwenteling:

Bij deze groep van maatregelen is er nauwelijks sprake van afwenteling, het niet langer oppervlakkig afstromend water infiltreert in de bodem, stikstof wordt in belangrijke mate opgenomen door het gewas, fosfor wordt ook vastgelegd in het gewas maar in nog veel grotere mate in de bodem. Een klein deel van de stikstof zal denitrificeren en resulteert in afwenteling naar de lucht voornamelijk als N_2 , en een gering deel als N_2O en NO_x , verder zal een klein deel uitspoelen naar het grondwater.

Bronnen:

- Appels, W.M., in prep. Water redistribution at the soil surface: ponding and surface runoff in flat areas. PhD, Wageningen University.
- Appels, W.M., P.W. Bogaart, S.E.A.T.M. van der Zee, in prep. Observations of surface runoff on flat agricultural fields: interactions between driving mechanisms and surface topography and associated thresholds. PhD in prep. Chapter 2.
- Boekel, E.M.P.M. van, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van de Bolt, W.J. Chardon, O.A. Clevering, W. van Dijk, I.E. Hoving, G.A.M. Noij en E.A. van Os, 2009. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW : achtergrondstudie: effecten van aanvullende maatregelen. Wageningen : Alterra, (Alterra-rapport 1987) - p. 106.
- Os, E.A. van , I.G.A.M. Noij, P.J.T. van Bakel, W. de Winter en F.J.E. van Bolt, 2009. Kennissysteem voor het bepalen van effecten van brongerichte en hydrologische maatregelen op de uitspoeling van N en P naar grond- en oppervlaktewater, Wageningen, Alterra rapport 1863.
- Schoumans, O.F., W.J. Chardon, M. Bechmann, C. Gascuel-Oudou, G. Hofman, B. Kronvang, I. Litaor, A. Lo Porto, P. Newell en G.H. Rubæk, 2011. Mitigation options for reducing nutrient emissions from agriculture: a study amongst European member states of Cost action 869, Alterra. Alterra report 2141, Wageningen.

13. Reduceren emissies door droge bufferstroken

Sectoren en gewassen:	Bouwland
Grondsoorten:	Alle, daarnaast waterhuishouding relevant
Effect op N of P:	N en P
Effect op grond of oppervlaktewater:	Vooraf oppervlaktewater

Bufferstroken kunnen naast de reductie van de emissies aan nutriënten vanaf een perceel meer doelen dienen, zoals het verminderen van drift (bestrijdingsmiddelen), het voorkomen van mee mesten van de sloot, het stabiliseren van taluds, het vergroten van de landschappelijke kwaliteit, het creëren van recreatieve functies en het vergroten van de biodiversiteit. Natte bufferstroken kunnen bovendien de bergingscapaciteit vergroten.

Omschrijving maatregel:

Een bufferstrook is een strook langs een watergang die niet wordt bemest en waar of een ander gewas wordt geteeld of die braak ligt (natuurlijke begroeiing). We onderscheiden droge (op het perceel gelegen) en natte (in de waterloop gelegen) bufferstroken. Niet bemeste bufferstroken hebben invloed op de oppervlakkige en ondiepe afvoer routes van een perceel naar de sloot. Het effect van bufferstroken bestaat uit een bemestingseffect, een verblijftijdeffect en een onderscheppend effect.

Effect op de waterkwaliteit:

(Noij et al., 2012) hebben de effectiviteit van droge bufferstroken onderzocht. De effectiviteit van bufferstroken op de reductie van de uitspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater verschilt per bodemgroep, de werking van droge bufferstroken op de afspoeling van fosfor naar het oppervlaktewater is nihil, tenzij er sprake is van overwegend ondiepe afvoer (inclusief oppervlakkige afvoer; de werking is evenredig met mate van ondiepe afvoer), en er sprake is van fosfaatverzadigde grond (de werking is evenredig met het verschil in fosfaattoestand tussen de bufferstrook en rest van het perceel). Bufferstroken kunnen wel effectief kunnen zijn op fosfaatlekkende gronden met overwegend ondiepe afvoer. In Winterswijk is een werking van 60% vastgesteld, dat kan vanuit de hydrologie worden gezien als een bovengrens, de fosfaattoestand was daar nog beneden 42% fosfaatverzadigingsgraad.

Voors en tegens van de toepassing:

De effectiviteit van bufferstroken op de uit- en afspoeling van fosfor naar het oppervlaktewater is beperkt. Alleen in situaties met voornamelijk ondiepe afvoeren en een hoge fosfaattoestand zijn effecten gemeten. Deze situaties komen niet algemeen voor, het effect van deze maatregel is op nationale schaal bezien dan ook zeer beperkt, lokaal kan de reductie van de P-afspoeling groot zijn. De uitspoeling van stikstof naar het oppervlaktewater is afhankelijk van locatiekenmerken als geohydrotype, helling en landgebruik en kan in principe worden gekwantificeerd op basis van combinaties van deze kenmerken (Boekel et al., 2009; Bolt et al., 2008). De maatregel bufferstroken wordt tot de ingreep reduceren oppervlakkige afstroming gerekend.

De effectiviteit van bufferstroken op de uit- en afspoeling van fosfor naar het oppervlaktewater wordt bepaald door de ondiepe afvoer routes en de fosfaatvoorraad in de bodem. (Walvoort et al., 2010) hebben aangetoond wat de meerwaarde is van een uitgebreidere bemonstering op de betrouwbaarheid van kaartbeelden van de fosfaattoestand. De kennis ten aanzien van oppervlakkige en ondiepe transportprocessen staat onder de strategie reductie van oppervlakkige afstroming.

Afwenteling:

Bij deze groep van maatregelen is er nauwelijks sprake van afwenteling omdat de perceelsranden die aan de sloot zijn gelegen niet meer worden bemest. De werking van natte bufferstroken resulteert echter in afwenteling naar de lucht voor stikstof (in de vorm van N_2 , N_2O en NO_x) en leidt (onder permanent natte omstandigheden) tot mobilisatie en uitspoeling van fosfor.

Bronnen:

- Boekel, E.M.P.M. van, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van de Bolt, W.J. Chardon, O.A. Clevering, W. van Dijk, I.E. Hoving, G.A.M. Noij en E.A. van Os, 2009. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW : achtergrondstudie: effecten van aanvullende maatregelen. Wageningen: Alterra, (Alterra-rapport 1987) - p. 106.
- Schoumans, O.F., W.J. Chardon, M. Bechmann, C. Gascuel-Oudou, G. Hofman, B. Kronvang, I. Litaor, A. Lo Porto, P. Newell en G.H. Rubæk, 2011. Mitigation options for reducing nutrient emissions from agriculture: a study amongst European member states of Cost action 869, Alterra. Alterra report 2141, Wageningen.
- Van Os, E.A. , I.G.A.M. Noij, P.J.T. van Bakel, W. de Winter en F.J.E. van Bolt, 2009. Kennissysteem voor het bepalen van effecten van brongerichte en hydrologische maatregelen op de uitspoeling van N en P naar grond- en oppervlaktewater, Wageningen, Alterra rapport 1863.

14. Waterbeheer op perceelsniveau

Sectoren en gewassen:	Alle sectoren en gewassen
Grondsoorten:	Alle, daarnaast waterhuishouding relevant
Effect op N of P:	N en P
Effect op grond of oppervlaktewater:	Vooraf oppervlaktewater

De ontwatering stuurt de hoeveelheid water die uit percelen wordt afgevoerd en de grondwaterstand in het perceel. Ontwatering is vrijwel overal in Nederland aanwezig en is continu geïntensiveerd. Opgaven als klimaatadaptatie en de reductie van emissies van nutriënten maken dat actief wordt nagedacht over maatwerk in het beheer van de ontwateringsbasis.

Omschrijving maatregel:

De ontwatering kan worden beïnvloed door 1) het blijvend anders inrichten van het ontwateringsstelsel door het veranderen van de ontwateringsbasis (inrichting) of door 2) het actief sturen op verhogen en/of verlagen van de ontwateringsbasis door middel van peilbeheer in sloten of regelbare buisdrainage-systemen (Stuyt, in prep.). Bij de laatste wordt met een technische voorziening de grondwaterstand in een al dan niet gedraineerd perceel binnen een bepaald bereik op in de tijd variërende gewenste niveaus ingesteld. Peilbeheer via een zomer- en winterpeil is zowel de meest simpele als de meest gangbare vorm van actief gestuurde ontwatering. Het ontwateringsstelsel zal alleen water afvoeren als het grondwatervlakte uitkomt boven de ingestelde hoogte van het regelbaar stuwte of van de stelpijp. De drainagebasis kan via gemeten grondwaterstanden dan wel bodemvocht in de wortelzone (online en geautomatiseerd) real time worden gestuurd zodat de zoetwatervoorraad in de bodem van een perceel met regelbare ontwatering zo goed mogelijk worden afgestemd op de actuele grondwaterstanden en weersomstandigheden, op de weerverwachting en op de doelen van de agrariër. Deze doelen zijn:

1. Verbeteren van de drooglegging om de bereikbaarheid te vergroten en natschade te voorkomen.
2. Water vasthouden: verhogen van de grondwaterstanden om op droge perioden te anticiperen.
3. Water aanvoeren om onder droge omstandigheden vochttekorten te voorkomen.
4. Reduceren van veenaafbraak om de bodemdaling te vertragen.
5. Reduceren van de afspoeling van fosfor: het voorkomen van grondwaterstanden in of vlak bij de wortelzone om de af- en uitspoeling uit deze bodemlaag te voorkomen.

Effect op de waterkwaliteit:

'Sturen op ontwatering' heeft zowel een effect op de waterhuishouding en de waterbeschikbaarheid als op de nutriëntenbelasting. Het resulterende effect op de waterkwaliteit wordt bepaald door de nagestreefde doelen. Bij het actief beheer via regelbare ontwatering kunnen de nagestreefde doelen in de tijd verschuiven. De eerste 2 doelen zullen als uitgangspunten voor waterbeheer in alle strategieën van regelbare ontwatering relevant zijn (Stuyt, in prep.). Het aanvoeren van water en onderwaterdrains in veengebieden (Hendriks and Van den Akker, 2012) zijn gebied specifieke aanvullende sturingsmogelijkheden. Het voorkomen van uit- en afspoeling van fosfor door verdiepen van de drainagebasis is in het BOVAR-project verkend (Schoumans et al., 1995).

Voors en tegens van de toepassing:

Het blijvend anders inrichten is een kostbare maatregel die op grotere schaal alleen door ander urgent beleid met beschikbare financiering zal worden uitgevoerd (ruilverkavelingen, verdrogingsbestrijding, Waterbeheer 21^e eeuw, KRW, en mogelijk ook Deltaprogramma). Voordeel is dat via een uitgekend ontwerp simultaan aan meer beleidsdoelen kan worden bijgedragen, nadelen zijn dat dat de ontwateringsmiddelen grond kosten en dat zonder aanvullend actief beheer niet kan worden geanticipeerd op (extreme) veranderingen. Het actief sturen via regelbare ontwatering levert deze flexibiliteit wel en de kosten lijken lager te zijn.

De effecten van sturen op ontwatering op de emissies naar het milieu zijn bekend maar nog niet gekwantificeerd en kunnen in principe met beschikbare kennis en instrumenten worden gekwantificeerd.

Afwenteling:

Afhankelijk van de manier van inrichting kan er eventueel sprake zijn van afwenteling naar de lucht vooral als de nitraatuitspoeling dient te worden terug gedrongen. Via beperkte vernatting (verhoging van de grondwaterstand) neemt de denitrificatie toe waardoor extra stikstof (in de vorm van N_2 , N_2O en NO_x) naar de lucht wordt afgewenteld. Voor het verminderen van de fosforverliezen treedt geen via regelbare drainage treedt er geen afwenteling op.

Bronnen:

- Boekel, E.M.P.M. van, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van de Bolt, W.J. Chardon, O.A. Clevering, W. van Dijk, I.E. Hoving, G.A.M. Noij en E.A. van Os, 2009. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW : achtergrondstudie: effecten van aanvullende maatregelen. Wageningen : Alterra, (Alterra-rapport 1987) - p. 106.
- Schoumans, O.F., W.J. Chardon, M. Bechmann, C. Gascuel-Oudoux, G. Hofman, B. Kronvang, I. Litaor, A. Lo Porto, P. Newell en G.H. Rubæk, 2011. Mitigation options for reducing nutrient emissions from agriculture: a study amongst European member states of Cost action 869, Alterra. Alterra report 2141, Wageningen.
- Van Os, E.A. , I.G.A.M. Noij, P.J.T. van Bakel, W. de Winter en F.J.E. van Bolt, 2009. Kennissysteem voor het bepalen van effecten van brongerichte en hydrologische maatregelen op de uitspoeling van N en P naar grond- en oppervlaktewater, Wageningen, Alterra rapport 1863.

15. Zuiveren

Sectoren en gewassen:	Alle sectoren en gewassen
Grondsoorten:	Alle grondsoorten, vochttoestand essentieel
Effect op N of P:	N en P, een enkele maatregel specifiek P
Effect op grond- of oppervlaktewater:	Vooral oppervlaktewater

Omschrijving maatregel:

Verlagen van de concentraties van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater door zuivering kan door lokale puntbronnen op het bedrijf of perceel (technologisch) te zuiveren, door in het watersysteem te zuiveren (effectgericht, actief) en door het vergroten van de retentie in de sloten (effectgericht, passief).

- 1) (technologisch) zuiveren van (punt)bronnen op het bedrijf of perceel (brongericht).
Maatregelen die in deze groep behoren zijn:
 - a. opvang en afvoeren of verwerken van erf/bedrijfswater naar riool, IBA,
 - b. opvang erf/bedrijfswater in bezinksloot, cascadegreppel, of agro-wadi.
 - c. vastleggen van fosfor in drainwater via ijzer of aluminium filters
 - d. hergebruik van (vervuild) water via reservoirs in het watersysteem (bv Bollenmeer),
 - e. van open naar gesloten systemen (hergebruik van (vervuild) water bijv. glastuinbouw, teelt de grond uit).
- 2) Lokaal in het systeem reinigen kan bijv. via: vloeivelden, (aangelegde en beheerde) helofytenfilters, slibvang/bergbezinkbassins, schonen van sloten en/of baggeren.
- 3) Retentie vergroten. Maatregelen die passief de zelfreinigende werking van het systeem gebruiken door de verblijftijd in de sloten te vergroten zijn: aanleg van natuurlijke oevers en (vaak brede, ondiepe) profielen, laten (her)meanderen van de waterloop, de aanleg van natte bufferstroken / moerasbufferstroken en helofytenfilters in de sloot.

De effecten, kosten en het draagvlak voor de verschillende maatregelen verschillen sterk.

Effect op de waterkwaliteit:

De effecten op de waterkwaliteit verschillen sterk per groep van maatregelen / per maatregel. Zuiveren van puntbronnen op het bedrijf kan met grote rendementen gebeuren, actief zuiveren in het watersysteem is lastiger te beheren en heeft lagere rendementen. Aanpassen van de profielen om de retentie te vergroten heeft de laagste rendementen.

Voors en tegens van de toepassing:

- 1) Lokaal zuiveren van lokale (punt)bronnen met individuele behandeling van afvalwater (IBA) of helofytenfilters vereist beperkte investeringen maar heeft grote effecten op deze bronnen en is op bijna elk bedrijf een optie (Haan et al., 2011a). Daarom zijn deze maatregelen als kansrijk beoordeeld. Daarnaast kunnen deze effectieve, brongerichte maatregelen beschouwd worden als 'no-regret maatregelen' die onderdeel dienen uitmaken van de Best Management Practices. hergebruik in gesloten systemen is kennis- en kapitaalintensief en daardoor alleen toepasbaar in intensieve, hoog renderende teelten. De effecten van de technische zuiveringsmethoden zijn bekend, worden in de praktijk toegepast bij het ontwerp, en kunnen in principe met beschikbare kennis en instrumenten worden gekwantificeerd wanneer de grootte van de lokale bronnen bekend is. Hergebruik in open systemen is niet eenvoudig en wordt nog onderzocht. De effecten van filters met ijzer of aluminium zijn bekend, de toepasbaarheid in de praktijk en de lange termijn perspectieven worden (opnieuw) onderzocht.
- 2) Lokaal in het systeem reinigen kan bijv. via: vloeivelden, (aangelegde en beheerde) helofytenfilters, slibvang/bergbezinkbassins, schonen van sloten en/of baggeren. Schonen van sloten en baggeren zijn

onderdeel van het reguliere beheer, mogelijk kunnen de effecten worden vergroot door afvoeren maaisel, niet op de slootkant storten van bagger en/of door de frequentie van schonen en baggeren aan te passen. De aanleg van slibvangen en/of bergbassins is kostbaar, legt beslag op grond, vraagt actief beheer en wordt om die reden weinig toegepast. Vloevelden vragen zorgvuldig beheer, passen niet meer in een landbouwkundige bedrijfsvoering en worden alleen toegepast in het kader van natuurbeheer. Aanleggen en beheren van zuiveringsmoerassen legt beslag op ruimte en is kostbaar waardoor het draagvlak voor deze maatregelen gering is. De effecten van deze maatregelen zijn bekend en kunnen in principe met beschikbare kennis en instrumenten worden gekwantificeerd.

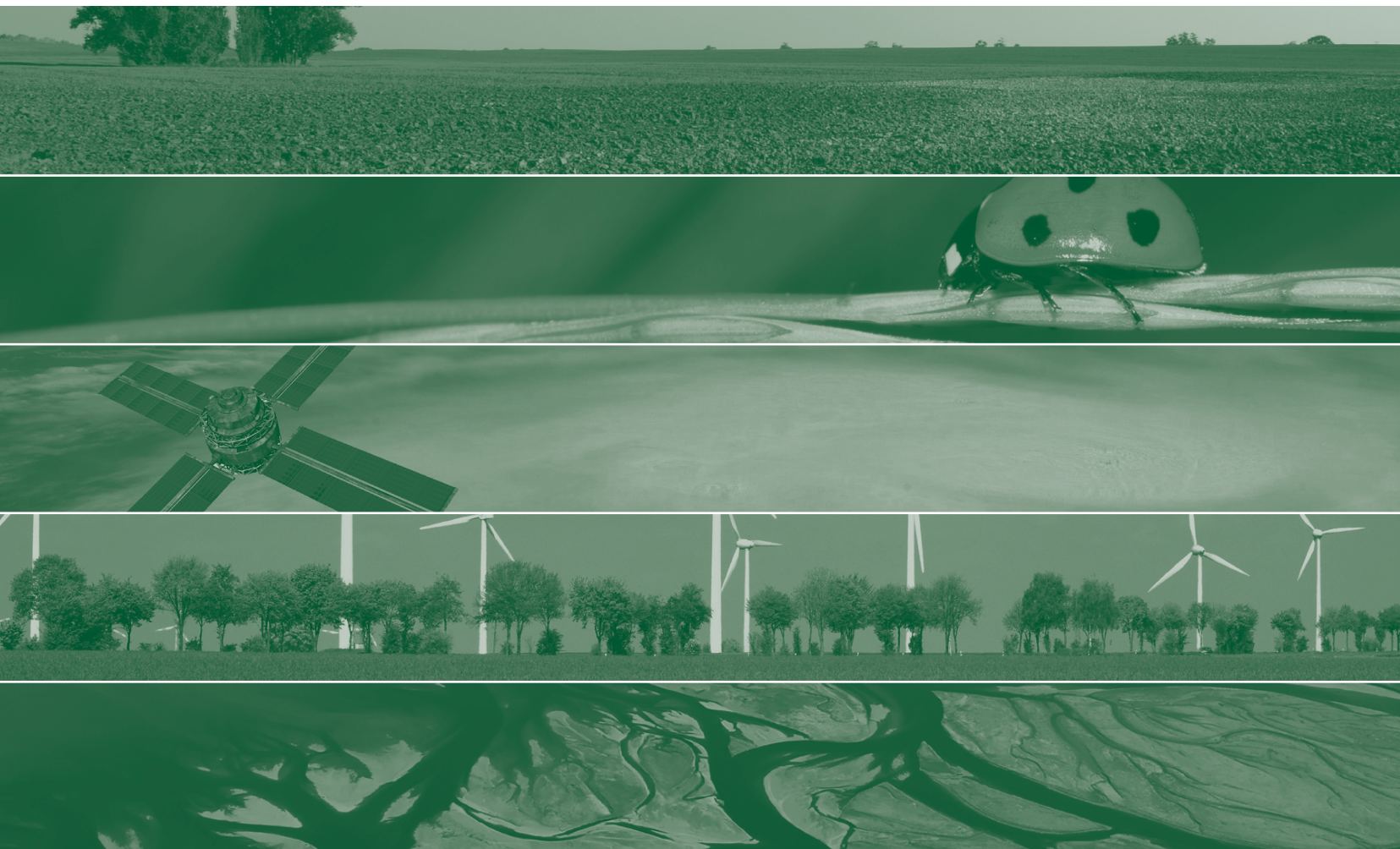
- 3) Retentie vergroten. Maatregelen die passief de zelfreinigende werking van het systeem gebruiken door de verblijftijd in de sloten te vergroten zijn: aanleg van natuurlijke oevers en (vaak brede, ondiepe) profielen, laten (her)meanderen van de waterloop, de aanleg van natte bufferstroken / moerasbufferstroken en helofytenfilters in de sloot. Vergroten van de retentie door aanpassingen van de waterlopen worden niet als preferente maatregelen gezien door hun beperkte effecten, hun groot beslag op grond en het (resulterende) gering draagvlak. Een uitzondering wordt mogelijk gevormd door riet in de sloot, dat geen extra beslag legt op grond en een goedkope maatregel vormt. De effectiviteit van de maatregel is echter nog niet goed vastgesteld (Buck et al., 2012). Omdat deze maatregel ook andere doelen dient (denk aan biodiversiteit en landschap) vormt ook dit een mogelijke no-regret maatregel. De effecten van sturen op ontwatering op de emissies naar het milieu zijn bekend maar nog niet gekwantificeerd en kunnen in principe met beschikbare kennis en instrumenten worden gekwantificeerd.

Afwenteling:

Het verwijderen van stikstof verloopt in belangrijke mate via denitrificatie waardoor wordt afgewenteld naar het milieucompartment lucht doordat hierbij N_2 , N_2O en NO_x (deels broeikasgassen) vrijkomen. Fosfor wordt in belangrijke mate vastgelegd aan (onderwater)bodemdeeltjes of de filters. Afwenteling wordt voorkomen door bijv. te baggeren en de bagger over het perceel te verspreiden of door de aan de filters gebonden fosfor terug te winnen.

Bronnen:

- Boekel, E.M.P.M. van, P.J.T. van Bakel, F.J.E. van de Bolt, W.J. Chardon, O.A. Clevering, W. van Dijk, I.E. Hoving, G.A.M. Noij en E.A. van Os, 2009. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW : achtergrondstudie: effecten van aanvullende maatregelen. Wageningen : Alterra, (Alterra-rapport 1987) - p. 106.
- Schoumans, O.F., W.J. Chardon, M. Bechmann, C. Gascuel-Odoux, G. Hofman, B. Kronvang, I. Litaor, A. Lo Porto, P. Newell en G.H. Rubæk, 2011. Mitigation options for reducing nutrient emissions from agriculture: a study amongst European member states of Cost action 869, Alterra. Alterra report 2141, Wageningen.
- Van Os, E.A. , I.G.A.M. Noij, P.J.T. van Bakel, W. de Winter en F.J.E. van Bolt, 2009. Kennissysteem voor het bepalen van effecten van brongerichte en hydrologische maatregelen op de uitspoeling van N en P naar grond- en oppervlaktewater, Wageningen, Alterra rapport 1863.



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.alterra.wur.nl