



WAGENINGEN UR

For quality of life

Ex-ante evaluatie landbouw en KRW

Achtergrondstudie: Effecten van aanvullende maatregelen

E.M.P.M. van Boekel
P.J.T. van Bakel
F.J.E. van der Bolt
W.C. Chardon
O.A. Clevering
W. van Dijk
I.E. Hoving
G.J. Noij
E.A. van Os

Alterra-rapport 1987, ISSN 1566-7197



Ex-ante evaluatie landbouw en KRW

In opdracht van LNV, Directie Landbouw, in het kader van Mineralen en Milieu, thema KRW en maatregelen

Projectcode [BO-05-004]

Ex-ante evaluatie landbouw en KRW

Achtergrondstudie: Effecten van aanvullende maatregelen

E.M.P.M. van Boekel
P.J.T. van Bakel
F.J.E. van der Bolt
W.C. Chardon
O.A. Clevering
W. van Dijk
I.E. Hoving
G.J. Noij
E.A. van Os

Alterra-rapport 1987

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

E.M.P.M. van Boekel, P.T.J. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, O.A. Clevering, W. van Dijk, G.J. Noij, E.A. van Os. *Ex-ante evaluatie landbouw en KRW; Achtergrondstudie: Effecten van aanvullende maatregelen*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1987. 106 blz.; 20 fig.; 26 tab.; 57 ref.

Het doel van de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW is inzicht krijgen in de (kosten)effectiviteit van aanvullende maatregelen in het landelijk gebied om de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater te reduceren. Effecten van aanvullende maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater zijn niet altijd goed bekend, waardoor de effecten van maatregelen alleen globaal kunnen worden ingeschat. De kennis en effecten van maatregelen zijn in het onderzoek op gestructureerde wijze vastgelegd en gedocumenteerd. Na het verzamelen en selecteren van potentiële maatregelen zijn de effecten en kosten van maatregelen vastgelegd in factsheets. Vervolgens zijn de effecten van aanvullende maatregelen op de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater bepaald. Met het inventariseren en vastleggen van de effectiviteit van maatregelen wordt een stap gezet in het kwantificeren van nutriëntenstromen om kosteneffectieve maatregelen te identificeren en selecteren voor Stroomgebiedbeheerplannen.

Trefwoorden: Europese Kaderrichtlijn Water, nutriënten, oppervlaktewaterkwaliteit, landbouw, mestbeleid, maatregelen, indirecte kosten, kosteneffectiviteit.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice

.

© 2009 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Probleemstelling	13
1.2 Leeswijzer	14
2 Achtergrond	15
3 Systematiek	17
3.1 Selectie en ordening	17
3.2 Factsheets	19
3.3 Effecten en kosten	20
4 Ex-ante evaluatie landbouw en KRW	21
4.1 Selectie en ordening	21
4.2 Factsheets	23
4.2.1 Bedrijfsmaatregelen	23
4.2.2 Perceelsmaatregelen	37
4.2.3 Slootmaatregelen	45
4.3 Effecten en kosten	49
4.3.1 Bedrijfsmaatregelen	51
4.3.2 Perceelsmaatregelen	67
4.3.3 Slootmaatregelen	75
5 Discussie	77
6 Conclusies	81
Literatuur	83
Bijlage 1 Onderbouwing Vergroten mestopslag	89
Bijlage 2 Onderbouwing 'Droge' bufferstroken	93
Bijlage 3 Onderbouwing Helofytenfilters	97

Woord vooraf

De Kaderrichtlijn Water heeft als belangrijkste doel de kwaliteit van watersystemen te beschermen en waar nodig te verbeteren. Om de gewenste ecologische waterkwaliteit te bereiken moeten naar verwachting ook de nutriëntenvrachten en –concentraties in het oppervlaktewater worden verlaagd. Voor de implementatie van de KRW worden stroomgebiedbeheerplannen (SGBP) door de waterbeheerders opgesteld. Onderdeel van de SGBP is o.a. het definiëren van ecologische doelen voor sterk veranderde en kunstmatige wateren en het selecteren van (no-regret) maatregelen. De ecologische waterkwaliteitsdoelstellingen van de KRW kunnen deels worden gerealiseerd door het voorgenomen mestbeleid en hydromorfologische inrichting- en beheermaatregelen. De waterbeheerders vrezen dat het voorgenomen beleid niet tot de gewenste nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater leiden en daarom extra maatregelen op perceels- en bedrijfsniveau noodzakelijk achten.

In 2007/2008 heeft Alterra op verzoek van het Ministerie van LNV een Ex-ante evaluatie landbouw en KRW uitgevoerd, waarbij een eerste verkenning is uitgevoerd naar de bijdrage van het voorgenomen beleid en mogelijk aanvullende (mest)maatregelen op het bereiken van de KRW-doelen. In dit achtergrondrapport wordt beschreven op welke wijze de aanvullende maatregelen verzameld, geselecteerd en gedocumenteerd zijn. Vervolgens zijn de aanvullende (mest)maatregelen, zoals deze in 2008 voor de Ex-ante evaluatie zijn doorgevoerd, nader toegelicht.

Om aansluiting bij de regionale uitwerking en het nationaal beleid te houden, om draagvlak te creëren en om de bestuurlijke bruikbaarheid te garanderen heeft een begeleidingscommissie de werkwijze en resultaten regelmatig aan een kritische toets onderworpen. In deze begeleidingscommissie hebben geparticipeerd:

LNV-Directie Landbouw	Peter van Boheemen (voorzitter)
LNV-Directie Kennis	Mark de Bode (secretaris)
LNV-Directie Landbouw	Maartje Oonk
LNV-Directie Platteland	Elze Hemke
LNV-Directie Regionale Zaken	Siep Groen
V&W, DG Water	Douwe Jonkers en Wilbert van Zeventer
VROM, Directie BWL	Renske van Tol
Regio Noord	Thomas Ietswaart
Regio Oost	Teun Spek
Regio West	Wim Twisk
Regio Zuid	Harry van Huet en Adrie Geerts

Samenvatting

De Kaderrichtlijn Water heeft als belangrijkste doel de kwaliteit van watersystemen te beschermen en waar nodig te verbeteren. Voor de implementatie van de KRW worden stroomgebiedbeheerplannen (SGBP) opgesteld.

Directie Landbouw van het ministerie van LNV wil actief bijdragen aan het opstellen en de evaluatie van voorstellen voor de stroomgebiedbeheerplannen en wil bijdragen aan de onderbouwing door zowel kennis te laten ontwikkelen als de beschikbare kennis met de regio te delen.

Het doel van het onderzoek is inzicht krijgen in:

- De bijdrage van het mestbeleid aan de realisatie van de KRW- en Natura 2000-doelen/normen
- De kosteneffectiviteit van potentieel aanvullende maatregelen in het landelijk gebied om de concentraties nutriënten in het oppervlaktewater verder te verlagen na uitvoering van mestbeleid en het regionale KRW-pakket.
- Het mogelijk resterende gat ten opzichte van de normstellingen voor de nutriënten stikstof en fosfor.

De resultaten van het uitgevoerde onderzoek zijn vastgelegd in Alterra-rapport 1687, getiteld “Ex-ante evaluatie Landbouw en KRW. Effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten”.

In 2008 was er geen ruimte voor de vastlegging van de inhoudelijke onderbouwing van de aanvullende (mest)maatregelen. Omdat de kennis over maatregelen en de selectie van kosteneffectieve maatregelen bijzonder relevant is, heeft Alterra van het ministerie van LNV de ruimte gekregen om in het vervolgproject de kennis vast te leggen als basis voor een verdere uitwerking in de komende jaren.

Doelstelling

Een van de doelen van de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW is het inzicht krijgen in de kosteneffectiviteit van potentieel aanvullende maatregelen in het landelijk gebied om de concentraties nutriënten in het oppervlaktewater te reduceren.

In eerdere studies is geconstateerd dat het effect van veel maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater niet goed bekend is. Het gaat hierbij voornamelijk om niet op mestgift gerichte maatregelen. Hierdoor zijn maar weinig aanvullende gegevens en kennis beschikbaar, de effecten van maatregelen kunnen daardoor nog steeds alleen globaal worden ingeschat.

De laatste jaren is er (verder) onderzoek gestart naar de (kosten)effectiviteit van maatregelen. In 2006 is o.a. een onderzoek gestart met als doelstelling het opstellen van een lijst met (waterhuishoudkundige) maatregelen en deze onder te brengen in een Kennis Informatie Systeem (KIS) om hiermee de effecten van maatregelen op de uitspoeling van N en P naar het oppervlaktewater te bepalen.

De kennis over de effecten van maatregelen zijn op een gestructureerde wijze vastgelegd en gedocumenteerd. Het gaat hierbij om de kennis over de effecten van brongerichte en hydrologische maatregelen op lokale, regionale en nationale schaal die toepasbaar is voor nationale verkenningen ten behoeve van de KRW, de regionale uitwerking van de KRW en voor de selectie van maatregelen op bedrijfsniveau. Bij het selecteren en schatten van de (kosten)effectiviteit van maatregelen in de Ex-ante evaluatie is dezelfde systematiek toegepast.

De toegepaste methodiek bestaat uit verschillende stappen.

- 1) Selecteren en ordenen van maatregelen
- 2) Beschrijven van maatregelen (factsheets)
- 3) Bepalen effecten en kosten van maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater

Selecteren en ordenen maatregelen

Op basis van eerdere projecten wordt een lijst samengesteld met maatregelen.

De maatregelen worden geclusterd tot ingrepen, waarbij maatregelen met een overeenkomstige werking in hetzelfde deelsysteem tot dezelfde ingreep behoren. Hierbij kunnen 3 groepen van maatregelen onderscheiden worden.

- Brongerichte maatregelen
Brongerichte maatregelen zijn voornamelijk maatregelen waarbij de nutriëntenvracht naar het oppervlaktewater verlaagd kan worden door minder te bemesten. Het effect wordt hierbij mede bepaald door grondsoort en gewaskeuze.
- Hydrologische maatregelen
De hydrologische maatregelen zijn maatregelen waarbij een verschuiving optreedt in de waterflux, de totale waterflux verandert hierbij niet. De verandering in waterflux heeft effect op de stikstof- en fosforbelasting naar het oppervlaktewater.
- End of pipe maatregelen
End of pipe maatregelen hebben geen effect op de verschillende transportroutes. De (effectgerichte) maatregelen zijn er voornamelijk op gericht om de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater vast te leggen of te verwijderen.

Naast de 'plek' van de maatregelen worden de maatregelen gegroepeerd op basis van de transportroute die de waterstroom met bijbehorende N- en P-vrachten aflegt.

Ieder afzonderlijke maatregel kan effect hebben op een bepaald deel of delen van de bodem en daardoor op de verschillende transportroutes. Er worden 5 transportroutes onderscheiden:

- Meemesten
- Oppervlakkige afvoer
- Buisdrainage
- Ondiepe uitspoeling
- Diepe uitspoeling

Factsheets maatregelen

Na het selecteren van de ingrepen/maatregelen is per maatregel een factsheet geschreven. De factsheet is een modelformulier dat door de kenniseigena(a)ren van de maatregel is ingevuld. De factsheets geven de state-of-the-art weer van een bepaalde maatregel en dienen dan ook frequent te worden bijgewerkt. Indien nieuwe onderzoeksresultaten beschikbaar komen, moeten deze worden verwerkt in de factsheets.

Effecten en kosten maatregelen

Effecten

De effecten van maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater kunnen niet altijd direct bepaald worden. Dit geldt voornamelijk voor de bronmaatregelen. De effecten van afzonderlijke maatregelen op de mestgiften zijn door experts geschat en vervolgens zijn met het STONE-instrumentarium de milieueffecten berekend.

Voor de hydrologische maatregelen wordt gebruik gemaakt van kennisregels. Omdat het niet aandoenlijk is om voor elk perceel een rekenregel te schrijven worden clusters op basis van bodemtype, grondwatertrap, buisdrainage, wateraanvoer en berekening gedefinieerd. De rekenregels zijn gebaseerd op een verschuiving van de waterflux met bijbehorende stikstof- en fosforvrachten.

Bij het bepalen van het effect van end of pipe maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater wordt over het algemeen gebruik gemaakt van een vast percentage waarmee de nutriëntenvracht naar het oppervlaktewater afneemt.

In de overzichtstabel is de effectiviteit van de individuele maatregelen weergegeven op landelijk niveau. Het gaat hierbij alleen om de effectiviteit van de maatregel voor de nutriëntenbelasting uit het landelijk gebied. De effectiviteiten kunnen niet vergeleken worden met de effectiviteit uit de Ex-ante evaluatie, omdat daar ook de nutriëntenbelasting uit het stedelijk gebied (bv. rwzi's) in beschouwing zijn genomen.

Overzichtstabel met de effectiviteit van de aanvullende maatregelen

Deelvariant	maatregel	Effectiviteit (%)	
		Stikstof	Fosfor
Bedrijf	Geen fosforkunstmest	0,0	6,3
	Voorjaarstoediening	1,5	0,0
	Vergroten mestopslagcapaciteit	7,8	0,5
	Precisiebemesting	1,8	0,0
	Aanpassen bouwplan	0,8	0,1
	Deeltotaal		12,2
Perceel	Uitmijnen	8,6	10,8
	Peilgestuurde drainage	1,8	5,0
	Onbemeste bufferstroken	2,3	1,1
	Deeltotaal	8,2	13,0
Sloot	Helofytenfilters	32,8	44,5
	Deeltotaal	32,8	44,5
Totaal		38,6	55,1

Kosten

Een deel van de kosten van maatregelen kunnen direct bepaald worden. Het gaat hierbij dan om eventuele investeringskosten (rekening houdend met de afschrijvingstermijn) en de beheer- en onderhoudskosten die met de maatregel samenhangen.

De inkomenseffecten als gevolg van gedeerde opbrengsten en gestegen kosten (bijvoorbeeld afzet dierlijke mest) zijn met het Dutch Regionalised Agricultural Model (DRAM-model) bepaald. Hierbij wordt o.a. rekening gehouden met de verwachte autonome ontwikkelingen in de landbouw.

Een uitgebreide beschrijving van de wijze waarop de kosten/baten van maatregelen zijn bepaald zijn beschreven in het achtergrondrapport: “*Landbouwkosten van aanvullende KRW-maatregelen, Achtergrondstudie voor de Ex-ante evaluatie*”.

Kosteneffectiviteit

Nadat de effectiviteit en kosten van de afzonderlijke maatregelen in beeld zijn gebracht kunnen de maatregelen gerangschikt worden op basis van de kosteneffectiviteit. De kosteneffectiviteit is een selectie criterium om maatregelen te selecteren en de doelen van de KRW tegen de laagste kosten te kunnen halen. Kosteneffectiviteit is gedefinieerd als de kosten per eenheid reductie, m.a.w. het aantal euro's per kg verwijderde stikstof of fosfor. Maatregelen met lage kosten per eenheid reductie zijn kosteneffectiever dan maatregelen met hoge kosten per eenheid reductie.

Onderbouwing

De effectiviteit van de individuele ingrepen zijn regionaal gedifferentieerd en door experts ingeschat (factsheets). De effectiviteit van de individuele maatregelen zijn niet constant, maar afhankelijk van:

- Tijd; denk aan seizoen- en jaareffecten door verschillen in temperatuur en neerslag, maar ook aan de bufferende werking van bodem en bodemvoorraad
- Ruimte; de bronnen binnen de verschillende gebieden, de transportroutes en omzettingsprocessen variëren als gevolg van verschillen in de (gebieds)eigenschappen en daardoor ook de resulterende oppervlaktewaterkwaliteit
- Interactie; ingrepen en maatregelen kunnen elkaar versterken, tegenwerken en uitsluiten
- Volgorde, dezelfde ingreep heeft een andere effectiviteit wanneer die als eerste of als laatste binnen een (deel)variant wordt gerealiseerd

De verschillende bronnen van onzekerheden leiden tot onzekerheden in de rekenresultaten en daarmee de effectiviteit van de maatregel. Deze onzekerheden zijn niet bekend en is het dus ook niet duidelijk hoe deze doorwerken op de resultaten en de conclusies. De rekenresultaten moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

Dit geldt voornamelijk voor de effectgerichte maatregelen, vooral de effecten van de helofytenfilters zouden (te) hoog kunnen zijn geschat. Daarnaast is het voor een aantal potentiële maatregelen niet mogelijk geweest om deze door te rekenen door het gebrek aan gegevens en kennis.

1 Inleiding

1.1 Probleemstelling

De Kaderrichtlijn Water (2000/60/EC; KRW) heeft als belangrijkste doel de kwaliteit van watersystemen te beschermen en waar nodig te verbeteren. Dat gebeurt onder andere door puntlozingen en diffuse belastingen terug te dringen of te beëindigen, het ecologisch functioneren van wateren te verbeteren en door duurzaam watergebruik te bevorderen. Voor de implementatie van de KRW worden stroomgebiedbeheerplannen (SGBP) opgesteld. De waterbeheerders vrezen dat het voorgenomen beleid niet tot de gewenste nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater leiden en daarom extra maatregelen op perceels- en bedrijfsniveau noodzakelijk achten.

Directie Landbouw van het ministerie van LNV wil actief bijdragen aan het opstellen en de evaluatie van voorstellen voor de stroomgebiedbeheerplannen en wil bijdragen aan de onderbouwing door zowel kennis te laten ontwikkelen als de beschikbare kennis met de regio te delen.

Ten behoeve van de Ex-ante evaluatie van de KRW heeft Alterra in opdracht van het ministerie van LNV een onderzoek uitgevoerd naar de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Het doel van het onderzoek is inzicht krijgen in:

1. De bijdrage van het mestbeleid aan de realisatie van de KRW- en Natura 2000-doelen/normen
2. De kosteneffectiviteit van potentieel aanvullende maatregelen in het landelijk gebied om de concentraties nutriënten in het oppervlaktewater verder te verlagen na uitvoering van mestbeleid en het regionale KRW-pakket
3. Het mogelijk resterende gat ten opzichte van de normstellingen voor de nutriënten stikstof en fosfor

De resultaten van het uitgevoerde onderzoek zijn vastgelegd in Alterra-rapport 1687, getiteld “Ex-ante evaluatie Landbouw en KRW. Effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten”.

De resultaten van de aanvullende (mest)maatregelen uit het onderzoek zijn gedeeld met het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) t.b.v. Ex-ante evaluatie Kaderrichtlijn Water (Kwaliteit voor Later).

In 2008 was er geen ruimte voor de vastlegging van de inhoudelijke onderbouwing van de aanvullende (mest)maatregelen. Omdat de kennis over maatregelen en de selectie van kosteneffectieve maatregelen bijzonder relevant is, heeft Alterra van het ministerie van LNV de ruimte gekregen om in het vervolgproject de kennis vast te leggen als basis voor een verdere uitwerking in de komende jaren.

1.2 Leeswijzer

Dit achtergrondrapport kan worden ingedeeld in 4 onderdelen:

- In hoofdstuk 2 worden de maatregelpakket uit de Ex-ante evaluatie beschreven
- De werkwijze die is gehanteerd bij het systematisch selecteren en inschatten van de (kosten)effectiviteit van aanvullende maatregelen wordt beschreven in hoofdstuk 3
- In hoofdstuk 4 is de werkwijze nader uitgewerkt voor de maatregelen in de Ex-ante evaluatie. Er wordt een overzicht gegeven van de geselecteerde maatregelen, de factsheets en de effecten van de maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater
- De discussie en conclusies worden beschreven in hoofdstuk 5 en 6

2 Achtergrond

Een van de doelen van de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW is het inzicht krijgen in de kosteneffectiviteit van potentieel aanvullende maatregelen in het landelijk gebied om de concentraties nutriënten in het oppervlaktewater te reduceren. Om inzicht te krijgen in de kosteneffectiviteit van de potentiële maatregelen zijn voor de Ex-ante evaluatie twee varianten beschouwd. De berekeningen van de verschillende varianten hebben als doel het kwantificeren van effecten van beleid en aanvullende maatregelen voor de realisatie van de KRW-doelstellingen.

1) Realistische ambities

Met de variant 'Realistische ambities' wordt inzicht verkregen in de effecten van gerealiseerd en voorgenomen beleid op de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. Hierbij worden twee deelvarianten onderscheiden, namelijk de bijdrage van het 'Mestbeleid' en de bijdrage van het 'Regionale Maatregelenpakket 2007'.

Voor de variant 'Mestbeleid' is gebruik gemaakt van 'N-gebruiksnormen 2009 -20% voor de Akker- en Tuinbouwgewassen en evenwichtsbemesting voor fosfor' uit EMW 2007 als best beschikbare benadering van het voorgenomen mestbeleid (LNV, 2007). Voor het 'Regionale Maatregelenpakket 2007' is gebruik gemaakt van de EmissieRegistratie versie 2005 (Cleij, 2008) waarin de plannen van de waterbeheerders ten aanzien van de puntbronnen, zoals opgenomen in de Stroomgebiedbeheerplannen (SGBP), zijn verwerkt (MNP, 2008).

2) Plus-pakket

In het 'Pluspakket' zijn potentieel aanvullende (mest)maatregelen in het landelijk gebied opgenomen. Dit zijn maatregelen die mogelijk aanvullend op het voorgenomen (generieke) mestbeleid en het regionale KRW-pakket kunnen worden genomen. Naast de effecten zijn ook de kosten en kosteneffectiviteit van de maatregelen verkend. Om te onderzoeken of de maatregelen verschillen in kosteneffectiviteit zijn er in deze variant drie subvarianten onderscheiden voor drie maatregelpakketten, 'Bedrijf', 'Perceel' en 'Sloot'. De subvarianten zijn onderscheiden op basis van de 'plek' in het landbouwbedrijf waar de maatregelen plaatsvinden:

- Bedrijf: brongerichte maatregelen ten aanzien van de bemesting
- Perceel: bron- en effectgerichte beheer- en inrichtingsmaatregelen op het perceel
- Sloot: Effectgerichte maatregelen in de sloot i.e. het lokale watersysteem

In Aquarein (Van der Bolt et al, 2003) en de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW (Van der Bolt et al, 2008) is geconstateerd dat het effect van veel maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater niet goed bekend is. Het gaat hierbij voornamelijk om niet op mestgift gerichte maatregelen. Hierdoor zijn maar weinig aanvullende gegevens en kennis beschikbaar, de effecten van maatregelen kunnen daardoor nog steeds alleen globaal worden ingeschat.

De laatste jaren is er (verder) onderzoek gestart naar de (kosten)effectiviteit van maatregelen. In 2006 is o.a. een onderzoek gestart met als doelstelling het opstellen van een lijst met (waterhuishoudkundige) maatregelen en deze onder te brengen in een Kennis Informatie Systeem (KIS) om hiermee de effecten van maatregelen op de uitspoeling van N en P naar het oppervlaktewater te bepalen (Van Os et al., 2009).

In dit onderzoek is op basis van eerdere projecten een lijst gemaakt met maatregelen. De kennis over de effecten van maatregelen zijn op een gestructureerde wijze vastgelegd en gedocumenteerd. Het gaat hierbij om de kennis over de effecten van brongerichte en hydrologische maatregelen op locale, regionale en nationale schaal die toepasbaar is voor nationale verkenningen ten behoeve van de KRW, de regionale uitwerking van de KRW en voor de selectie van maatregelen op bedrijfsniveau.

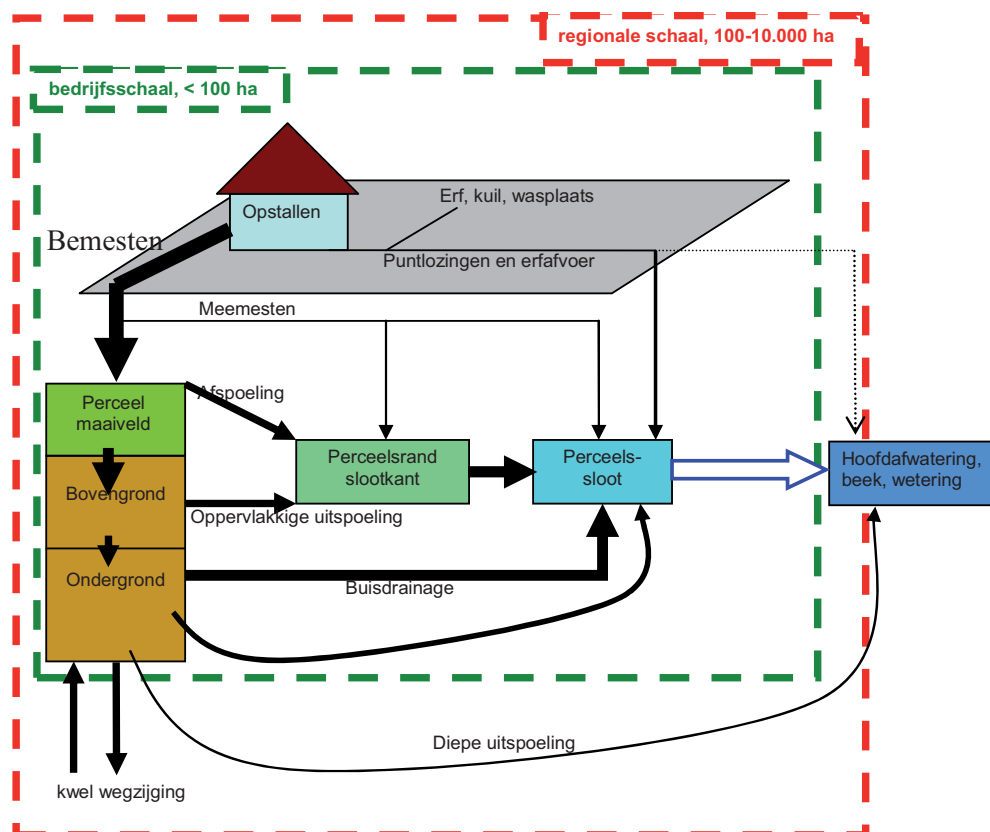
Bij het selecteren en schatten van de (kosten)effectiviteit van maatregelen in de Ex-ante evaluatie is dezelfde systematiek toegepast. In dit rapport wordt de systematiek nader beschreven en vervolgens voor de Ex-ante evaluatie uitgewerkt.

3 Systematiek

De systematiek kan worden onderverdeeld in een aantal stappen. Allereerst wordt er op basis van eerdere projecten een lijst gemaakt met maatregelen. Vervolgens worden de maatregelen gegroepeerd op basis van verschillende kenmerken. In een volgende stap worden van maatregelen factsheets geschreven waarin specifieke kenmerken van de maatregel staan aangegeven. Hierna worden de effecten van maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater bepaald. Ook de kosten en kosteneffectiviteit worden in beschouwing genomen.

3.1 Selectie en ordening

Op basis van eerdere projecten wordt een lijst samengesteld met maatregelen. Deze maatregelen worden geclusterd tot ingrepen, waarbij maatregelen met een overeenkomstige werking in hetzelfde deelsysteem tot dezelfde ingreep behoren. Daarnaast kunnen de maatregelen gegroepeerd worden op basis van de transportroute die de waterstroom met bijbehorende N- en P-vrachten aflegt (figuur 1).



Figuur 1 Schematische weergave van de transportroutes binnen het bedrijf en de interactie met het regionale watersysteem.

Ieder afzonderlijke maatregel kan effect hebben op een bepaald deel of delen van de bodem en daardoor op de verschillende transportroutes.

De volgende transportroutes worden onderscheiden:

- Meemesten
- Oppervlakkige afvoer
 - o Afspoeling: directe afstroom van maaiveld naar de sloot (Maaiveld)
 - o Oppervlakkige uitspoeling: de stroom door de bovenste 30cm van de bodem (Bouwvoor)
- Buisdrainage: de aan- of afwezigheid beïnvloedt de verdeling over de routes in sterke mate
- Ondiepe uitspoeling: afvoer naar ondiepe sloten die een deel van het jaar droog kunnen liggen
- Diepe uitspoeling: afvoer naar diepe sloten die het hele jaar water voeren

Er worden 3 groepen van maatregelen onderscheiden.

Brongerichte maatregelen

Brongerichte maatregelen zijn voornamelijk maatregelen waarbij de nutriëntenvracht naar het oppervlaktewater verlaagd kan worden door minder te bemesten. Het effect wordt hierbij mede bepaald door grondsoort en gewaskeuze.

Hydrologische maatregelen

De hydrologische maatregelen zijn maatregelen waarbij een verschuiving optreedt in de waterflux, de totale waterflux verandert hierbij niet. De verandering in waterflux heeft effect op de stikstof- en fosforbelasting naar het oppervlaktewater.

End of pipe maatregelen

End of pipe maatregelen hebben geen effect op de verschillende transportroutes. De (effectgerichte) maatregelen zijn er voornamelijk op gericht om de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater vast te leggen of te verwijderen.

3.2 Factsheets

Na het selecteren van de ingrepen/maatregelen is per maatregel een factsheet geschreven. De factsheet is een modelformulier dat door de kenniseigena(a)ren van de maatregel is ingevuld. De factsheets geven de state-of-the-art weer van een bepaalde maatregel en dienen dan ook frequent te worden bijgewerkt. Indien nieuwe onderzoeksresultaten beschikbaar komen, moeten deze worden verwerkt in de factsheets.

De factsheets van de afzonderlijke maatregelen zijn hierbij in een vast format opgesteld, waarin een aantal onderdelen worden onderscheiden:

Kenniseigenaar:

De kenniseigenaar is een specialist op dit onderdeel en heeft de factsheet ingevuld. Nadere informatie met betrekking tot de (kosten)effectiviteit van maatregelen kunnen bij deze kenniseigenaren opgevraagd worden.

Definitie:

Het is noodzakelijk maatregelen eenduidig te definiëren om spraakverwarring te voorkomen. De werking kan daarbij een helder criterium vormen. Een natte bufferstrook is bijvoorbeeld niet hetzelfde als een (slootbegeleidend) helofytenfilter. Een natte bufferstrook filtert het uit de bodem uittredend water door vastlegging in de bodem bij de overgang van anaërobie naar aerobie. Een helofytenfilter filtert nutriënten uit het oppervlaktewater door biologische vastlegging en bezinking.

Toepassingsgebied:

Veel maatregelen vragen om maatwerk ten aanzien van uitvoering in de praktijk, zowel ten aanzien van het ontwerp (inrichting) als de locaties waar deze wordt toegepast. Daar waar een ingreep géén effect heeft wordt de maatregel dan ook niet toegepast. Het toepassingsgebied van de maatregelen kan begrensd worden om onevenredig hoge kosten en een zeer lage kosteneffectiviteit te vermijden.

Effectiviteit:

De effecten van maatregelen kunnen op verschillende manieren worden weergegeven, waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen stikstof en fosfor. Effecten van maatregelen kunnen worden uitgedrukt in bv een verlaging van de mestgift (bronmaatregelen). De vertaling naar het effect op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater is dan nog niet gemaakt. De effectiviteit van maatregelen kunnen ook worden uitgedrukt in een vast percentage waarmee de totale N- en P-vracht naar of in het oppervlaktewater afneemt.

Kosten:

De kosten van maatregelen omvatten de investeringskosten, beheer- en onderhoudskosten die met de maatregel samenhangen en mogelijke inkomstenderving als gevolg van gederfde opbrengsten en gestegen kosten.

Kennis en literatuur:

Overzicht van de relevante literatuur en de onderbouwing voor de ingeschatte effectiviteit en kosten van de maatregel.

3.3 Effecten en kosten

Op basis van de factsheets kan worden bekeken of er voldoende kennis beschikbaar is om de effecten en kosten van ingrepen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater te berekenen en/of in kennisregels vast te leggen.

Effecten

De effecten van maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater kunnen niet altijd direct bepaald worden. Dit geldt voornamelijk voor de bronmaatregelen. De effecten van afzonderlijke maatregelen op de mestgiften zijn door experts geschat en vervolgens zijn met het STONE-instrumentarium de milieueffecten berekend.

Voor de hydrologische maatregelen wordt gebruik gemaakt van kennisregels. Omdat het niet aandoenlijk is om voor elk perceel een rekenregel te schrijven worden clusters op basis van bodemtype, grondwatertrap, buisdrainage, wateraanvoer en berekening gedefinieerd. De rekenregels zijn gebaseerd op een verschuiving van de waterflux met bijbehorende stikstof- en fosforvrachten.

Bij het bepalen van het effect van end of pipe maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater wordt over het algemeen gebruik gemaakt van een vast percentage waarmee de nutriëntenvracht naar het oppervlaktewater afneemt.

Kosten

Een deel van de kosten van maatregelen kunnen direct bepaald worden. Het gaat hierbij dan om eventuele investeringskosten (rekening houdend met de afschrijvingstermijn) en de beheer- en onderhoudskosten die met de maatregel samenhangen.

De inkomenseffecten als gevolg van gedeerde opbrengsten en gestegen kosten (bijvoorbeeld afzet dierlijke mest) zijn met het Dutch Regionalised Agricultural Model (DRAM-model) bepaald (Helming, 2005). Hierbij wordt o.a. rekening gehouden met de verwachte autonome ontwikkelingen in de landbouw.

Een uitgebreide beschrijving van de wijze waarop de kosten/baten van maatregelen zijn bepaald zijn beschreven in het achtergrondrapport: "*Landbouwkosten van aanvullende KRW-maatregelen, Achtergrondstudie voor de Ex-ante evaluatie*" (Reinhard et al., 2008).

Kosteneffectiviteit

Nadat de effectiviteit en kosten van de afzonderlijke maatregelen in beeld zijn gebracht kunnen de maatregelen gerangschikt worden op basis van de kosteneffectiviteit. De kosteneffectiviteit is een selectie criterium om maatregelen te selecteren en de doelen van de KRW tegen de laagste kosten te kunnen halen. Kosteneffectiviteit is gedefinieerd als de kosten per eenheid reductie, m.a.w. het aantal euro's per kg verwijderde stikstof of fosfor. Maatregelen met lage kosten per eenheid reductie zijn kosteneffectiever dan maatregelen met hoge kosten per eenheid reductie.

De beschreven werkwijze is in lijn met de methodiek die is toegepast in de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW. In het volgende hoofdstuk worden de resultaten uit deze studie beschreven.

4 Ex-ante evaluatie landbouw en KRW

4.1 Selectie en ordening

Voor het selecteren van maatregelen is gebruik gemaakt van de database die is opgezet om de effecten van maatregelen in het landelijk gebied structureel te inventariseren en onderbouwen (Van der Bolt en van Os 2006; van Os et al., 2007) en de inventarisatie van LTO (2007).

In de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW zijn 6 ingrepen geselecteerd waarvan voldoende kennis beschikbaar is voor het bepalen van het effect van een ingreep. De ingrepen zijn gegroepeerd op basis van de 'plek' in het landbouwbedrijf. In totaal zijn er 9 maatregelen doorgerekend (tabel 1).

Tabel 1. Varianten, deelvarianten, ingrepen en maatregelen

Deelvariant	Ingreep	Maatregel
Bedrijf	Geen fosforkunstmest	idem Voorjaarstoediening
	Verhogen efficiency (kunst)mest	Vergroten mestopslag Precisiebemesting Bouwplan aanpassen
Perceel	Bodemsanering	Uitmijnen
	Ontwatering	Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage
	Randenbeheer	'Droge' Bufferstroken
Sloot	Slootbeheer	Helofytenfilters

Bedrijf

Met de maatregelen uit de deelvariant 'Bedrijf' wordt inzicht verkregen in de milieuwinst die kan worden gerealiseerd via aanpassing in de bemesting. De deelvariant is samengesteld uit de ingrepen 'Géén fosforkunstmest' en 'Verhogen efficiency kunstmest en dierlijke mest'. Laatstgenoemde is samengesteld uit de maatregelen 'Voorjaarstoediening in de akkerbouw', 'Vergroten mestopslag in de melkveehouderij', 'Precisiebemesting' en 'Bouwplan aanpassen'.

Perceel

De ingrepen die betrekking hebben op het beheer en onderhoud van het perceel (meer specifiek het maaiveld, de bodem en de waterhuishouding) zijn gecombineerd als deelvariant 'Perceel' doorgerekend. De deelvariant omvat de maatregelen 'Uitmijnen', 'Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage' (DSPD) en 'Droge' bufferstroken'.

Sloot

De kleinere waterlopen in het landelijke gebied hebben als belangrijkste functie ontwateren. Door de grote lengte en het grote watervolume van deze ondiepe waterlopen hebben deze waterlopen ook de potentie om nutriënten af te vangen en vast te houden zodat de vrachten en concentraties naar de regionale watersystemen kunnen worden verlaagd.

Voor deze studie is alleen de ingreep ‘Slootbeheer’ gekwantificeerd via de maatregel (al dan niet slootbegeleidende) helofytenfilters.

Voor andere ingrepen/maatregelen zijn de effecten op de nutriëntenbelasting van of nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater door uiteenlopende redenen niet bepaald (tabel 2). Voor een aantal ingrepen wordt geen milieueffect verwacht, andere ingrepen worden al op grote schaal in de praktijk toegepast, waardoor er nog maar weinig of geen winst wordt gerealiseerd. Voor weer andere ingrepen ontbreken de data en kennis c.q. de tijd om mogelijk beschikbare data te verzamelen en te analyseren om voor deze studie kennisregels af te leiden.

Tabel 2. *Overzicht van ingrepen die in de Ex-ante evaluatie niet zijn doorgerekend.*

<i>Ingreep</i>	<i>Maatregel</i>	<i>Reden van afvallen</i>	<i>Potentie</i>
Verhogen efficiency (kunst)mest	Bedrijfsspecifieke excretie	Geen milieueffect	
	Minimalisatie stikstof- en fosforoverschot	Niet (meer) haalbaar	
	Teeltmaatregelen	Wordt al toegepast	
	Vanggewassen	Technische uitwerking (nog) niet mogelijk	Ja
	Gewasresten afvoeren	Technische uitwerking (nog) niet mogelijk	Ja
Beweidingsstelsel	Niet beweiden	Wordt al toegepast	
Nieuwe bedrijfssystemen	Gemengde bedrijven	Geen milieueffect bij opvulling tot normen	
Lokale bronsanering	Erf-afspoeling reduceren	Onvoldoende kennis / Technische uitwerking (nog) niet mogelijk	Ja
Ontwatering	Samengestelde peilgestuurde drainage op klei		
	Onderwaterdrains met opgezette slootpeilen op veen	Onvoldoende kennis	Ja
	Blokkeren maaiveldafvoer		
Bodemmaatregelen	Egaliseren Niet kerende grondbewerking Rijen- en beddenteelt	Onvoldoende kennis	Ja
Slootrandenbeheer	Natuurvriendelijke oevers Drinkbakken plaatsen Maaisel afvoeren	Onvoldoende kennis	Ja
Slootbeheer	Baggeren Verdiepen Natte bufferstrook	Onvoldoende kennis	Ja

Een aantal maatregelen uit bovenstaande lijst blijven potentiële aanvullende maatregelen. Dit is aangegeven in de kolom ‘Potentie’. De overige maatregelen die geen milieueffect beogen, of al toegepast worden leiden niet tot een verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit.

4.2 Factsheets

4.2.1 Bedrijfsmaatregelen

Geen fosforkunstmest

Kenniseigenaar: Wim van Dijk, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)

Reviewer:

Definitie:

Eén van de doelstelling voor het voorgenomen mestbeleid is het bereiken van evenwichtsbemesting in 2015. De fosfaatvoorraad in de bodem neemt hierdoor echter niet af. De effecten van het mestbeleid worden hierdoor geremd. Door geen fosforkunstmest te gebruiken wordt voor de gewasgroei de fosfaatvoorraad in de bodem aangesproken. Voor een optimale gewasgroei en daarmee een optimale onttrekking van fosfaat uit de bodem moet er voldoende stikstof beschikbaar zijn. Ook moet er geen substitutie plaatsvinden met dierlijke mest. Dat laatste is uitgangspunt geweest bij de berekeningen voor de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW. Geen kunstmest geven is aantrekkelijk wanneer de gewasopbrengst gelijk kan blijven omdat kosten worden bespaard en een milieueffect wordt bereikt. Dit zal vooral het geval zijn bij hogere fosfaattoestanden van de bodem en/of bij bouwplannen met een laag aandeel fosfaatbehoefte gewassen (Van Dijk et al., 2007). Verwacht wordt dat door het generieke mestbeleid (aanscherping van de fosforgebruiksnorm tot evenwichtsbemesting) het kunstmestgebruik op zandgrond al zal afnemen. In de huidige praktijk wordt de meeste fosforkunstmest vooral gebruikt bij akkerbouw op klei, omdat daar het dierlijke mestgebruik (in verband met risico's op structuurbedrijf bij voorjaarstoediening) lager is dan op zandgrond. In dat geval kan het achterwege laten van kunstmestbemesting vooral bij lagere fosfaattoestanden leiden tot een suboptimale fosforvoorziening met opbrengstderving als gevolg.

Toepassingsgebied

De ingreep is toegepast op alle landbouwgronden waar fosforkunstmest wordt gebruikt. Er wordt dus geen onderscheid gemaakt tussen verschillen in landgebruik en grondsoort.

Effectiviteit

Voor het bepalen van het effect op de fosforbelasting naar het oppervlaktewater is gebruik gemaakt van het uitspoelingsmodel STONE (Wolf et al., 2003). Hierbij is de bemesting gelijk gesteld aan de mestgiften zoals deze voor EMW 2007 zijn vastgesteld (MNP, 2007; Willems et al., 2008). De fosforkunstmest is vervolgens op nul gesteld, m.a.w. er wordt alleen fosfor uit dierlijke mest toegediend. De afname in fosfaatgift door het weglaten van fosforkunstmest wordt **niet** gecompenseerd door een hogere dierlijke mestgift.

Kosten

De kosten van deze ingreep zijn nog niet in deze factsheet beschreven

Literatuur

Dijk, W. van, H. Prins, M.H.A. de Haan, A.G. Evers, A.L. Smit, J.F.F.P. Bos, J.R. van der Schoot, R. Schreuder, J.W. van der Wekken, A.M. van Dam, H. van Reuler & R. van der Maas. Economische consequenties van gebruiksnormenstelsel 2006-2009 voor melkveehouderij en akker- en tuinbouw. Studie i.k.v. Evaluatie Meststoffenwet 2007. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 365, Lelystad.

MNP 2007. *Werking van de meststoffenwet 2006*. Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven. MNP-publicatienummer 500124001

Willems, W.J. et. al. 2008. *Prognose milieugevolgen van het nieuwe mestbeleid. Achtergrondrapportage Evaluatie Meststoffenwet 2007*. Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven. MNP-publicatienummer 500124001.

Wolf J., A.H.W.Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter, H. van Zeijts, 2003. *The integrated modeling system STONE for calculating emissions from agriculture in the Netherlands*. Environmental Modelling & Software 18: 597-617

Voorjaarstoediening (akkerbouw op klei)

Kenniseigenaar: Wim van Dijk, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)

Reviewer: Peter Dekker, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)

Definitie:

Op klei en lössgrond wordt op akkerbouwbedrijven de dierlijke mest doorgaans (deels) in de nazomer/herfst toegediend vanwege de risico's van structuurschade bij (vroeg) voorjaarstoediening. In dat geval blijft de stikstofwerking doorgaans beperkt tot circa 20%. Verschuiving van de mestgiften naar het voorjaar geeft een verhoging van de bemestende waarde van de stikstof in dierlijke mest (afhankelijk van mestsoort en toedieningswijze is een werking mogelijk van 55-70%) doordat het toedieningstijdstip beter aansluit op de opname van het gewas. Door het toedienen van dierlijke mest in het voorjaar, wordt de dierlijke mest beter benut (hogere werkingscoëfficiënt) waardoor minder stikstofkunstmest nodig is en waardoor de stikstofverliezen naar het milieu zullen afnemen. Verschuiving van toedieningstijdstip van nazomer/herfst naar voorjaar wordt deels al afgedwongen door het generieke mestbeleid via verbod op toediening van drijfmest na 15 september in 2009 en een verhoging van de wettelijke stikstofwerkingscoëfficiënt (van 30% in 2006 naar 60% in 2009). Een toediening in de nazomer (voor 15 september) blijft echter nog steeds mogelijk. Bij het generieke mestbeleid is ervan uitgegaan dat de helft in de nazomer en de helft in het voorjaar wordt toegediend. In de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW wordt uitgegaan van een variant waarbij alle mest in het voorjaar wordt toegediend (maximaal rendement) en dientengevolge de kunstmestgiften zijn verlaagd. Doordat het niveau van de dierlijke mestgift gelijk blijft, heeft de maatregel geen effect op het fosfaatoverschot.

Toepassingsgebied

De ingreep voorjaarstoediening wordt alleen toegepast voor akkerbouw op kleigronden. De ingreep wordt op lössgronden niet toegepast. Op zandgrond wordt dierlijke mest al standaard in het voorjaar toegepast, zodat daar niet veel winst meer is te boeken.

Effectiviteit

Stikstof

In tabel 3 is een schatting gegeven van de effectiviteit uitgedrukt als verlaging van de N-kunstmestgift (kg per ha) in relatie tot de mestgift. Hoe meer mest in het voorjaar wordt toegediend hoe groter de besparing op N-kunstmestgift. Bij de variant, waarbij alle mest in het voorjaar wordt toegediend, moet wel worden opgemerkt dat de effectiviteit wat lager uitvalt wanneer er in het bouwplan groenbemesters worden geteeld. Meestal worden die geteeld na graan, waardoor een extra N-bemesting nodig is. Wanneer de mest (deels) in het najaar wordt toegediend wordt daarin voorzien via de mest.

Tabel 3. Effectiviteit N (uitgedrukt als reductie van de N-kunstmestgift in kg per ha t.o.v. referentie generiek beleid: 50% mest in najaar en 50% mest in voorjaar) bij voorjaarstoediening van dierlijke mest op kleigrond.

N-mestgift kg/ha	Verdeling mest		Effectiviteit N (reductie N-kunstmestgift) kg/ha
	Najaar %	Voorjaar %	
60	25	75	5
	0	100	11
80	25	75	7
	0	100	14
100	25	75	9
	0	100	18

Fosfaat

Bij gelijkblijvende niveaus van gebruik van dierlijke mest is er geen effect op het fosfaatoverschot.

Kosten

Het economisch effect is een resultante van een daling van de kosten voor N-kunstmest (door de hogere N-werking van de mest) en opbrengstderving door rij- en structuurschade bij toediening in het voorjaar. Er is uitgegaan van een derving van 2,5% (afgeleid uit lopend onderzoek) in zowel wintertarwe als consumptieaardappelen. Afhankelijk van de omvang van het mestgebruik, de verdeling tussen voor- en najaar en het aandeel wintertarwe op het bedrijf zal een kleiner of groter deel van het tarwe- en aardappelareaal nodig zijn voor mesttoediening. Door deze aandelen te vermenigvuldigen met de opbrengstderving (2.5%) wordt een *bedrijfsgewogen* opbrengstderving verkregen voor wintertarwe en consumptieaardappelen (gewogen gemiddelde van areaal zonder en met mesttoediening). In tabel 4 zijn de resultaten weergegeven. Dat bij een aandeel wintertarwe van 25% de derving bij tarwe lager is dan bij aardappelen, komt doordat in de referentie ook al 50% van de mest in het voorjaar wordt toegediend en er dus sprake is van derving. Bij een mestgift van 100 kg N per ha bijvoorbeeld wordt bij de referentie al het volledige tarweareaal gebruikt voor mesttoediening. Verder verschuiving van mest naar het voorjaar leidt dan bij tarwe niet tot meer derving. De naar het voorjaar verschoven mest moet nu bij de aardappelen worden toegediend waardoor er daar meer derving ontstaat.

Tabel 4. In te rekenen opbrengstderving¹ bij wintertarwe en consumptieaardappelen t.o.v. referentie (50% mest in najaar, 50% mest in voorjaar) in relatie tot omvang mestgebruik, verdeling najaars- en voorjaarstoediening en het aandeel tarwe op het bedrijf (er is uitgegaan van 25% aardappelen op het bedrijf).

Mest-N (kg/ha)	Verdeling mest (%)		25% tarwe op bedrijf		50% tarwe op bedrijf	
	Najaar	Voorjaar	Derving Tarwe (%)	Derving Aard (%)	Derving Tarwe (%)	Derving Aard (%)
60	25%	75%	0,8	0	0,4	0
	0%	100%	0,8	0,7	0,9	0
80	25%	75%	0,2	0,7	0,6	0
	0%	100%	0,2	1,5	1,1	0
100	25%	75%	0	1,3	0,7	0
	0%	100%	0	2,3	1,1	0,5

¹ Het betreft een *bedrijfsgewogen* opbrengstderving (gewogen gemiddelde van areaal zonder en met mesttoediening).

Kennis

De effecten van de genoemde maatregelen op verhoging van de N-werking van dierlijke mest zijn redelijk tot goed onderbouwd met onderzoek.

Literatuur

Dijk, W. van, H. Prins, M.H.A. de Haan, A.G. Evers, A.L. Smit, J.F.F.P. Bos, J.R. van der Schoot, R. Schreuder, J.W. van der Wekken, A.M. van Dam, H. van Reuler & R. van der Maas. Economische consequenties van gebruiksnormenstelsel 2006-2009 voor melkveehouderij en akker- en tuinbouw. Studie i.k.v. Evaluatie Meststoffenwet 2007. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 365, Lelystad.

Dijk, W. van, A.M. van Dam, F.J. de Ruijter, J.C. van Middelkoop & K.B. Zwart (2005). Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt overige organische meststoffen. Studie t.b.v. onderbouwing gebruiksnormen. PPO-publicatie nr. 343, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad, 50 pp.

Dijk, W. van, J.G. Conijn, J.F.M. Huijsmans, J.C. van Middelkoop & K.B. Zwart (2004). Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt organische mest. Studie t.b.v. onderbouwing gebruiksnormen. PPO-publicatie nr. 343, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 337, Lelystad, 63 pp.

Wolf, M de. & A. van der Klooster, 2006. Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2006. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, PPO-publicatie nr. 354, 286 pp.

Vergroten mestopslag (melkveehouderij)

Kenniseigenaar: Idse Hoving, Animal Science group (ASG)

Reviewer: Jantine van Middelkoop, Animal Science group (ASG)

Definitie:

Door het vergroten van de mestopslag hoeft er geen mest te worden uitgereden in het najaar en vroege voorjaar (onder natte omstandigheden) en kan er ook meer mest vlak voor het begin van het groeiseizoen worden uitgereden. Dit resulteert in een betere benutting van de dierlijke mest, waardoor er gekort kan worden op de gift stikstofkunstmest. Het vergroten van de mestopslag heeft weinig tot geen effect op het fosfaatoverschot.

Samenvattend:

- Verbetering benutting drijfmest door het vergroten van de mestopslag
- Verlaging van de N-/P₂O₅-verliezen door voorkomen afspoeling in het vroege voorjaar en vermijden lage N-benutting in de nazomer.

Ingreep bestaat uit de volgende maatregelen:

- Geen drijfmest uitrijden onder natte omstandigheden in het vroege voorjaar
- Uitrijden mest in de eerste helft van het groeiseizoen

Toepassingsgebied

De ingreep 'Vergroten mestopslag' wordt alleen toegepast op melkveebedrijven (grasland). De effectiviteit van de ingreep kan landsdekkend gekwantificeerd worden op basis van regionale kenmerken:

- Geohydrologie
 - Natte gronden (beekdalen en veenweide)
 - Droge zandgronden
- Landgebruik: melkveehouderij (grasland)
- Grondsoort: zand, klei, veen

Effectiviteit

In tabel 5 is de effectiviteit van de ingreep weergegeven, waarbij de effectiviteit is uitgedrukt in een verlaging van de N- en P₂O₅-kunstmestgift.

Tabel 5. Reductie van de N- en P₂O₅-bemesting:

Verbeterde werking / beschikbaarheid drijfmest	N in het najaar (+25%) ¹⁾			N en P in het voorjaar (+10%)		
	Zand_droog	Klei	Veen	Zand_nat	Klei	Veen
Reductie N-kunstmestgift (%)	12,50	12,3	9,4	22,5	19,2	21,9
Reductie P ₂ O ₅ -kunstmestgift (%)	-	-	-	5	3,5	5

¹⁾ Bron: Van Dijk et al., in voorbereiding. Jaar mestwetgeving 2009

Kosten

Grasopbrengsten

Voor de situatie waarbij alleen een verbetering van de N-benutting in het najaar is doorgerekend (Van Dijk et al., in voorbereiding) is het verschil in grasopbrengsten tussen de varianten per bedrijf weergegeven in tabel 6.

Tabel 6. Verschil in grasopbrengsten door het vergroten van de mestopslag berekend voor een melkveebedrijf op zand-, klei- en veengrond, waarbij alleen de werking van de drijfmest in het najaar verbeterd (Van Dijk et al., in voorbereiding)

Bedrijf Variant		Zand		Klei		Veen	
		Referentie	Vergrote mestopslag	Referentie	Vergrote mestopslag	Referentie	Vergrote mestopslag
Oppervlakte grasland	(ha)	21,0	21,0	32,8	32,8	43,2	43,2
Bruto grasopbrengst	(kg ds)	12923	13229	13828	14092	12598	12598
Netto grasopbrengst	(KVEM)	9254	9495	9967	10223	8162	8162

De economische bedrijfsresultaten per bedrijfstype berekend bij een verbeterde N-werking van drijfmest in het najaar uitgaande van het jaar van mestwetgeving 2009, zijn voor een aantal bedrijfstypen bepaald (Van Dijk et al., in voorbereiding).

In tabel 7 staan per bedrijfstype extra hoeveelheid mestopslag (ter grootte derde uitrijdstip), de investeringskosten en de daling van de arbeidsopbrengst bij een verbeterde N-werking van drijfmest in het najaar.

Tabel 7. Investeringskosten en daling arbeidsopbrengst door vergroting mestopslag berekend voor drie bedrijfstypen bij verbeterde N-werking drijfmest in het najaar (Van Dijk et al., in voorbereiding)

Bedrijf		Zand	Klei	Veen
Intensiteit	(kg melk per ha)	20.000	16.000	11.000
Vergroting mestopslag	(m ³)	338	337	394
Kosten	(€/m ³)	77	116	116
Investering	(€)	26.026,-	39.092,-	45.704,-
Jaarkosten (7%)	(€)	1.822,-	2.736,-	3.199,-
Daling arbeidsopbrengst	(€)	1.200,-	4.400,-	3.100,-

Kennis

De effecten van de genoemde maatregelen op verhoging van de N-werking van dierlijke mest zijn redelijk tot goed onderbouwd met onderzoek (bijlage 1). De effectiviteit van de maatregel voor wat betreft de verbetering van de N-benutting is relatief hoog, maar de baten wegen echter niet op tegen de kosten.

Literatuur

AGV. PPO-rapport in voorbereiding (augustus 2007)

Dijk, W. van, H. Prins, M.H.A. de Haan, A.G. Evers, A.L. Smit, J.F.F.P. Bos, J.R. van der Schoot, R. Schreuder, J.W. van der Wekken, A.M. van Dam, H. van Reuler & R. van der Maas. Economische consequenties van gebruiksnormenstelsel 2006-2009 voor melkveehouderij en akker- en tuinbouw. Studie i.k.v. Evaluatie Meststoffenwet 2007. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 365, Lelystad.

Hemmer, Hans, Bert Bosma, Aart Evers en Izak Vermeij, 2006. Kwantitatieve Informatie Veehouderij (KWIV) 2006/2007. Animal Sciences Group, Lelystad.

Precisiebemesting (akkerbouw)

Kenniseigenaar: Wim van Dijk, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)

Reviewer:

Definitie:

Het verhogen van de benutting van nutriënten uit toegediende kunstmeststoffen door een betere temporele en/of ruimtelijke afstemming van aanbod en opname van nutriënten (geleide bemesting).

Geleide bemesting omvat een scala aan maatregelen zoals:

- Timing (bijmestsystemen, vooral N)
- Plaatsing (o.a. rijenbemesting)
- Plaats specifieke bemesting (o.b.v. plaats specifieke metingen en toediening, GPS)
- Alternatieve meststoffen (bijvoorbeeld vloeibare ammoniumhoudende meststoffen)

Bij deze ingreep gaat het om het totaal aan mogelijke maatregelen en wat daarmee aan efficiencyverhoging kan worden geboekt. Het gaat dus niet om de effecten van afzonderlijke maatregelen.

Toepassingsgebied

Het toepassingsgebied beperkt zich tot situaties met een lage fosfaattoestand van de bodem en een hoog aandeel fosfaatbehoefte gewassen in het bouwplan, waarbij bovendien de fosfaatruimte niet volledig is opgevuld met dierlijke mest (kleigebieden). In dat geval zou op basis van bovenstaande vooralsnog kunnen worden uitgegaan van een efficiencyverhoging van 25-50% bij kunstmestfosfaat.

Effectiviteit

Stikstof

Geleide bemesting bij stikstof omvat zowel de mogelijkheden van een betere timing als een betere plaatsing en omvat een scala aan maatregelen.

Via aanscherping van de gebruiksnormen wordt een efficiëntere bemesting deels al afgedwongen door het generieke mineralenbeleid. Door verdere technische ontwikkelingen is waarschijnlijk nog wel een verdere efficiencyverhoging te verwachten. Vooralsnog wordt ervan uitgegaan dat een efficiencyverhoging van 10% mogelijk is aanvullend op het huidige generieke beleid (N-gebruiksnormen 2009).

Fosfaat

Verhoging van efficiency zal zich beperken tot situaties met een lage fosfaattoestand van de bodem en een hoog aandeel fosfaatbehoefte gewassen in het bouwplan, waarbij bovendien de fosfaatruimte niet volledig is opgevuld met dierlijke mest. In dat geval zou vooralsnog kunnen worden uitgegaan van een efficiencyverhoging van 25-50% bij kunstmestfosfaat. In dit onderzoek is de efficiencyverhoging voor kunstmestfosfaat **niet** meegenomen.

Kosten

De kosten, samenhangend met toepassen van geleide bemesting, vloeien voort uit extra bemonsterings- en analysekosten, extra kosten voor alternatieve meststoffen en extra kosten voor toediening (bijvoorbeeld rijenbemesting). De omvang van de kosten zijn afhankelijk van het gewas (aantal tijdstippen) en de omvang van het perceel. Uit het reeds genoemde geleide bemestingsonderzoek bedroegen de kosten voor aardappelen en prei respectievelijk 20-40 € per ha en 35-75 € per ha. Genoemde kosten zijn exclusief besparing kunstmestkosten.

Vaak zullen de kosten hoger zijn dan de baten. De situatie wordt anders wanneer er sprake is van een situatie, waarbij bij 'normale' bemesting een tekort aan N ontstaat (bijvoorbeeld bij scherpe gebruiksnormen). In dat geval kan geleide bemesting opbrengstderiving (deels) voorkomen waardoor het ook uit kostenoogpunt sneller gunstig kan uitpakken.

Kennis:

De effecten van niet-plaatsspecifieke geleide bemestingsmethoden zijn redelijk tot goed onderbouwd met onderzoek. Voor plaatsspecifieke bemestingsmethoden is dat minder het geval.

Literatuur

Ehlert, P.A.I., C.A.P. van Wijk & P. de Willigen, 2002. Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen 3. Precisiebemesting. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, projectrapport nr. 1125232, 27 pp.

Radersma, S., W.C.A. van Geel, C. Grashoff, G.J. Molema & N.S. van Wees, 2005. Geleide bemesting in de open teelten: Ontwikkeling van systemen. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 334, 31 pp.

Schoot, J.R. van der & W. van Dijk, 2001. Rijenbemesting met dierlijke mest in maïs maakt kunstmest overbodig. PPO-bulletin Akkerbouw (2001-2), p. 13-17.

Schröder, J.J., L. ten Holte & G. Brouwer, 1995. Rijenbemesting met drijfmest. AB-DLO, rapport nr. 44, Wageningen. 46 pp.

Schoumans. O.F., 2007. Trend in het verloop van de fosfaattoestand van landbouwgronden in Nederland in de periode 1998-2003. Wageningen, Alterra.

Smit. A.L., P. de Willigen & A.A. Pronk, 2008. Het effect van plaatsing van fosfaat en stikstof bij vollegrondsgroenten. PRI-rapport (in voorbereiding).

Bouwplan aanpassen (Akkerbouw)

Kenniseigenaar: Wim van Dijk, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)

Reviewer: Peter Dekker, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO)

Definitie

Verbetering van de nutriëntenbenutting door veranderingen aan te brengen in het bouwplan. Dit kan betrekking hebben op zowel de te telen gewassen (minder uitspoelingsgevoelige gewassen) als de vruchtopvolging (volgorde teelten) binnen een gegeven bouwplan (optimaliseren nutriëntenoverdracht). Door optimalisering van een bestaand bouwplan (o.a. gewasvolgorde) of door deze aan te passen wordt de nutriëntenbenutting verhoogd en het N/P-overschot verlaagd.

De volgende maatregelen kunnen deel uitmaken van de ingreep:

- Minder teelten per jaar
- Minder uitspoelingsgevoelige gewassen telen (extensivering), bouwplan aanpassen
- Volgorde teelten (diepwortelende gewassen na ondiepe wortelende gewassen)

Deze factsheet richt zich op extensivering van het bouwplan. Eenvoudiger door te voeren maatregelen als optimalisering van de gewasvolgorde zal naar verwachting al worden gestimuleerd via aanscherping van het generieke beleid. Laatstgenoemde maatregel is vooral van belang voor grondsoorten waarop een diepe beworteling mogelijk is (o.a. löss).

Extensivering is mogelijk door:

- Het telen van minder uitspoelingsgevoelige gewassen (verandering bouwplansamenstelling)
- Minder teelten per jaar (vollegrondsgroenten)

Het areaal waarop meerdere teelten per jaar worden geteeld is relatief gering. In gebieden met veel intensieve vollegrondsgroenteteelt kan het wel een aanzienlijk deel van het areaal innemen. Hieronder wordt ingegaan op aanpassing van het bouwplan door aardappels (deels) te vervangen door wintertarwe.

Toepassingsgebied

De ingreep heeft alleen betrekking op de akkerbouwgebieden waar zetmeel en/of consumptieaardappelen worden verbouwd. Bij pootaardappelen is het verschil in bodembelasting met wintertarwe veel geringer en zal de verlaging van de milieubelasting bij vervanging door wintertarwe veel geringer zijn.

Effectiviteit

Stikstof

Vervanging van aardappelen door wintertarwe leidt tot een lagere N-bemesting (vooral op zandgrond) en een hogere N- en P-afvoer. Ook de fosfaatbehoefte zal afnemen.

In tabel 8 zijn de gevolgen van vervanging van aardappelen door wintertarwe op de N-bemesting en N/P-afvoer met geoogst product weergegeven voor de belangrijkste teeltgebieden voor consumptieaardappelen (Centrale en Zuidwestelijke kleigebied, Zuidoostelijk zandgebied) en zetmeelaardappelen (Noordoostelijk zand- en dalgebied). Er is uitgegaan van vervangingspercentages van 25, 50 en 100%. Voor de berekeningen voor de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW is gebruik gemaakt van een vervangingspercentage van 25%.

Tabel 8. Daling N-bemesting (kunstmest), N- en P-afvoer met geoogst product op bedrijfsniveau bij vervanging (25, 50 en 100%) van consumptie- en zetmeelaardappelen door wintertarwe in een aantal belangrijke teeltgebieden.

Regio	Aandeel Aardappelen (%)	Daling N-gift (kg/ha)			Stijging N-afvoer (kg/ha)			Stijging P-afvoer (kg P ₂ O ₅ /ha)		
		25	50	100	25	50	100	25	50	100
CK	20	1	2	4	1	2	4	1	1	2
	30	2	3	6	2	3	6	1	2	3
	40	2	4	8	2	4	8	1	2	4
ZWK	20	1	2	4	2	5	9	1	2	4
	30	2	3	6	3	7	14	2	3	6
	40	2	4	8	5	9	18	2	4	8
NON	20	4	8	16	1	1	2	1	2	3
	30	6	12	24	1	2	3	1	2	5
	40	8	16	32	1	2	4	2	3	6
	50	10	20	40	1	3	5	2	4	8
ZON	20	5	11	21	1	1	2	1	1	2
	30	8	16	32	1	2	3	1	2	3
	40	11	21	42	1	2	4	1	2	4

Fosfaat

Het effect van de ingreep 'Aanpassen bouwplan' heeft voornamelijk betrekking op stikstof. Het effect van de ingreep op de fosfaatbemesting is niet gekwantificeerd.

Kosten

Tabel 9 geeft een inschatting van de inkomenseffecten. Deze is gebaseerd op verschillen in gewassaldo tussen consumptie- en zetmeelaardappelen enerzijds en wintertarwe anderzijds (KWIN Akkerbouw).

Tabel 9. Daling arbeidsopbrengst op bedrijfsniveau bij vervanging (25, 50 en 100%) van consumptie- en zetmeelaardappelen door wintertarwe in een aantal belangrijke teeltgebieden.

Regio	Aandeel Aardappelen (%)	Daling arbeidsopbrengst (€/ha)		
		25	50	100
CK	20	117	233	466
	30	175	350	699
	40	233	466	932
ZWK	20	79	159	317
	30	119	238	476
	40	159	317	634
NON	20	22	43	86
	30	32	65	129
	40	43	86	172
	50	54	108	215
ZON	20	70	140	279
	30	105	209	419
	40	140	279	558

Het geringste effect treedt op in het noordoostelijk zand- en dalgebied (laag saldo zetmeelaardappelen) en het sterkste effect in het centrale zeekleigebied (hoog saldo consumptieaardappelen).

Kennis:

De effecten van vervanging van aardappelen door wintertarwe zijn gebaseerd op opbrengst- en prijsniveaus zoals vermeld in de KWIN Akkerbouw. De N- en P-afvoer is mede gebaseerd op standaard N-gehalten die voor de genoemde gewassen goed zijn onderbouwd met onderzoekscijfers.

Literatuur

Wolf de, M. & A. van der Klooster, 2006. Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2006. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, PPO-publicatie nr. 354, 286 pp.

4.2.2 Perceelsmaatregelen

Uitmijnen

Kenniseigenaren : Wim Chardon, Alterra Centrum Bodem (CB)
: Gert-Jan Noij, Alterra Centrum Water en Klimaat (CWK)

Reviewer:

Definitie:

De ingreep 'Bodemsanering' is gericht op het verlagen van de P-toestand van het bodemprofiel. Het doel kan zijn om voormalige landbouwgrond geschikt te maken voor natuurontwikkeling, of om de P-belasting van het oppervlaktewater terug te dringen. De landbouwkundige P-toestand wordt uitgedrukt in het Pw-getal op bouwland (0-20 cm –mv) en P-AL op grasland (0-10 cm –mv). De landbouwkundige P-toestand omvat het beschikbare deel van de P voor gewasopname. Dit deel kan ook uitspoelen naar diepere bodemlagen of naar oppervlakkige ontwateringsmiddelen. Voor het bepalen van het risico op uitspoeling wordt de P-toestand uitgedrukt ten opzichte van het fosfaatbindend vermogen (fosfaatverzadigingsgraad; 0-50 cm –mv of 0-GHG).

De ingreep bestaat uit de volgende maatregelen:

- Afgraven
- Wasmachine (aeroob/anaeroob)
- Uitmijnen op P-lekkende gronden
- Uitmijnen op P-lekkende locaties VHR gebieden

Door het verlagen van de P-toestand van de bovengrond daalt de uit- en afspoeling van P naar het oppervlaktewater, mits de hoeveelheid P die verwijderd wordt groter is dan 25% van de verwijderde hoeveelheid fosfaatbindend vermogen (in het geval van afgraven).

In het geval van afgraven wordt ook de N-voorraad in de bovengrond verwijderd, waardoor de N-afvoer zal dalen. Vermoedelijk zal de N-afvoer ook gaan dalen bij de wasmachine, omdat door afwisselende aerobe en anaërobie mineralisatie en denitrificatie elkaar zullen afwisselen, waardoor naar verwachting per saldo N wordt verwijderd uit de bovengrond.

Bij uitmijnen wordt minder P toegediend dan het gewas onttrekt, waardoor de P-toestand daalt (negatief overschot). Om de onttrekking te stimuleren moeten de andere nutriënten wel naar behoefte worden verstrekt. De P-onttrekking gaat natuurlijk het snelst wanneer helemaal geen P meer wordt toegediend. In dit geval kan geen dierlijke mest meer worden gebruikt.

Toepassingsgebied

In de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW is alleen de maatregel uitmijnen uitgewerkt en toegepast op alle landbouwgronden en dus op alle grondsoorten en landgebruiktypen.

Effectiviteit

Het effect van uitmijnen op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater is berekend met het uitspoelingsmodel STONE. Voor deze studie zijn een aantal varianten doorgerekend met verschillende dierlijke mestgiftten (80%, 60% en 0% van de huidige mestgift) om te verkennen bij welk niveau de gewasopname ongeveer gelijk blijft. Uit de berekeningen blijkt dat bij 60% fosfor uit dierlijke mest een evenwichtssituatie wordt bereikt waarbij de gewasopname nog net maximaal is.

Het verlagen van de dierlijke mestgift moet worden gecompenseerd met aanvullende stikstofkunstmest om productieverlies te vermijden en een maximale fosfaatonttrekking te realiseren.

Kosten

Behalve de effectiviteit in termen van vrachtreductie zijn ook de kosten van maatregelen van belang voor een goede afweging. In dit verband wordt de term kosteneffectiviteit gebruikt. Kosteneffectiviteit wordt hier berekend als kosten gedeeld door vrachtreductie, waarbij de kosten worden uitgedrukt in $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$ en de vrachtreductie in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{jaar}^{-1}$ (N of P). De eenheid van kosteneffectiviteit wordt dan $\text{€} \cdot \text{kg}^{-1}$. Dat leidt gemakkelijk tot verwarring omdat een hoge waarde van kosteneffectiviteit dus ongunstig is. In dit verband is het daarom beter om van een gunstige dan om van een hoge kosteneffectiviteit te spreken.

De kosten in de tabellen 10 (uitmijnen en hydrologische maatregelen) zijn overgenomen uit Noij, et al. (2008[rapport 1618]). De kosteneffectiviteit is vervolgens berekend door de kosten te delen door de absolute vrachtreductie uit tabel 10. In het geval van uitmijnen ligt dit wat gecompliceerder, omdat de kosten van uitmijnen in Noij, et al. (2008) zijn berekend in bedrijfsverband, dat wil zeggen voor een heel bedrijf, terwijl uitmijnen op slechts een deel van het bedrijf (15 of 30%) werd toegepast. Dit betekent dat slechts 15 of 30% van de vrachtreductie mag worden doorberekend. Hierdoor valt de kosteneffectiviteit ongunstig uit. Hierbij kan dezelfde kanttekening gemaakt worden als in Noij, et al. (2008), namelijk dat uitmijnen gunstiger uitpakt naarmate het op een kleiner deel van het bedrijf wordt toegepast, en naarmate het verschil in P-toestand tussen uitmijnpercelen en de rest van het bedrijf groter is.

Tabel 10 Kosteneffectiviteit van uitmijnen. Kosten overgenomen uit Noij et al. (2008: akkerbouw variant Zuid Oost Nederland; melkvee variant Zand).

Hydrologie	P-profiel	Vrachtreductie		Aandeel uitmijnen, soort landbouw en gewas				
		kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹	%	melkvee gras	melkvee gras	melkvee mais	akkerbouw graan	akkerbouw rotatie
				15%	30%	30%	30%	30%
				Kosten, €·ha ⁻¹				
				118	401	467	45	600
				Kosteneffectiviteit €·kg ⁻¹ N				
Nat ¹		3.4	6	231	393	458	44	588
Gedraineerd ¹		14.6	18	54	92	107	10	137
				Kosteneffectiviteit €·kg ⁻¹ P				
Nat	HL ²	0.32	41	2458	4177	4865	469	6250
	HH	0.36	34	2185	3713	4324	417	5556
	HH*	0.63	40	1249	2122	2471	238	3175
Droog	HH ²	0.02	48	39333	66833	77833	7500	100000
Gedraineerd	HL ²	0.03	8	26222	44556	51889	5000	66667
	HH	0.03	9	26222	44556	51889	5000	66667
	HH*	0.03	6	26222	44556	51889	5000	66667

¹ niet berekend voor cluster droog

² niet berekende voor de overige P-profielen

Literatuur

Chardon, W.J., M. Pleijter, C. van der Salm, O.F. Schoumans & O. Oenema. 2007. Milieukundige gevolgen van aanscherping en differentiatie van fosfaatgebruiksnormen in de landbouw. Wageningen, Alterra-rapport 1571. 48 blz.; 18 fig.; 11 tab.; 20 ref.

Koopmans, G.F., W.J. Chardon, P.A.I. Ehlert, J. Dolfing, R.A.A. Suurs, O. Oenema, and W.H. van Riemsdijk. 2004. Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil. J. Environ. Qual. 33:965-975.

Noij, Gert-Jan en Wim Corré (eds), Erwin van Boekel, Henk Oosterom, Jantine van Middelkoop, Wim van Dijk, Olga Clevering, Leo Renaud en Jan van Bakel, 2008. Kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen voor bufferstroken in Nederland. Wageningen, Alterra-rapport 1618. 228 blz.; 56 fig.; 113 tab.; 67 ref.

Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage

Kenniseigenaar: Jan van Bakel, Alterra Centrum Water en Klimaat (CWK)

Reviewer:

Definitie:

Een nieuwe manier van drainage op zandgronden waarbij de ontwateringsbasis van drains en sloten structureel wordt verhoogd (orde van 40 cm), de drainafstand geringer is en de drains ca 30 cm dieper worden aangelegd en via een verzameldrain in een punt met stelpijp uitkomen. Een deel (ca. de helft) van de ondiepe sloten kan worden gedempt.

Toepassingsgebied

De effectiviteit ingreep kan landsdekkend gekwantificeerd worden op basis van een aantal regionale kenmerken:

- drainagebehoefte zandgronden ($Gt < VI$)
- bouwland en grasland
- vlak en zwak-hellende gebieden

In de ex-ante evaluatie landbouw en KRW is de maatregel alleen toegepast op drainagebehoefte zandgronden die in de uitgangssituatie ongedraineerd zijn.

Effectiviteit

Het effect van 'ontwatering percelen' heeft zowel een hydrologisch effect als een effect op de nutriëntenbelasting.

Hydrologie

De hydrologische effecten zijn:

- verlaging van de hoogste grondwaterstanden waardoor ook de maaiveldafvoer verminderd
- Een verhoging van de laagste grondwaterstanden en verhoging van de gemiddelde grondwaterstand.

Nutriënten

In tabel 11 is het effect van de ingreep op de nutriëntenbelasting weergegeven voor de verschillende transportroutes.

Tabel 11 Verwachte reductiefactor op de nutriëntbelasting van het oppervlaktewater via de verschillende transportroutes.

Transportroute	Waterflux	N-vracht	P-vracht
		Reductie (%)	Reductie (%)
Maaiveld	50	50	50
Interflow	30	20	10
Buisdrainage	nvt	nvt	nvt
Ondiepe sloot	50	40	40
Diepe sloot	50	30	20
Kwel	0	0	0
Wegzijing	0	0	0

In de ex-ante evaluatie landbouw en KRW is gekozen voor een pragmatische aanpak, waarbij onderscheid gemaakt wordt in effectiviteit voor stikstof en fosfor.

De effecten op de nutriëntenuitspoeling zijn:

- Reductie van totale N-belasting (20%)
- Aanzienlijke reductie van totale P-belasting (50%)

Kosten

In tabel 12 wordt een inschatting gegeven van de kosten voor het aanleggen van samengestelde, peilgestuurde drainage.

Tabel 12. Kosten en baten bij het aanleggen van dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage.

Kosten	
Aanlegkosten	€ 3000 per ha
Afschrijving	20 jaar
Onderhoud	€ 100 per ha per jaar (eigen arbeid)
Ruimtebeslag	0%
Baten	
Verandering nat- en droogteschade afhankelijk uitgangssituatie	

De aanlegkosten van de dieper aangelegde, samengestelde drainage wordt ingeschat op € 3.000 per ha. De afschrijving van het drainagesysteem is 20 jaar. Voor het jaarlijkse onderhoud (eigen arbeid) wordt € 100 per ha per jaar aangehouden.

Het aanleggen van samengestelde, peilgestuurde drainage resulteert in een verlaging van de hoogste grondwaterstand. Hierdoor kan natschade worden voorkomen. Door het opgezette peil kan tegelijkertijd ook droogteschade worden voorkomen. De eventuele baten zijn o.a. afhankelijk van de uitgangssituatie (hoogte ontwateringsbasis, landgebruik etc.)

Kennis:

De effecten zijn ingeschat op basis van een modelonderzoek waarbij voor 13 STONE-plots in het zuidelijk zandgebied berekeningen zijn uitgevoerd met SWAP-ANIMO.

Literatuur

Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel en G.-J. Noij, 2008. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1647. 258 blz.; 256 fig.; 137 tab.; 13 ref.

'Droge' bufferstroken

Kenniseigenaar: Gert-Jan Noij, Alterra Centrum Water en Klimaat (CWK)

Reviewer:

Definitie:

In het geval van randenbeheer wordt een strook naast de watergang niet bemest en wordt vaak een ander gewas geteeld of natuurlijke vegetatie onderhouden. Randenbeheer kan meerdere doelen dienen, zoals het verminderen van drift (bestrijdingsmiddelen) en meemesten van de sloot, het stabiliseren van taluds, waardoor minder grond in de watergang komt en het verhogen van de biodiversiteit naast landbouwpercelen. Natte bufferstroken kunnen daarnaast een rol spelen bij waterberging. In deze factsheet gaan we alleen in op de effecten van onbemeste "droge" bufferstroken op de nutriëntenuitspoeling. Randenbeheer is specifiek gericht op de overgang van perceel naar water in tegenstelling tot maatregelen die op het hele perceel worden getroffen.

Toepassingsgebied

Onbemeste bufferstroken hebben alleen invloed op de oppervlakkige en ondiepe afvoerroutes van een perceel naar de sloot. Daarom worden bufferstroken in deze studie alleen toegepast op ongedraineerde landbouwgronden. We gaan uit van een bufferstrook van 5 meter breed, waarbij maximaal 5% van het totale landbouwareaal uit productie mag worden genomen. Als blijkt dat de bufferstrook meer dan 5% van het totale areaal bedraagt, wordt een smallere bufferstrook aangelegd.

Effectiviteit

Het totale effect van bufferstroken kan in theorie worden opgedeeld in drie deeleffecten:

1. Bemestingseffect: Door de onbemeste bufferstrook wordt minder meststof aan het perceel toegediend. Voor dit effect maakt de plaatsing van de onbemeste strook niet uit, alleen het oppervlak (c.q. breedte).
2. Verblijftijdeffect: Het verblijftijdeffect is een specifiek effect van de plaatsing naast de sloot. Het relatief N en P rijke water van de rest van het perceel is langer onderweg naar de sloot dan het inmiddels N- en P-arme water van de onbemeste bufferstrook. De onbemeste bufferstrook beïnvloedt de korte stroombanen die oorspronkelijk de hoogste concentraties hadden. Dit effect wordt met een analytische formule beschreven door Groenendijk en Heinen (in voorb)
3. Onderscheppend effect: Ook het onderscheppend effect is een specifiek effect van de plaatsing naast de sloot. Water dat vanaf de rest van het perceel over het maaiveld of door de bovengrond naar de sloot stroomt, gaat eerst door de bufferstrook, waardoor N en P uit het water kan worden verwijderd.

De effecten 2 en 3, en daardoor ook de effectiviteit van bufferstroken zijn afhankelijk van een aantal locatietekenen, vooral geohydrotype, helling en landgebruik. Voor het bepalen van de effectiviteit van bufferstroken kunnen een aantal stappen worden onderscheiden. In bijlage 2 worden deze stappen nader toegelicht. In tabel 13 is voor de verschillende combinaties van plotkenmerken de effectiviteit voor N en P weergegeven.

Tabel 13. Kwalitatieve inschatting van de effectiviteit van onbemeste bufferstroken voor verschillende combinaties van plotkenmerken voor stikstof (N) en fosfor (P).

Plotkenmerken								
Landgebruik	+	+	+	+	-	-	-	-
Geohydratype	+	+	-	-	+	+	-	-
Helling	+	-	+	-	+	-	+	-
<i>Waardering P (L+G+H)</i>	+++	++	++	+	++	+	+	-
Effectiviteit P (%)	30	20	20	10	20	10	10	5
<i>Waardering N (G)</i>	+	+	-	-	+	+	-	-
Effectiviteit N (%)	20	20	10	10	20	20	10	10

Kosten

Tabel 14. Kosteneffectiviteit van bufferstroken op basis van het bemestingseffect.

Bedrijfsysteem	Kosten ¹ n ¹ €.ha ⁻¹	N-vracht- referentie kg.ha ⁻¹	N-vracht- reductie ¹ kg.ha ⁻¹	Kosten- effectiviteit € kg ⁻¹ N	P-vracht- referentie kg.ha ⁻¹	P-vracht- reductie ¹ kg.ha ⁻¹	Kosten- effectiviteit €.kg ⁻¹ P
Akkerbouw Centrale Zeeklei		19,5			0,69		
5% bufferstroken	135		0,3	450		0	niet eff.
10% bufferstroken	270		0,6	450		0	niet eff.
Akkerbouw ZuidWestelijk klei		15,7			0,32		
5% bufferstroken	41		0,25	165		0	niet eff.
10% bufferstroken	82		0,5	165		0	niet eff.
Akkerbouw ZuidOostelijk zand		28,4			4,22		
5% bufferstroken	40		0,6	65		0,04	1000
10% bufferstroken	80		1,2	65		0,08	1000
Akkerbouw NoordOostelijk zand		29,1			1,64		
5% bufferstroken	22		0,65	34		0,02	1100
10% bufferstroken	44		1,3	34		0,04	1100
Melkveehouderij klei		15,7			7,9		
5% bufferstroken	-1		0,2	geen kosten		0	niet eff.
10% bufferstroken	11		0,5	22		0,01	1100
Melkveehouderij zand		19,1			1,42		800
5% bufferstroken	12		0,2	60		0,01	1400
10% bufferstroken	43		0,4	110		0,02	3600
10% bufferstr. onb ²	54		1	70		0,01	2000
10% bufferstr. maf ³	107		0,5	214		0,05	
Melkveehouderij veen		6,1			1,3		niet eff.
10% bufferstroken	-3		0,2	geen kosten		-0,02	niet eff.
20% bufferstroken	4		0,4	9		-0,01	

¹ ten opzichte van referentiescenario

² onbeweid

³ met mestafvoer

Literatuur

Noij, Gert- Jan, Wim Corré, Erwin van Boekel, Henk Oosterom, Jantine van Middelkoop, Wim van Dijk, Olga Clevering, Leo Renaud & Jan van Bakel, 2008. *Kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen voor bufferstroken in Nederland*. Wageningen. Alterra, Alterra-rapport 1618. 228 blz., 56 fig., 113 tab., 67 ref.

4.2.3 Slootmaatregelen

Helofytenfilters

Kenniseigenaar: Olga Clevering, Rijkswaterstaat Waterdienst

Reviewer:

Definitie:

In een vloeiveld stroomt water over de waterbodem door een begroeiing van helofyten (riet). Er zijn vier typen vloeivelden, allen met een grondbeslag van 2%:

- 1) Een vloeiveld met minimaal beheer
- 2) Een vloeiveld met maaien van riet in september
- 3) Een vloeiveld waarbij de bovenste organisch stofrijke toplaag (10 cm) zesjaarlijks wordt verwijderd, en waarbij in het derde, vierde en vijfde jaar riet wordt gemaaid
- 4) Een vloeiveld met toevoeging van ijzer om fosfaat te binden. Vanwege de hoge prijs van ijzer lijkt dit op dit moment geen optie om breed in het landelijk gebied in te zetten

Voor deze studie is gekozen voor optie 2 (lage belasting $\leq 1,4$ kg P/ha landbouwgrond) en optie 3 (hoge belasting $> 1,4$ kg P/ha landbouwgrond).

Toepassingsgebied

De effectiviteit van de ingreep kan landsdekkend gekwantificeerd worden door de volgende verklarende kenmerken:

- *Grondsoort.*

Er wordt geen onderscheid gemaakt in effectiviteit tussen klei en zand. Op mineraliserende veengronden valt te verwachten dat vanwege de hoge N- en P-achtergrondconcentraties de effectiviteit laag zal zijn. Bij gebrek aan voldoende onderzoeksgegevens, wordt vooralsnog uitgegaan van dezelfde rekenregels.

- *Gt-klasse (zand en veen ($Gt < VI$), klei alle (Gt -klassen)).*

Bij de berekeningen is ervan uitgegaan dat de vloeivelden jaarrond worden gevoed met (stromend) water. Per regio zal moeten worden nagedacht over geschikte locaties. Dit kan bijvoorbeeld op individuele bedrijven op marginale landbouwgronden, collectief op locaties met het hoogste zuiveringsrendement of juist in de buurt van een blauw knooppunt of bij inlaat van kwetsbare natuurgebieden. In kleigebieden kan ervoor gekozen worden om niet het water van de, in de zomerperiode droogvallende boerensloten, te zuiveren, maar juist dat in de grotere watergangen.

Effectiviteit

Voor het bepalen van de effectiviteit van helofytenfilters op de stikstof- en fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater kunnen verschillende varianten worden onderscheiden.

Stikstof

Minimaal beheer: 38% (filters ouder dan vier jaar)

September maaien: 44% (filters ouder dan zes jaar, mits geen C-limitatie optreedt)

Baggeren + maaien: $< 38\%$ (C-limitatie treedt op)

Toevoeging van ijzer: 38% (filters ouder dan vier jaar). NB hiervoor zijn aerobe omstandigheden voor nodig, kan conflicteren met nitraatverwijdering.

Fosfaat

De effectiviteit van helofytenfilters is afhankelijk van de P-belasting in de uitgangssituatie. Hoe lager de P-belasting, hoe hoger de relatieve effectiviteit, de absolute hoeveelheid P dat wordt verwijderd neemt bij lagere P-belastingen af.

In tabel 15 en tabel 16 is het relatieve effect van helofytenfilters weergegeven bij verschillende P-belastingen en verschillende beheervarianten

Tabel 15. Relatieve effectiviteit van helofytenfilters met een P-belasting tussen 1 en 2 kg P/ha voor verschillende beheervarianten.

belasting kg/ha	minimaal beheer %	sept. maaien %	baggeren + maaien %	ijzer %
1.0	39	60	72	72
1.1	40	59	72	72
1.2	37	55	72	72
1.3	34	50	72	72
1.4	32	47	72	72
1.5	30	44	67	72
1.6	28	50	72	72
1.7	27	47	72	72
1.8	25	45	72	72
1.9	24	43	72	72
2.0	23	41	72	72

Tabel 16. Relatieve effectiviteit van helofytenfilters met een P-belasting tussen 1 en 10 kg P/ha voor verschillende beheervarianten.

belasting kg/ha	minimaal beheer %	sept. maaien %	baggeren + maaien %	ijzer %
1	39	60	72	72
2	23	41	72	72
3	16	28	72	72
4	13	21	56	72
5	10	17	45	72
6	9	15	38	72
7	8	13	33	72
8	7	12	29	72
9	7	11	26	72
10	6	10	24	72

Toevoeging van ijzer

Voorlopig uitgaan van ca. 72% verwijdering (ongeacht de belasting)

Kosten

Voor het berekenen van de kosten van helofytenfilters zijn de volgende zaken van belang:

- De kosten van het uit de productie nemen van landbouwgrond
- De kosten van aanleg van de zuiveringssystemen
- De kosten van het beheer

In tabel 14 zijn de kosten voor de verschillende beheervormen weergegeven.

Tabel 14. Investerings- en onderhoudskosten van helofytenfilters voor verschillende beheervarianten.

	uitvoering	uitvoering	Minimaal beheer	Maaien	Baggeren + maaien
Ruimtebeslag (%)			2	2	2
Investeringskosten (€)			80.000	80.000	80.000
Afschrijvingstermijn (jr.)			24	24	24
		1	500	1350	500
		2	500	1350	500
	Agrariër	3	500	1350	1350
		4	500	1350	1350
		5	500	1350	1350
		6	500	1350	-
Onderhoudskosten (€ /ha)		subtotaal	3000	8100	5050
		1	-	350	-
		2	-	350	-
	Loonwerker	3	-	350	350
		4	-	350	350
		5	-	350	350
		6	-	350	9800
		subtotaal	-	2480	10850
		Totaal	3000	10200	15900

De kosten van het uit de productie nemen van landbouwgrond

Voor het aanleggen van helofytenfilters wordt 2% van het landbouwareaal uit productie genomen.

Aanlegkosten:

De aanlegkosten van een helofytenfilter zijn €80.000/ha (STOWA rapporten 2001-09 en 2005-18, en gegevens R. Veening van Wetterskip Fryslân). De moerassystemen worden in 24 jaar afgeschreven.

Beheerskosten:

De beheerskosten worden geschat op €500/ha jr. (arbeid boer) als niet wordt gemaaid en op €1700/ha jr. (arbeid boer + loonwerk) als wel wordt gemaaid.

Kennis:

De onderbouwing van de effectiviteit van helofytenfilters en de geraadpleegde bronnen zijn in bijlage 3 verder uitgeschreven.

4.3 Effecten en kosten

In de vorige paragraaf zijn de factsheets van de afzonderlijke maatregelen beschreven die in de Ex-ante evaluatie landbouw en KRW zijn doorgerekend. De effectiviteit van de verschillende maatregelen op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater kunnen voor een aantal maatregelen niet direct bepaald worden. Dit geldt met name voor de maatregelen in de deelvariant 'Bedrijf'.

In tabel 17 is een overzicht gegeven van de geselecteerde maatregelen en de wijze waarop het effect van de maatregel op de nutriëntenstromen in het oppervlakte water is bepaald.

Tabel 17 Vertaling effecten van maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater..

Deelvariant	Maatregel	Effect op	Methode
Bedrijf	Geen fosforkunstmest	P-kunstmestgift	STONE-instrumentarium
	Voorjaarstoediening	N-kunstmestgift	
	Vergroten mestopslag	N- en P-kunstmestgift	
	Precisiebemesting	N-kunstmestgift	
	Bouwplan aanpassen	N-kunstmestgift	
Perceel	Uitmijnen	N- en P-kunstmestgift Dierlijke mestgift	STONE-instrumentarium
	Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage	Waterflux	Vast percentage
	'Droge' bufferstroken	N- en P-vracht	rekenregel
Sloot	Helofytenfilters	N- en P-vracht	rekenregel

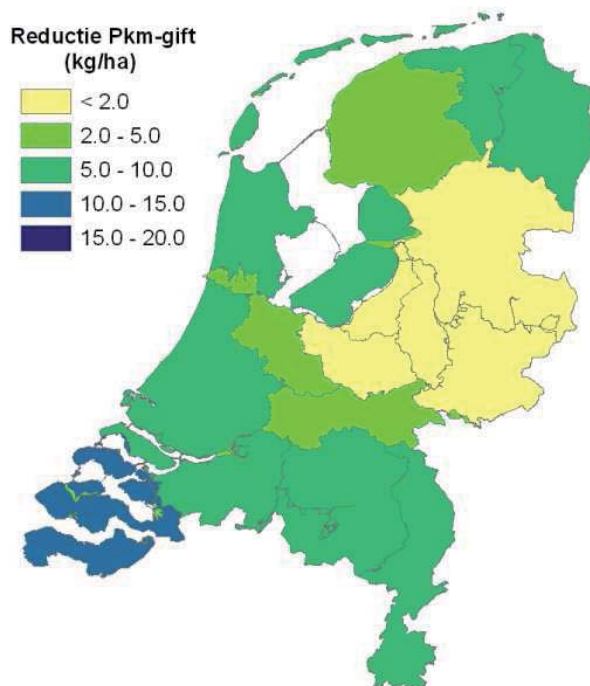
De effecten van de afzonderlijke maatregelen op de mestgiften (kunstmest en dierlijke mest) zijn door experts geschat en vervolgens zijn de milieueffecten met het STONE-instrumentarium doorgerekend. Het effect van samengestelde peilgestuurde drainage op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater is een vast percentage, onafhankelijk van de N- en P-vracht in de uitgangssituatie. De effectiviteit van onbemeste bufferstroken en helofytenfilters zijn op basis van rekenregels bepaald.

De kosten en daarmee kosteneffectiviteit van maatregelen zijn door het LEI berekend. Een beschrijving van de kosten van een aantal maatregelen zijn beschreven in een achtergrondrapport (LEI, 2008) en worden in dit achtergrondrapport buiten beschouwing gelaten.

4.3.1 Bedrijfsmaatregelen

Geen fosforkunstmest

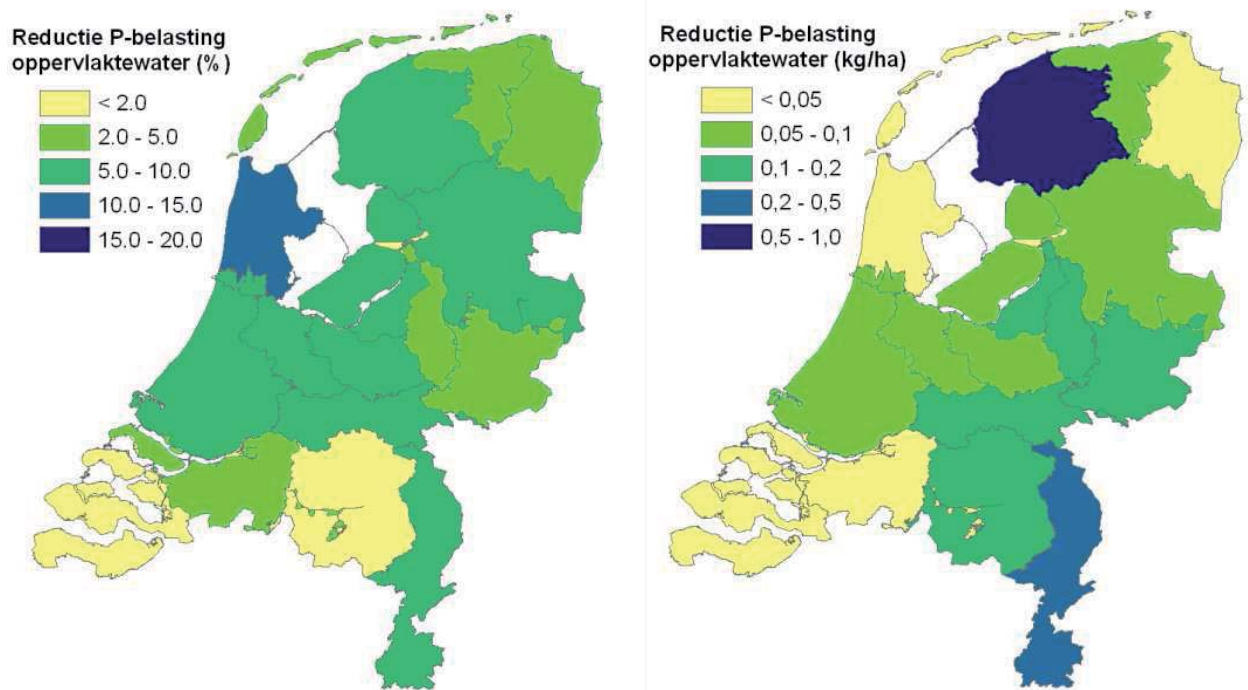
Het effect van het niet toedienen van fosforkunstmest op de P-belasting naar het oppervlaktewater is berekend met het STONE-instrumentarium. Hierbij is de bemesting gelijk gesteld aan de mestgiften zoals deze voor EMW 2007 zijn vastgesteld. De fosforkunstmest is vervolgens op nul gesteld, m.a.w. er wordt alleen fosfor uit dierlijke mest toegediend. De ingreep is toegepast op alle landbouwgronden. In figuur 2 is afname van de P-kunstmestgift (kg ha^{-1}) gegeven voor de landbouwgronden voor de WB21-stroomgebieden.



Figuur 2. Afname P-kunstmestgift (kg ha^{-1}) voor de landbouwgebieden op het niveau van de WB21-gebieden.

Uit bovenstaande figuur blijkt dat het gebruik van P-kunstmest in de kleigebieden en dan voornamelijk het zuidwestelijk zeeleigebied het grootst is. De P-kunstmest neemt gemiddeld tussen de 10 en 15 kg ha^{-1} af. Het gebruik van P-kunstmest in het oostelijk zandgebied is het laagst ($< 2,0 \text{ kg ha}^{-1}$).

In figuur 3 is vervolgens de afname van de P-belasting naar het oppervlaktewater weergegeven. Het hierbij gaat om de afname van de P-belasting op het niveau van stroomgebieden (WB21-gebieden). De P-belasting vanuit natuurgebieden is hierbij ook in beschouwing genomen. Bij het analyseren van de verschillen tussen de gebieden moet niet alleen de afname van de P-kunstmestgift in ogenschouw worden genomen, maar ook de verhouding tussen landbouwgrond en natuur.



Figuur 3 Effectiviteit van de ingreep 'niet toedienen van fosforkunstmest' op alle landbouwgronden uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de P-belasting naar het oppervlaktewater.

Uit bovenstaande figuur valt op dat de relatieve afname van de P-belasting naar het oppervlaktewater voor het zuidwestelijk kleigebied klein is, terwijl de afname van de P-kunstmestgift voor dit stroomgebied juist het grootst is. De P-belasting neemt af met < 2,0%. De grootste afname van de P-belasting wordt berekend voor Noord-Holland (10-15%). Voor het bepalen van de kosteneffectiviteit (€ per verwijderde kg N of P) is de absolute afname van de P-belasting relevant. Relatief neemt de P-belasting voor Noord-Holland fors af, absoluut is afname van de P-vracht lager dan 0,05 kg ha⁻¹. De grootste absolute afname wordt berekend voor het WB21-gebied Friesland (0,5-1,0 kg ha⁻¹).

Voorjaarstoediening (akkerbouw op klei)

Afhankelijk van de N-mestgift (kg ha^{-1}) en de verdeling over het voorjaar of najaar kan de N-kunstmestgift verlaagd worden (tabel 3). Het effect van de maatregel op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater zijn vervolgens met het STONE-instrumentarium doorgerekend.

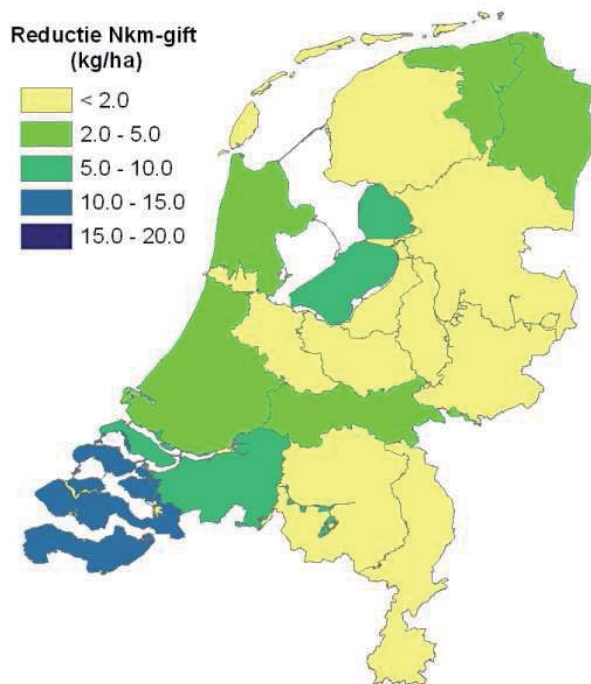
In dit onderzoek is gekozen voor de variant waarbij **alle** (100%) dierlijke mest in het voorjaar wordt toegediend. De ingreep is alleen toegepast voor akkerbouw op kleigronden. In tabel 18 is per WB21-stroomgebied het areaal weergegeven waarop de maatregel is toegepast.

Tabel 18. Areaal waarop de ingreep 'Voorjaarstoediening' is toegepast.

WB-21-gebied	Oppervlakte		Maatregel ha * 1000	Percentage %
	Totaal ha * 1000	Landbouwgrond ha * 1000		
Amstel	128	51	6,3	12,3
Eems	232	154	35	22,4
Flevoland	147	93	69	74,9
Friesland	324	211	19	9,2
Gelderse Vallei	118	41	0,1	0,3
IJssel West	92	34	0,6	1,9
IJssel Oost	206	124	2,2	1,8
Lauwersmeer	127	79	27	34,7
Limburg	229	121	6,2	5,2
Maas Midden	304	151	2,7	1,8
Maas West	205	124	53	42,7
Noord Holland	171	107	42	39,1
Rivierengebied	163	88	22	24,9
Schelde	201	139	117	83,7
Vecht	431	243	0,6	0,2
Veluwe NW	58	18	0,1	0,4
Waddeneilanden	39	12	0,6	4,7
Zuid-Holland	323	163	60	36,8
Totaal	3498	1952	463	24

De maatregel 'voorjaarstoediening akkerbouw op klei' wordt in de deelgebieden Flevoland en Schelde grootschalig toegepast. In WB21-gebied Flevoland wordt de maatregel op 75% van het totale landbouwareaal toegepast, voor Schelde is dit zelfs 84%.

In figuur 4 is afname van de N-kunstmestgift (kg ha^{-1}) op de landbouwgronden voor de WB21-gebieden weergegeven.

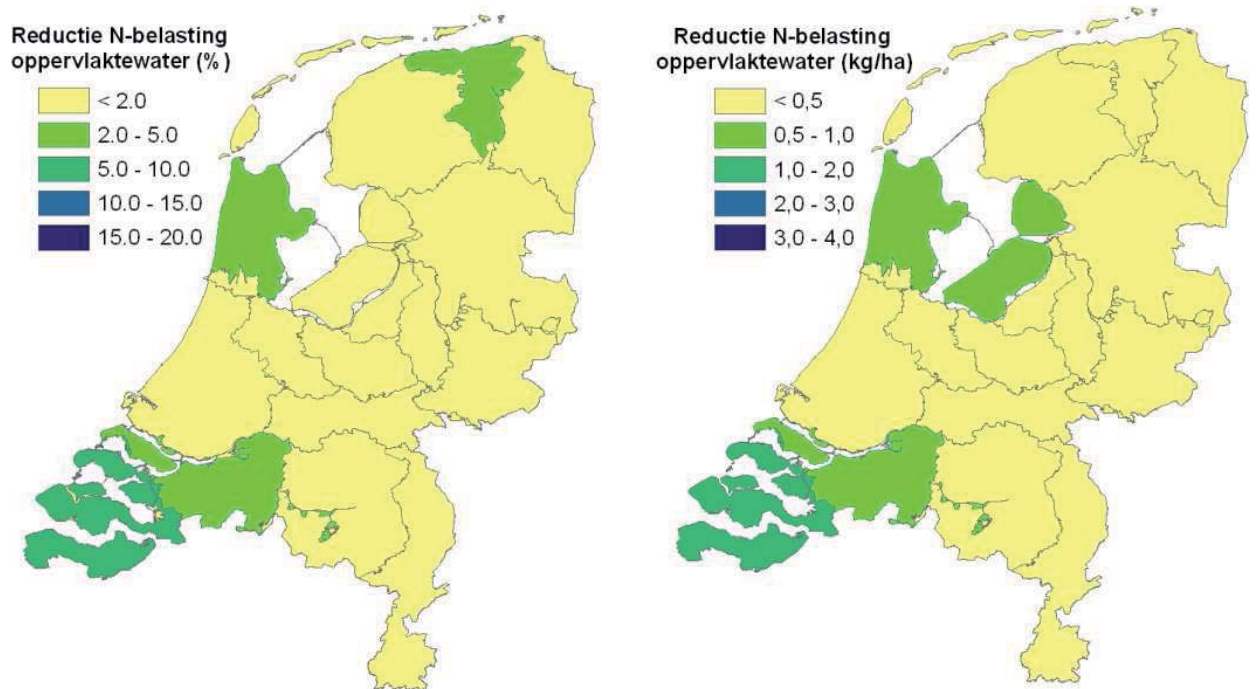


Figuur 4 Afname N-kunstmestgift (kg ha^{-1}) voor de landbouwgebieden op het niveau van de WB21-gebieden.

De verschillen in afname van de kunstmestgift tussen de verschillende WB21-gebieden kan verklaard worden door de verschillen in areaal waarop de maatregel wordt toegepast. Hoe groter het areaal binnen een WB21-stroomgebied, hoe hoger de afname van de N-kunstmestgift.

De meeste akkerbouw op klei vindt plaats in het zuidwestelijke en centrale zeeleigebied (Zeeland en Flevoland). De afname van de N-kunstmestgift is hier dan ook het grootst (5,0 voor Flevoland en $15,0 \text{ kg ha}^{-1}$ voor Schelde). Door het kleine areaal akkerbouw op klei in zuid- en oost Nederland is de verlaging van de N-kunstmestgift gering. Lokaal kan de verlaging in deze gebieden echter ook meer dan $10,0 \text{ kg ha}^{-1}$ zijn, afhankelijk van de hoeveelheid toegediende dierlijke mest.

De afname van de N-kunstmestgift resulteert in een afname van de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater tot maximaal 10% op het niveau van de WB21-gebieden (figuur 5). Ook hier is naast het relatieve effect ook de absolute afname van de N-belasting weergegeven.



Figuur 5 Effectiviteit van de ingreep 'voorjaarstoediening akkerbouw op klei' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de N-belasting naar het oppervlaktewater.

De verschillen in afname van de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater tussen de WB21-gebieden komen aardig overeen met de verschillen in afname van de N-kunstmestgift. De grootste relatieve en absolute afname van de N-belasting naar het oppervlaktewater wordt berekend voor het zuidwestelijk kleigebied. De absolute afname van de N-kunstmestgift is voor dit gebied ook het grootst. Opvallend is de reductie voor WB21-gebied Flevoland. Ondanks de relatief hogere reductie van de N-kunstmestgift (5,0 – 10,0%) is de afname van de stikstofvrucht naar het oppervlaktewater beperkt (< 2,0), de absolute afname is echter weer groter dan de overige WB21-gebieden (0,5- 1,0 kg ha⁻¹).

Vergroten mestopslag (melkveehouderij)

Het effect van de maatregel wordt uitgedrukt in een verlaging van de N- en P-kunstmestgift. De verlaging van de kunstmestgift is afhankelijk van regionale kenmerken.

Het effect van de maatregel 'Vergroten mestopslag' op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater is berekend met het STONE-model. De maatregel is alleen toegepast op melkveebedrijven (grasland).

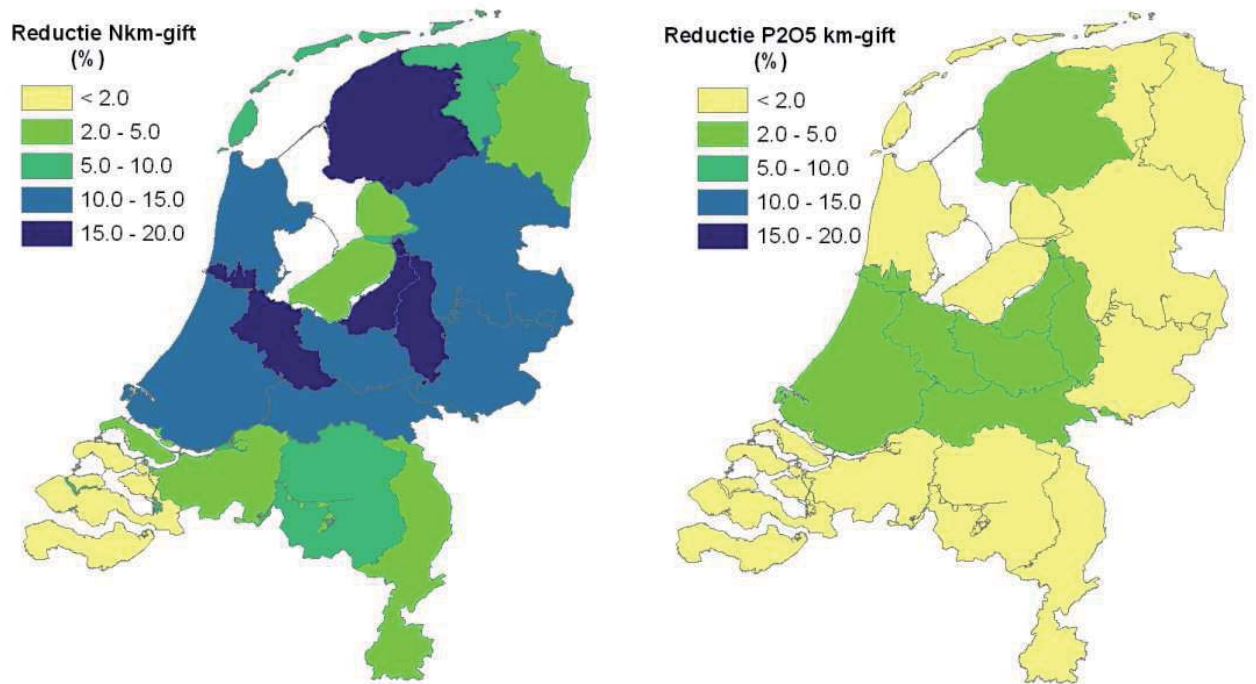
Afhankelijk van de grondsoort en Gt-klasse is de kunstmestgift met stikstof en fosfaat verlaagd (tabel 5).

In tabel 19 is per WB21-stroomgebied het areaal weergegeven waarop de maatregel betrekking heeft. Voor fosfor is het areaal kleiner, omdat verondersteld wordt dat op droge zandgronden de maatregel geen effect heeft.

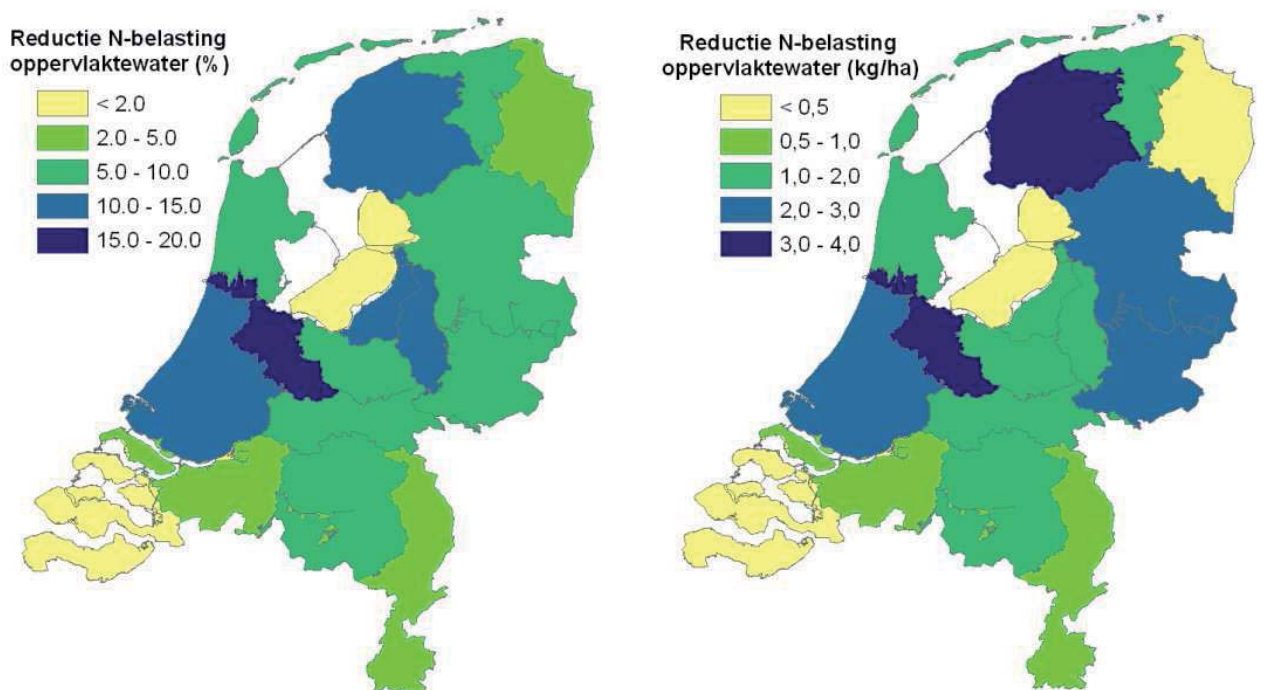
Tabel 19. Areaal waarop de ingreep 'vergroten mestopslag' is toegepast.

WB-21-gebied	Oppervlakte		Percentage			
	Totaal	Landbouwgrond	Maatregel		Stikstof	Fosfor
	ha * 1000	ha * 1000	N	P	%	%
Amstel	128	51	42	40	82,8	78,2
Eems	232	154	25	18	16,0	11,9
Flevoland	147	93	11	9	12,0	9,8
Friesland	324	211	180	149	85,4	70,7
Gelderse Vallei	118	41	32	20	78,0	48,5
IJssel West	92	34	29	21	86,7	62,3
IJssel Oost	206	124	83	42	67,1	34,3
Lauwersmeer	127	79	43	34	54,0	43,3
Limburg	229	121	32	14	26,5	11,7
Maas Midden	304	151	70	33	46,2	21,7
Maas West	205	124	36	16	29,1	12,7
Noord Holland	171	107	54	53	50,5	49,4
Rivierengebied	163	88	57	54	64,4	61,2
Schelde	201	139	13	10	9,2	7,1
Vecht	431	243	152	86	62,4	35,6
Veluwe NW	58	18	16	9	89,2	47,9
Waddeneilanden	39	12	7	3	57,5	21,1
Zuid-Holland	323	163	93	93	57,2	56,7
Totaal	3498	1952	974	703	50	36

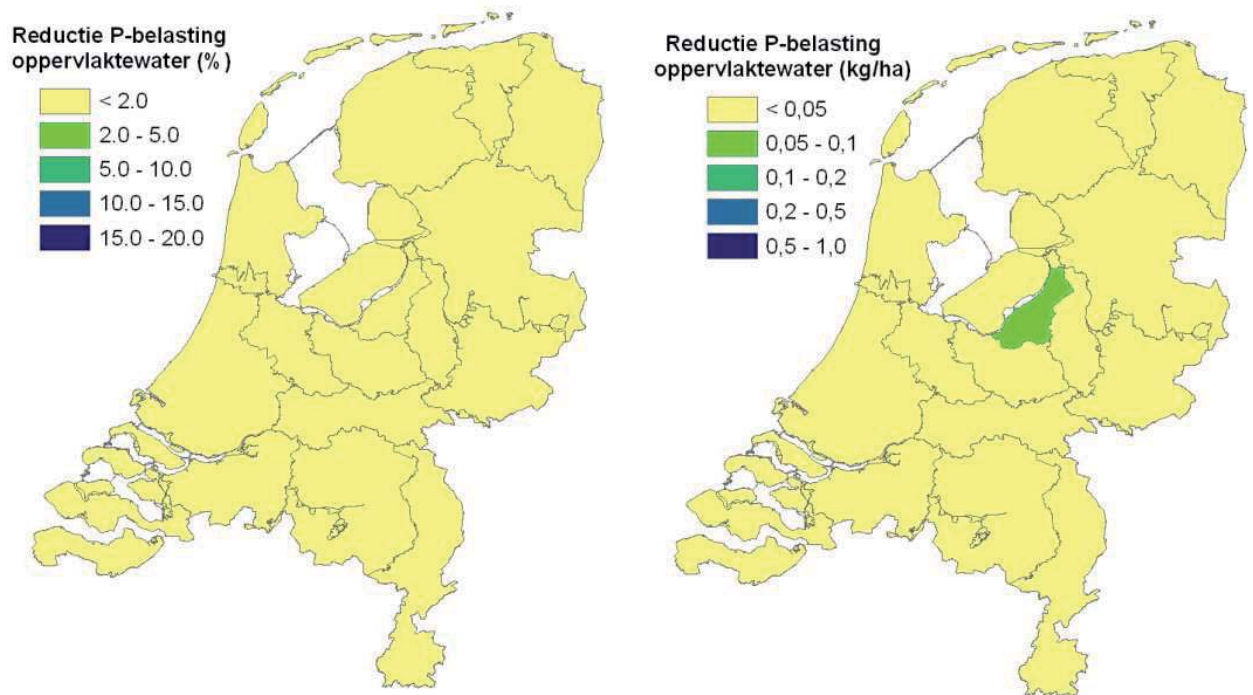
De maatregel 'Vergroten mestopslag' wordt op 50% (stikstof) van het totale areaal toegepast, waarbij voor de stroomgebieden Amstel, Friesland, IJssel West en Veluwe NW de maatregel op meer dan 80% van het areaal wordt toegepast. De maatregel wordt het minst toegepast in de kleigebieden (Flevoland, Schelde). In figuur 6 is de afname van de N- en P-kunstmestgift voor de WB21-gebieden weergegeven. In figuur 7 en figuur 8 is het relatieve en absolute effect op de N- en P-belasting naar het oppervlaktewater weergegeven.



Figuur 6 Procentuele afname van N-kunstmestgift (links) en P-kunstmestgift (rechts) voor de landbouwgebieden op het niveau van de WB21-gebieden.



Figuur 7 Effectiviteit van de ingreep 'vergroten mestopslag' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de N-belasting naar het oppervlaktewater.



Figuur 8 Effectiviteit van de ingreep 'vergroten mestopslag' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de P-belasting naar het oppervlaktewater.

De ingreep heeft zowel effect op de N-kunstmestgift als op de P_2O_5 -mestgift. De maximale reductie voor de N-kunstmestgift is 20%, voor fosfaat is de reductie in kunstmestgift maximaal 4%.

De doorwerking van de verlaging van de N- en P_2O_5 -kunstmestgift naar het oppervlaktewater is voor stikstof groter dan voor fosfor. De totale N-belasting neemt voor een aantal gebieden af met 10%, absoluut gezien met meer dan $2,0 \text{ kg ha}^{-1}$. Het effect van 'vergroten mestopslag' voor fosfor is zowel relatief als absoluut lager, < 2,0% en < $0,1 \text{ kg ha}^{-1}$ respectievelijk.

Precisiebemesting (akkerbouw)

In de ex-ante evaluatie landbouw en KRW is er voor gekozen om de ingreep 'precisiebemesting' alleen toe te passen op de akkerbouwgebieden; de N-kunstmestgift op een perceel kan als gevolg van deze maatregel met 10% gereduceerd worden. In dit onderzoek is het effect van precisiebemesting op de fosforstromen in het oppervlaktewater niet doorgerekend. Het effect van de verlaging van de N-kunstmestgift is met het STONE-instrumentarium doorgerekend. In tabel 20 is het areaal van de deelgebieden weergegeven waarop de maatregel wordt toegepast.

Tabel 20. Areaal waarop de ingreep 'precisiebemesting' is toegepast.

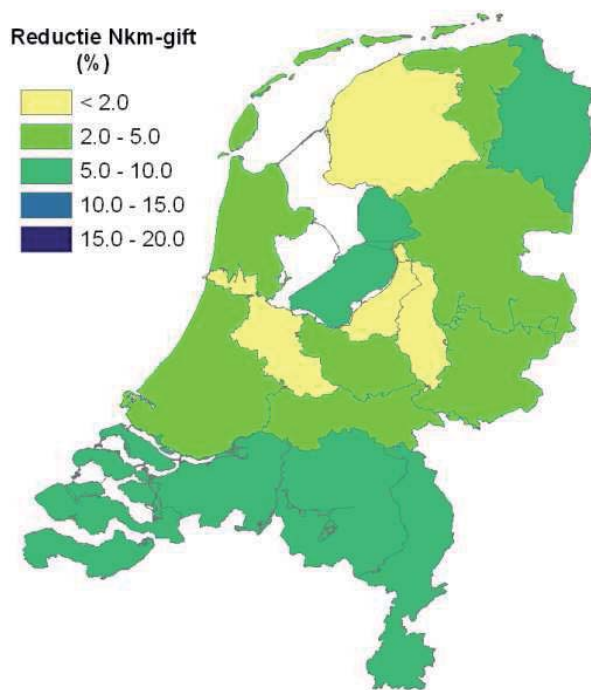
WB-21-gebied	Oppervlakte			Percentage
	Totaal ha * 1000	Landbouwgrond ha * 1000	Maatregel ha * 1000	%
Amstel	128	51	9	17,2
Eems	232	154	129	84,0
Flevoland	147	93	81	88,0
Friesland	324	211	31	14,5
Gelderse Vallei	118	41	9	22,0
IJssel West	92	34	5	13,3
IJssel Oost	206	124	41	32,9
Lauwersmeer	127	79	36	46,0
Limburg	229	121	78	65,1
Maas Midden	304	151	81	53,8
Maas West	205	124	88	70,9
Noord Holland	171	107	53	49,5
Rivierengebied	163	88	31	35,6
Schelde	201	139	127	90,8
Vecht	431	243	91	37,6
Veluwe NW	58	18	2	10,8
Waddeneilanden	39	12	5	42,5
Zuid-Holland	323	163	70	42,8
Totaal	3498	1952	968	50

De maatregel wordt op 50% van het totale landbouwareaal toegepast, voor de deelgebieden Eems, Flevoland en Schelde is dit meer dan 80% van het totale areaal.

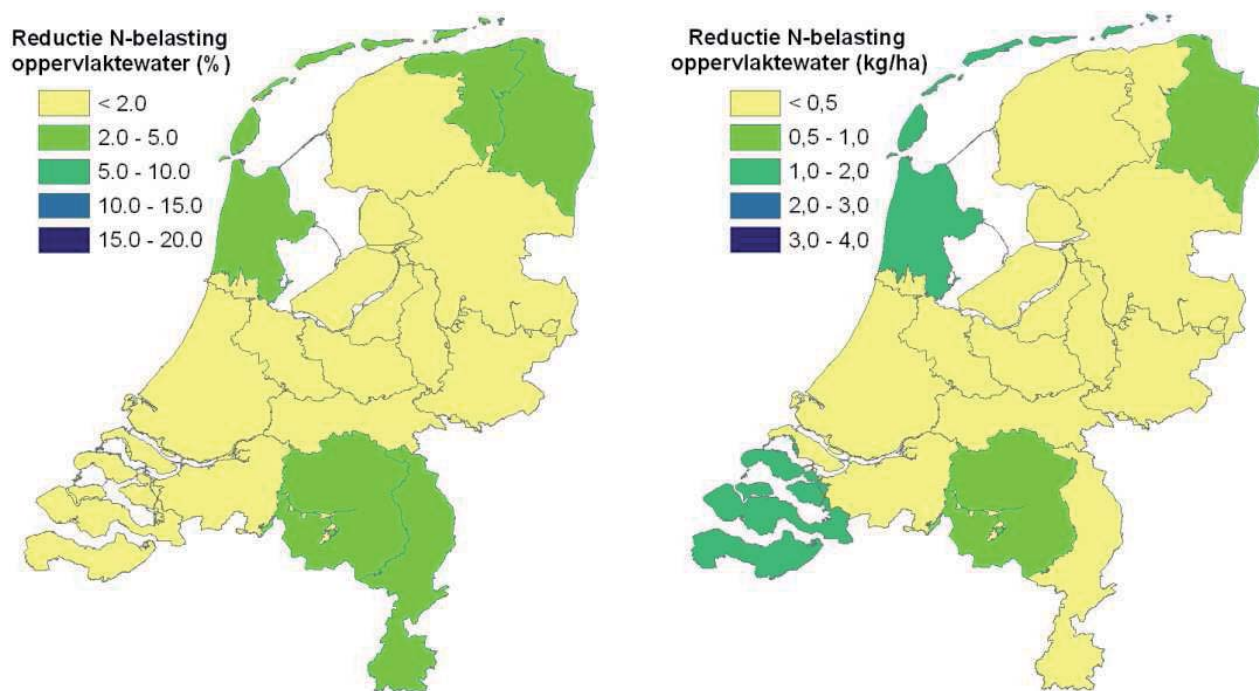
In figuur 9 is de verlaging van de N-kunstmestgift op het niveau van de WB21-gebieden weergegeven. De verschillen in verlaging van de N-kunstmestgift tussen de deelgebieden is het gevolg van de verdeling tussen het aantal akkerbouw- en melkveebedrijven. Hoe meer akkerbouw, hoe groter het effect op stroomgebiedniveau (maximaal 10%).

De meeste akkerbouwbedrijven liggen in Zuid-Nederland (Zeeland, Noord-Brabant en Limburg), Flevoland en Noordoost Groningen. De verlaging van de N-kunstmestgift is in deze gebieden dan ook hoger voor de overige stroomgebieden.

In figuur 10 is het relatieve en absolute effect van de verlaging van de N-kunstmestgift op de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater weergegeven voor de verschillende stroomgebieden.



Figuur 9 Afname N-kunstmestgift (kg/ha) voor de landbouwgebieden op het niveau van de WB21-gebieden.



Figuur 10 Effectiviteit van de ingreep 'Precisiebemesting' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de N-belasting naar het oppervlaktewater.

De maximale afname van de stikstofvrucht naar het oppervlaktewater is 5% voor Zuidoost Nederland, Noordoost Nederland en Noord-Holland. Absoluut neemt de stikstofbelasting met maximaal 2,0 kg ha⁻¹ af (Schelde en Noord-Holland).

De verschillen in effectiviteit van de maatregel op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater komt aardig overeen met de verschillen in afname van de N-kunstmestgift. Alleen voor Maas-West en Flevoland wordt op basis van de lagere N-kunstmestgift een hogere afname van de stikstofbelasting verwacht.

Bouwplan aanpassen (Akkerbouw)

In de ex-ante evaluatie landbouw en KRW is gekozen voor de variant waarbij 25% van het areaal consumptie- en zetmeelaardappelen vervangen wordt door wintertarwe. De N-kunstmest kan hierdoor wordt verlaagd, afhankelijk van het teeltgebied en het areaal aardappelen in de uitgangssituatie. Vervolgens is met het STONE-instrumentarium het effect van de ingreep op de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater berekend.

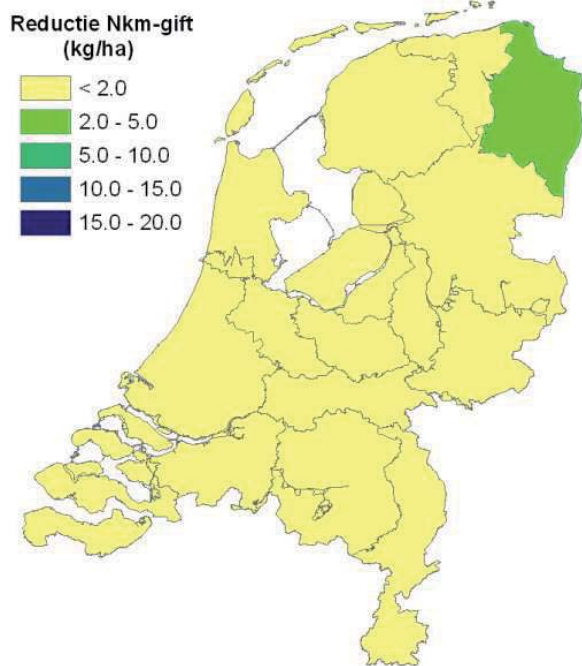
In tabel 21 is het areaal van de deelgebieden weergegeven waarop de maatregel wordt toegepast.

Tabel 21 Areaal waarop de ingreep 'Aanpassen bouwplan' is toegepast.

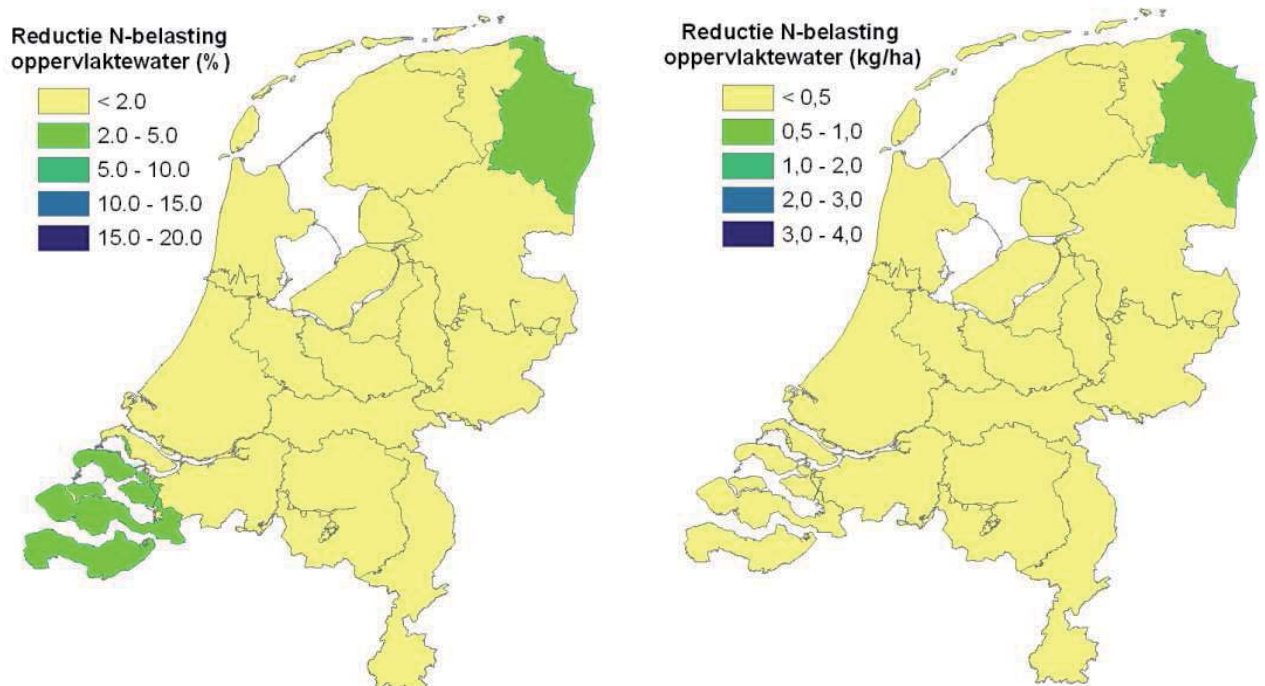
WB-21-gebied	Areaal			Percentage		
	Totaal ha * 1000	Landbouwgrond ha * 1000	Maatregel ha * 1000	Aardappelen ha	Maatregel %	Aardappelen %
Amstel	128	51	7	1.7	14,1	3,4
Eems	232	154	123	22	80,1	14,1
Flevoland	147	93	80	13	86,4	13,7
Friesland	324	211	23	2.1	11,1	1,0
Gelderse Vallei	118	41	2	0.0	4,4	0,1
IJssel West	92	34	1	0.4	3,2	1,3
IJssel Oost	206	124	7	0.8	6,0	0,7
Lauwersmeer	127	79	34	6.5	42,9	8,2
Limburg	229	121	56	5.5	46,8	4,6
Maas Midden	304	151	23	3.6	15,3	2,4
Maas West	205	124	70	17	56,6	13,9
Noord Holland	171	107	53	3.5	49,0	3,2
Rivierengebied	163	88	23	1.2	25,6	1,4
Schelde	201	139	124	9.3	88,6	6,7
Vecht	431	243	46	14	19,1	5,8
Veluwe NW	58	18	0	0.1	2,3	0,5
Waddeneilanden	39	12	5	0.4	39,8	3,0
Zuid-Holland	323	163	68	9.3	41,8	5,7
Totaal	3498	1952	746	110	38,2	5,6

Bijna 40% van het totale landbouwareaal wordt gebruikt voor het verbouwen van akkerbouwgewassen, waarbij deze varieert van 2,3% voor de Veluwe NW tot 88,6% voor Schelde. Op 5,6% van het totale landbouwareaal worden consumptie- en zetmeelaardappelen verbouwd, waarbij voor de deelgebieden Eems, Flevoland en Maas West, dit percentage boven de 10% bedraagt. De reductie van de N-kunstmestgift bedraagt voor alle deelgebieden (m.u.v. Eems) kleiner dan 2,0 kg ha⁻¹.

In figuur 12 is het relatieve en absolute effect van de verlaging van de kunstmestgift op de N-belasting naar het oppervlaktewater gegeven.



Figuur 11 Afname N-kunstmestgift (kg/ha) voor de landbouwgebieden op het niveau van de WB21-gebieden.



Figuur 12 Effectiviteit van de ingreep 'Aanpassen bouwplan' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de N-belasting naar het oppervlaktewater.

De grootste afname van de stikstofvrucht naar het oppervlaktewater wordt berekend voor het zuidwestelijk kleigebied en het noordoostelijk zand- en dalgebied. Dit zijn tevens de gebieden met het grootste areaal consumptie- en zetmeelaardappelen.

4.3.2 Perceelsmaatregelen

Uitmijnen

In de ex-ante evaluatie landbouw en KRW is voor de ingreep 'bodemsanering' alleen het effect van 'uitmijnen' op de nutriëntenbelasting doorgerekend. Hierbij is gebruik gemaakt van het STONE-instrumentarium.

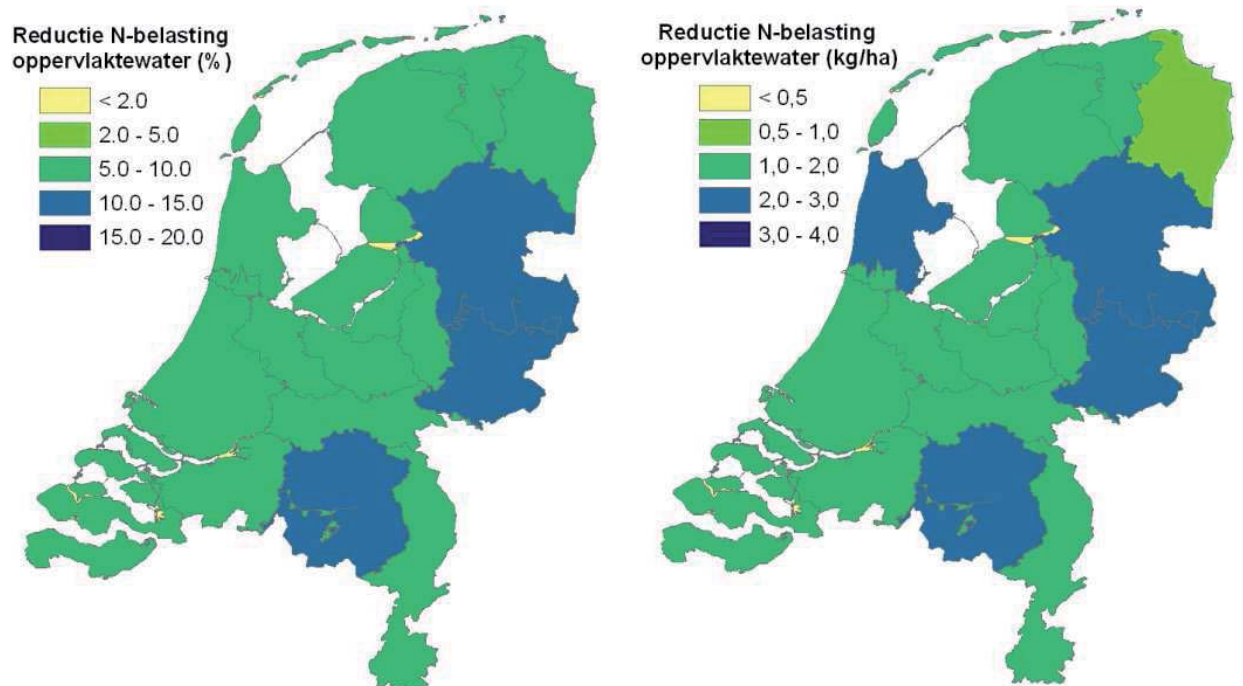
Voor het berekenen van het effect zijn berekeningen uitgevoerd waar de dierlijke mestgift 80%, 60% en 0% van de huidige dierlijke mestgift bedraagt om te verkennen bij welk niveau de gewasopname ongeveer gelijk blijft. Uit de berekeningen blijkt dat bij een reductie van 40% op de mestgift (60% van huidige dierlijke mestgift) een evenwichtssituatie voor fosfor wordt bereikt, waarbij de gewasopname nog net maximaal is en waarbij dus maximaal wordt uitgemijnd.

Als gevolg van het verlagen van de dierlijke mest kan er een stikstoftekort optreden waardoor productieverlies optreedt en de fosfaatopname sterk kan teruglopen. Om dit te voorkomen moet aanvullend stikstofkunstmest worden gegeven, waardoor de gewasopname maximaal blijft. De maatregel 'uitmijnen' wordt op alle landbouwgronden toepast (tabel 22).

Tabel 22. Areaal waarop de ingreep 'Uitmijnen' is toegepast.

WB-21-gebied	Areaal			Percentage %
	Totaal ha * 1000	Landbouw ha * 1000	Maatregel ha * 1000	
Amstel	128	51	51	100
Eems	232	154	154	100
Flevoland	147	93	93	100
Friesland	324	211	211	100
Gelderse Vallei	118	41	41	100
IJssel West	92	34	34	100
IJssel Oost	206	124	124	100
Lauwersmeer	127	79	79	100
Limburg	229	121	121	100
Maas Midden	304	151	151	100
Maas West	205	124	124	100
Noord Holland	171	107	107	100
Rivierengebied	163	88	88	100
Schelde	201	139	139	100
Vecht	431	243	243	100
Veluwe NW	58	18	18	100
Waddeneilanden	39	12	12	100
Zuid-Holland	323	163	163	100
Totaal	3498	1952	1952	1952

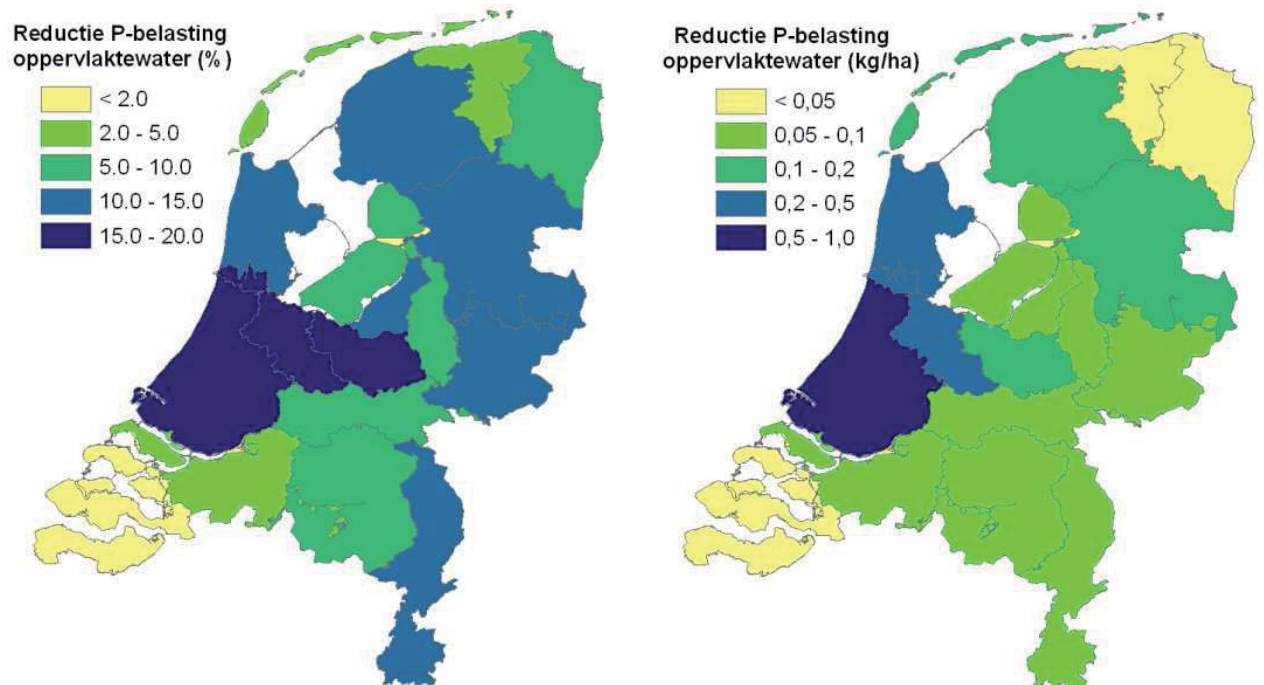
In figuur 13 is het effect van uitmijnen op de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater weergegeven voor de WB21-gebieden. Het gaat hierbij om de afname van de nutriëntenbelasting inclusief de nutriëntenbelasting van natuur. De effectiviteit op stroomgebiedsniveau is hierdoor afhankelijk van de verdeling landbouwgrond en natuurgrond.



Figuur 13 Effectiviteit van de ingreep 'Uitmijnen' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de N-belasting naar het oppervlaktewater.

De grootste afname van de N-belasting wordt berekend voor de stroomgebieden Maas-Midden, IJssel Oost en Vecht (10-15%). Dit zijn over het algemeen de zandgronden. Het relatieve effect tussen de andere gebieden is beperkt. Ook het absolute effect is voor deze stroomgebieden groter dan voor de overige gebieden (m.u.v. Noord-Holland).

In figuur 14 is het effect van uitmijnen op de fosforbelasting naar het oppervlaktewater weergegeven voor de WB21-gebieden.



Figuur 14 Effectiviteit van de ingreep 'Uitmijnen' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de P-belasting naar het oppervlaktewater.

De verschillen in effectiviteit van uitmijnen op de fosforbelasting naar het oppervlaktewater tussen de stroomgebieden zijn groter dan voor stikstof. De hoogste effectiviteit wordt berekend voor de stroomgebieden Gelderse Vallei, Amstel en Zuid-Holland (15-20%). Voor het zuidwestelijk kleigebied (Schelde) is het effect beperkt (< 2,0%). De absolute afname van de P-belasting is ook voor het Noordoost Nederland (Lauwersmeer en Eems) beperkt. Het grootste absolute effect wordt berekend voor de WB21-gebieden Noord- en Zuid-Holland en Amstel.

Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage

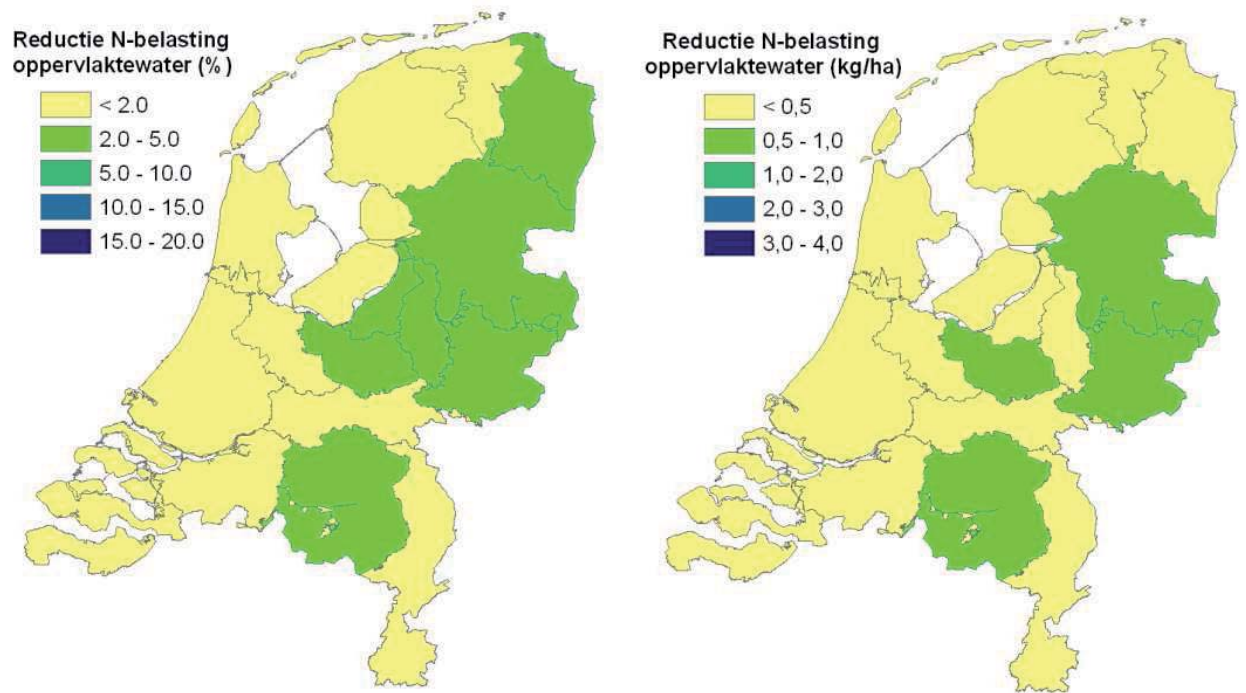
Het effect van dieper aangelegde samengestelde, peilgestuurde drainage op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater is 20% voor N en 50% voor P. Het effect van de maatregel op het niveau van de deelstroomgebieden is afhankelijk van het areaal waarop de maatregel wordt toegepast. Wanneer binnen een deelstroomgebied alle landbouwgrond in aanmerking komt, wordt de stikstofvracht naar het oppervlaktewater gereduceerd met 20% en voor fosfor met 50%. In tabel 23 is het areaal weergegeven waarop de maatregel wordt toegepast.

Tabel 23. Areaal waarop de ingreep 'ontwatering percelen' is toegepast.

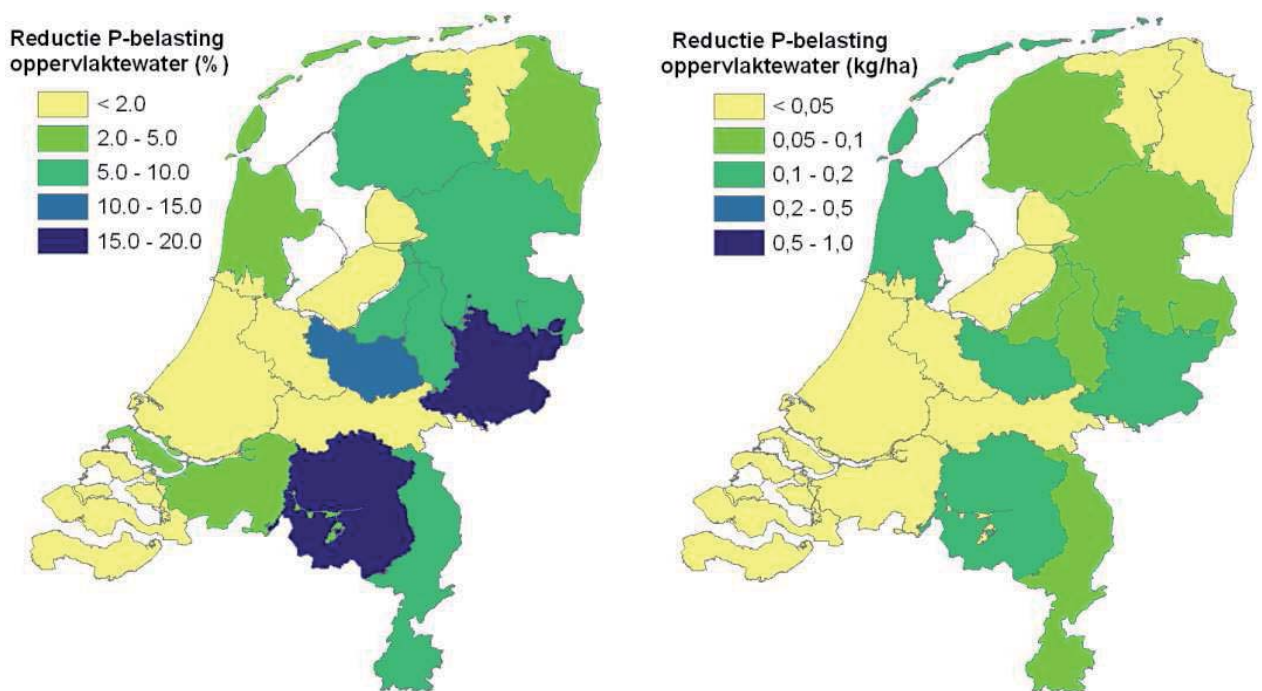
WB-21-gebied	Areaal			Percentage
	Totaal ha * 1000	Landbouwgrond ha * 1000	Maatregel ha * 1000	%
Amstel	128	51	2	4,8
Eems	232	154	16	10,6
Flevoland	147	93	0	0,5
Friesland	324	211	19	9,0
Gelderse Vallei	118	41	12	28,6
IJssel West	92	34	7	19,7
IJssel Oost	206	124	31	25,2
Lauwersmeer	127	79	1	0,8
Limburg	229	121	9	7,3
Maas Midden	304	151	26	17,2
Maas West	205	124	7	5,9
Noord Holland	171	107	4	3,4
Rivierengebied	163	88	1	0,6
Schelde	201	139	0	0,1
Vecht	431	243	45	18,6
Veluwe NW	58	18	3	16,3
Waddeneilanden	39	12	1	10,2
Zuid-Holland	323	163	4	2,4
Totaal	3498	1952	188	9,6

De maatregel 'ontwatering percelen' wordt alleen toegepast op ongedraineerde zandgronden. Het grootste areaal ongedraineerde zandgronden ligt voornamelijk in Oost Nederland (Gelderse Vallei, IJssel Oost en IJssel West) en in Noord-Brabant (Maas-Midden). In figuur 15 en 16 is het relatieve en absolute effect van de ingreep op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater voor de WB21-gebieden weergegeven.

De verschillen in het relatieve effect tussen de stroomgebieden wordt alleen bepaald door het areaal waarop de ingreep wordt toegepast en de verhouding landbouwgrond versus natuur. Het locale relatieve effect is namelijk overal 20% voor stikstof en 50% voor fosfor. De verschillen in absolute vrachten is daarnaast afhankelijk van de nutriëntenbelasting in de uitgangssituatie. Hoe hoger de nutriëntenvrachten, hoe groter het absolute effect van de ingreep. Het areaal waarop de maatregel wordt toegepast is het grootst voor Gelderse Vallei, IJssel West en Oost en Maas-Midden. Het relatieve en absolute effect is voor deze gebieden dan ook het grootst.



Figuur 15 Effectiviteit van de ingreep 'ontwatering percelen' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de N-belasting naar het oppervlaktewater.



Figuur 16 Effectiviteit van de ingreep 'ontwatering percelen' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de P-belasting naar het oppervlaktewater.

'Droge' bufferstroken

In paragraaf 4.2.2 is de factsheet voor "droge" bufferstroken beschreven. Het effect van onbemeste bufferstroken is afhankelijk van het landgebruik, geohydrtype en de helling van het perceel. Het maximale effect van onbemeste bufferstroken is 20%, voor fosfor is het maximale effect 30%. De ingreep wordt alleen toegepast op ongedraineerde landbouwgronden. In tabel 24 is voor de WB21-gebieden het areaal weergegeven waar de maatregel is toegepast.

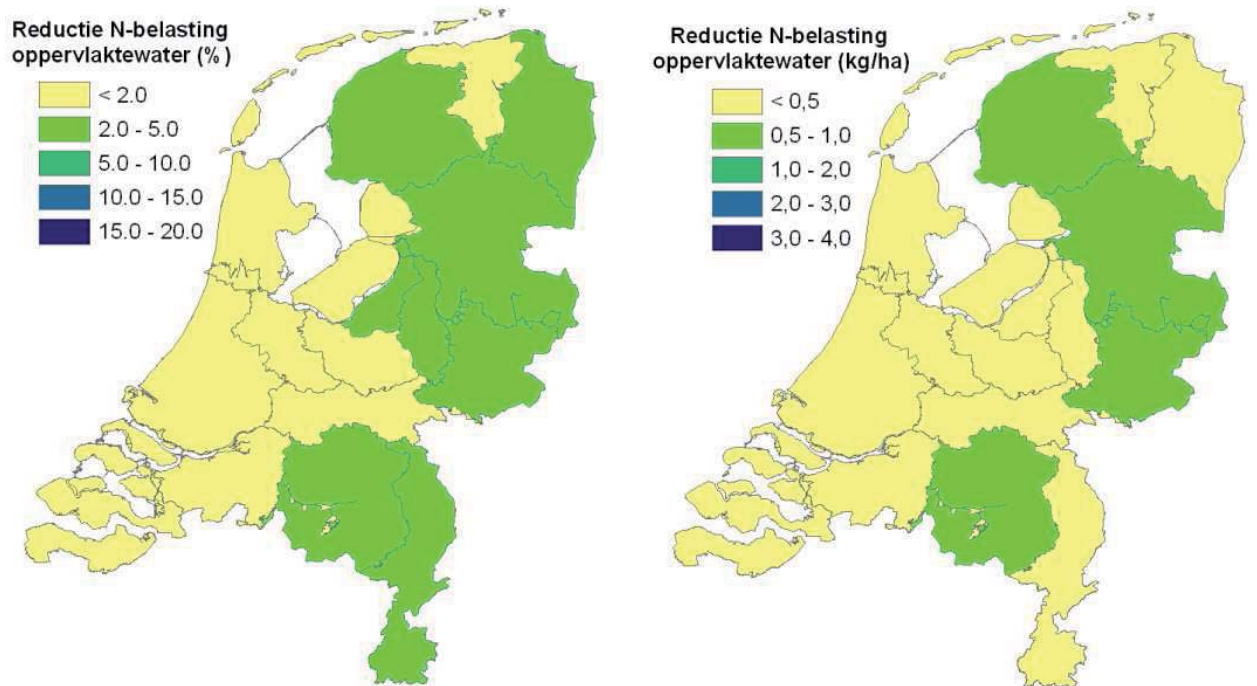
Tabel 24. Areaal waarop de ingreep 'Randenbeheer' is toegepast.

WB-21-gebied	Areaal			Percentage
	Totaal ha * 1000	Landbouwgrond ha * 1000	Maatregel ha * 1000	%
Amstel	128	51	36	71,6
Eems	232	154	93	60,1
Flevoland	147	93	8	8,1
Friesland	324	211	121	57,5
Gelderse Vallei	118	41	36	88,0
IJssel West	92	34	29	85,4
IJssel Oost	206	124	107	86,3
Lauwersmeer	127	79	25	31,8
Limburg	229	121	100	82,8
Maas Midden	304	151	124	82,2
Maas West	205	124	57	46,0
Noord Holland	171	107	32	29,9
Rivierengebied	163	88	38	43,5
Schelde	201	139	10	7,3
Vecht	431	243	214	88,3
Veluwe NW	58	18	16	88,0
Waddeneilanden	39	12	5	37,7
Zuid-Holland	323	163	76	46,6
Totaal	3498	1952	1127	57,7

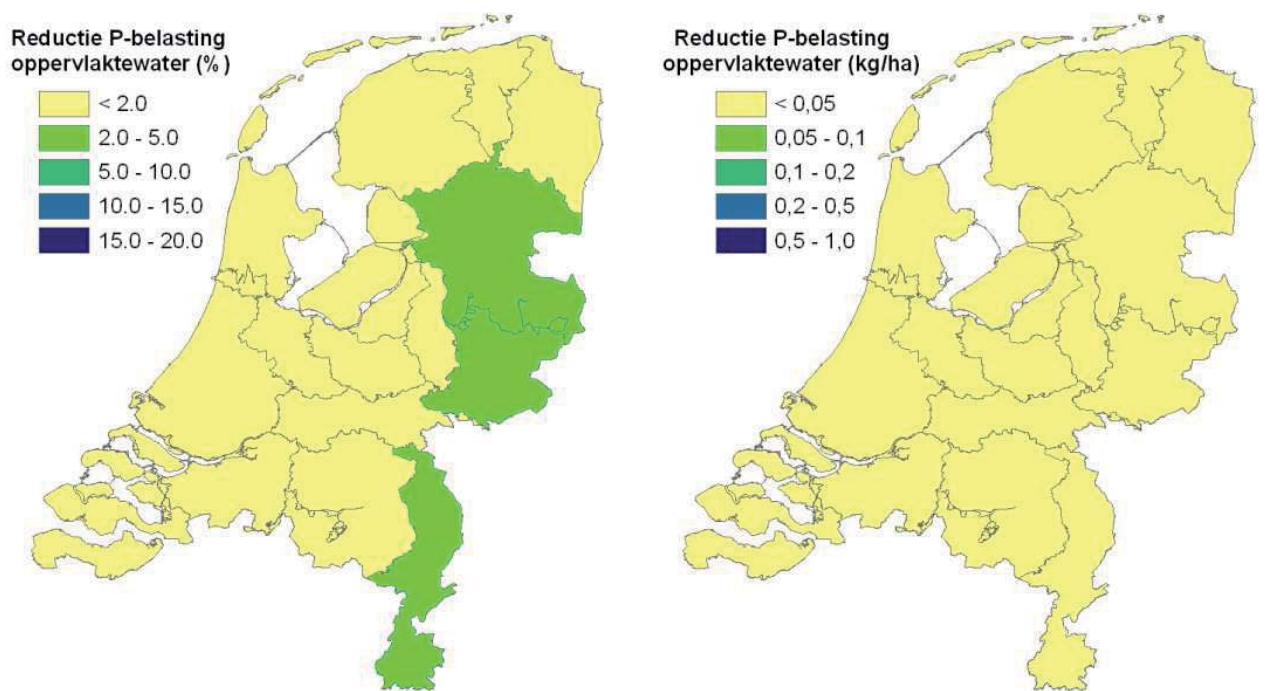
Bijna 60% van het totale landbouwareaal is ongedraineerd. In het centrale en zuidwestelijk kleigebied (Flevoland en Schelde) is het areaal ongedraineerd landbouwgrond beperkt (8,1% en 7,3%)

In figuur 17 en 18 is het relatieve en absolute effect van de ingreep op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater voor de WB21-gebieden weergegeven.

De verschillen in het relatieve effect tussen de stroomgebieden kunnen voor een gedeelte bepaald door het areaal waarop de ingreep wordt toegepast en de verhouding landbouwgrond versus natuur. Het grootste relatieve effect wordt gevonden voor de hellende gebieden in Zuid-Nederland (Limburg) en de gebieden met ondiepe waterafvoer als gevolg van een ondoorlatende laag (keilemgebied Oost- en Noordoost-Nederland).



Figuur 17 Effectiviteit van de ingreep 'randenbeheer' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de N-belasting naar het oppervlaktewater.



Figuur 18 Effectiviteit van de ingreep 'randenbeheer' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de P-belasting naar het oppervlaktewater.

4.3.3 Slootmaatregelen

Helofytenfilters

De deelvariant 'Sloot' omvat alleen de maatregel 'Helofytenfilters'. De effectiviteit van helofytenfilters is o.a. afhankelijk van de P-belasting. Hoe hoger de P-belasting in de uitgangssituatie, hoe lager de relatieve effectiviteit. Absoluut gezien is dit juist andersom. Hoe hoger de P-vracht in de uitgangssituatie, hoe hoger de absolute reductie van P. In tabel 25 is het areaal weergegeven waar de maatregel is toegepast.

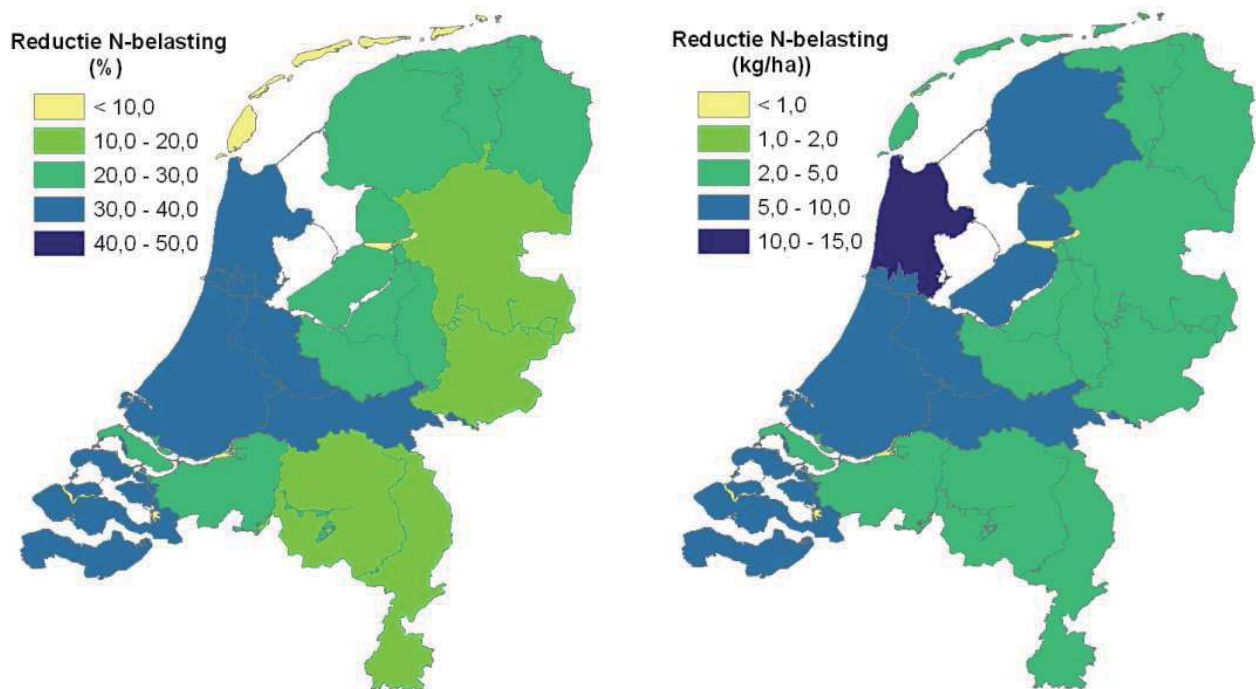
Tabel 25. Areaal waarop de ingreep 'Helofytenfilters' is toegepast.

WB-21-gebied	Areaal				Percentage	
	Totaal ha * 1000	Landbouwgrond ha * 1000	Maatregel ha * 1000	Uit productie ha * 1000	Maatregel %	Uit productie %
Amstel	128	51	48	1,0	94,0	1.9
Eems	232	154	89	1,8	57,7	1.2
Flevoland	147	93	83	1,7	89,4	1.8
Friesland	324	211	172	3,4	81,5	1.6
Gelderse Vallei	118	41	23	0,5	55,7	1.1
IJssel West	92	34	23	0,5	69,1	1.4
IJssel Oost	206	124	57	1,1	46,5	0.9
Lauwersmeer	127	79	63	1,3	80,3	1.6
Limburg	229	121	36	0,7	29,7	0.6
Maas Midden	304	151	58	1,2	38,6	0.8
Maas West	205	124	79	1,6	63,4	1.3
Noord Holland	171	107	102	2,0	94,6	1.9
Rivierengebied	163	88	84	1,7	95,1	1.9
Schelde	201	139	129	2,6	92,9	1.9
Vecht	431	243	108	2,2	44,5	0.9
Veluwe NW	58	18	9	0,2	50,0	1.0
Waddeneilanden	39	12	4	0,1	30,8	0.6
Zuid-Holland	323	163	160	3,2	98,1	2.0
Totaal	3498	1952	1327	26,5	68,0	1,4

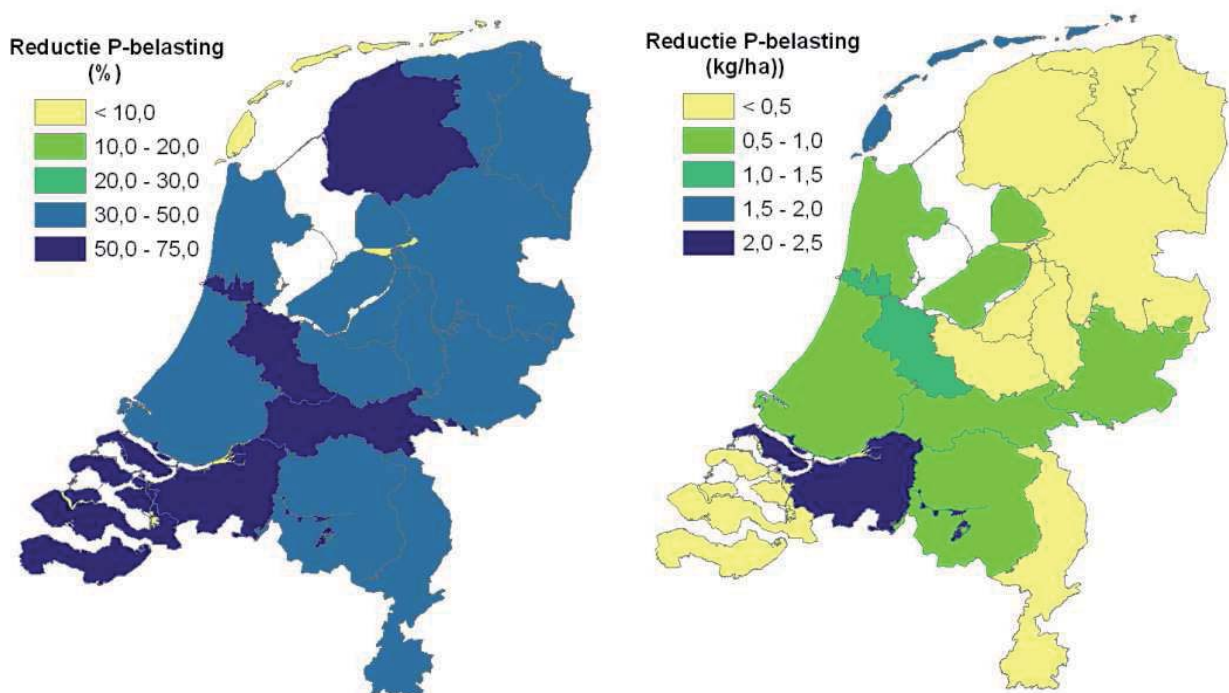
Bij het aanleggen van helofytenfilters wordt in totaal 26.500 ha uit productie genomen (1,4% van het totale landbouwareaal). Het 'achterland' van de helofytenfilters bedraagt bijna 70% van het totale landbouwareaal. In figuur 19 en figuur 20 is de relatieve en absolute afname van de nutriëntenbelasting voor de WB21-gebieden weergegeven.

Zowel voor stikstof als voor fosfor worden fors reducties berekend. Voor stikstof is het relatieve effect tussen 10 en 40%, voor P is het effect (m.u.v. het waddengebied) groter dan 30% met uitschieters tot bijna 75%. Ook de absolute hoeveelheid stikstof en fosfor is voor een aantal stroomgebieden fors.

Door de (veel) hogere reducties komt de schaalverdeling niet overeen met de schaalverdeling van de overige figuren!



Figuur 19 Effectiviteit van de ingreep 'belofytenfilters' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de N-belasting naar het oppervlaktewater.



Figuur 20 Effectiviteit van de ingreep 'belofytenfilters' uitgedrukt in een relatieve reductie (links) en een absolute reductie (rechts) van de P-belasting naar het oppervlaktewater.

5 Discussie

Bedrijfsmaatregelen

De effecten van de afzonderlijke maatregelen op de mestgiften zijn door experts geschat en vervolgens zijn met het STONE-instrumentarium de milieueffecten berekend. Het effect van de maatregelen wordt voor een groot deel bereikt door een hogere werking van de (kunst)mest, waardoor de mestgift kan worden verlaagd. Het implementeren van maatregelen op dit schaalniveau is met het STONE-instrumentarium nog niet eerder uitgevoerd. De effecten van deze maatregelen op de gewasopname, bodemvoorraad en uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater zijn dus ook niet eerder onderzocht. Koppelen met MEBOT (Schreuder et al. 2008) en verzamelen van meetgegevens om te toetsen kunnen de resultaten verbeteren en/of onderbouwen.

Perceelsmaatregelen

Uitmijnen

Voor uitmijnen zijn een aantal berekeningen uitgevoerd om het bemestingsniveau te schatten waarbij de gewasopbrengst niet veranderd en dus uitmijnen uiteindelijk (over een langere periode) het grootste effect heeft; deze is vastgesteld op 60 % van de fosforbehoefte van het gewas. Bij de implementatie van uitmijnen zijn we er van uitgegaan dat de reductie wordt gerealiseerd door géén fosforkunstmest te geven en de hoeveelheid dierlijke mest aanvullend te reduceren. Uitmijnen is een tijdelijk maatregel omdat uiteindelijk de fosfaatvoorraad van de bodem zal dalen en de verliezen naar het milieu weer beperkt zullen zijn.

Indien de voor het gewas beschikbare fosfaatvoorraad in de bodem te ver daalt, zal ook de gewasopname dalen waardoor de effectiviteit van deze maatregel verminderd en het fosfaatoverschot op het perceel weer toeneemt. Uitmijnen moet in de praktijk dan ook als tijdelijke maatregel worden beschouwd en dient op basis van urgentie in de regio worden geïmplementeerd (maatwerk).

'Droge' bufferstroken

Het effect van randenbeheer bestaat uit het niet mesten van de rand en een additioneel effect door het afvangen van de uit- en afspoeling van nutriënten. Het bemestingseffect wordt deel te niet gedaan wanneer de rand als landbouwkundig areaal meetelt voor de mestwetgeving: de mest die anders op de rand terecht zou komen wordt dan immers elders op het perceel (of bedrijf) aangewend. In dat geval zijn de kosten relatief laag maar zal ook het milieueffect kleiner zijn, het milieueffect is voor deze situatie niet makkelijk te schatten. Een andere mogelijkheid is dat de perceelsrand niet meetellen voor de mestwetgeving, in dat geval zijn de milieueffecten groter (en te bepalen) maar zijn de kosten hoog omdat het mestoverschot toeneemt. Voor deze studie is uitgegaan van deze laatste invulling. De effecten van bufferstroken zijn onderwerp van studie, de afgeleide relaties hebben nog een grote onzekerheid.

Slootmaatregelen

Helofytenfilters

De effecten van de helofytenfilters hebben een hoge mate van onzekerheid en gaan uit van maximaal te behalen rendementen:

- De rekenregels zijn gebaseerd op buitenlandse metingen naar oppervlaktewaterzuivering van in landbouw beïnvloed oppervlaktewater en zijn niet aangelegd op en beheerd door boerenbedrijven.
- De aanvoer van stikstof en fosfor zal onregelmatiger zijn waardoor de effectiviteit van de maatregelen sterk afneemt. Stikstof zal vooral gedurende het uitspoelingsseizoen uitspoelen en fosfor vooral in (extreem) natte perioden met hoge grondwaterstanden en neerslag.
- In het buitenland zijn geen experimenten uitgevoerd met intensief beheer van helofytenfilters t.b.v. fosforverwijdering. De gehanteerde rekenregels zijn afgeleid uit gegevens van niet-fosforverzadigde helofytenfilters en de afvoer van P door maaien van riet. De onzekerheden in deze rekenregels zijn daardoor vooralsnog groot.
- Voor niet intensief beheerde helofytenfilters is een jaarlijkse fosforverwijdering van 30 kg ha⁻¹ een maximum. Vooral in de zomer kan nalevering optreden door optreden van anaërobie en/of mineralisatie van organische stof, andersom is natuurlijk de fosforopname door helofyten in het zomerseizoen erg hoog.

Conclusies ten aanzien van de helofytenfilters moeten derhalve voorzichtig worden geformuleerd.

Helofytenfilters vormen een mogelijke oplossingsrichting, voor het optimaliseren van de fosforverwijdering en voor de realisatie op bedrijfsniveau is meer onderzoek nodig. Voor de realisatie is maatwerk nodig. Voor stikstof zou deze maatregel ook kunnen worden gebruikt om het grotere oppervlaktewater (A-watgangen) te zuiveren, dit vraagt om afspraken tussen boeren en waterbeheerders.

Voor fosfor zou een gebiedsdiagnose op moeten worden gesteld om tot een goede inrichting en beheer van de helofytenfilters te komen; wanneer bijvoorbeeld veel pieken in de afspoeling voorkomen, zou je hier op willen kunnen anticiperen om alleen deze pieken door de helofytenfilters te leiden.

Maatwerk

De effectiviteiten van de verschillende maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater zijn op stroomgebiedniveau gepresenteerd. Het effect van de maatregel is hierdoor afhankelijk van:

- het areaal waarop de individuele maatregelen worden toegepast
- De verdeling tussen het landbouwareaal, natuur en stedelijk gebied.

Maatregelen die op kleinere schaal worden toegepast, kunnen lokaal een groot effect hebben op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater, maar op stroomgebiedniveau nauwelijks een effect beogen. In de Ex-ante evaluatie zijn de verschillende maatregelen overal toegepast waar de maatregel redelijkerwijs effect kan hebben op de nutriëntenbelasting en bepalen daarmee de effectiviteit van het pakket aanvullende (mest)maatregelen.

Veel maatregelen vragen om maatwerk ten aanzien van uitvoering in de praktijk, zowel ten aanzien van het ontwerp (inrichting) als de locaties waar deze wordt toegepast. Dit betekent dat uiteindelijk lokaal de effectiviteit, kosten en kosteneffectiviteit zullen veranderen afhankelijk van de invulling van de verschillende maatregelen.

Daar waar een ingreep géén effect heeft is deze in deze verkenning ook niet genomen: het toepassingsgebied van de maatregelen is begrensd om onevenredig hoge kosten en een zeer lage kosteneffectiviteit te vermijden. Daarmee wordt een eerste schatting gegeven van de te bereiken effecten voor het maximale areaal waar de ingrepen effect hebben als startpunt voor de selectie van de kosteneffectieve maatregelen. In een volgende stap kunnen op basis van de kosten en kosteneffectiviteit en (bestuurlijk) draagvlak keuzes worden gemaakt waar welke maatregelen worden genomen, welke arealen en kosten daar bij horen en welke effecten dit oplevert.

Het areaal waarop een maatregel wordt genomen mag niet a priori worden gelimiteerd wanneer de kosteneffectiviteit wordt gebruikt om maatregelen te selecteren. Voor twee ingrepen zijn noodgedwongen aannames gemaakt die de kosten en de kosteneffectiviteit beïnvloeden: zowel voor ‘Droge’ bufferstroken’ als voor ‘Helofytenfilters’ is het areaal landbouwgrond dat voor de ingreep wordt gebruikt begrensd om de effecten en de kosten te kunnen kwantificeren.

Interactie en volgorde maatregelen

Ingrepen die naast elkaar worden uitgevoerd kunnen elkaar beïnvloeden wat betreft hun effecten en kosten. Een wijziging van effecten en kosten heeft een directe invloed op de kosteneffectiviteit van een maatregel. De interactie tussen ingrepen is moeilijk te kwantificeren. In de Ex-ante evaluatie is hiermee dan ook geen rekening gehouden.

Naast de interactie tussen maatregelen heeft ook de volgorde van implementatie effect op de (kosten)effectiviteit van maatregelen. Het absolute effect van helofytenfilters is bijvoorbeeld afhankelijk van de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater en daardoor afhankelijk van bronmaatregelen die genomen worden.

De verschillende bronnen van onzekerheden leiden tot onzekerheden in de rekenresultaten en daarmee de effectiviteit van de maatregel. Deze onzekerheden zijn niet bekend en is het dus ook niet duidelijk hoe deze doorwerken op de resultaten en de conclusies. De rekenresultaten moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

Dit geldt voornamelijk voor de effectgerichte maatregelen, vooral de effecten van de helofytenfilters zouden (te) hoog kunnen zijn geschat. Daarnaast is het voor een aantal potentiële maatregelen niet mogelijk geweest om deze door te rekenen door het gebrek aan gegevens en kennis.

6 Conclusies

Methodiek

Bij het opzetten van het Kennis Informatie Systeem (KIS) en de Ex-ante evaluatie zijn de maatregelen op systematische wijze verzameld en vastgelegd. De kennis met betrekking tot effecten en kosten van brongerichte en hydrologische maatregelen op locale, regionale en nationale schaal zijn eenduidig beschreven.

De maatregelen zijn hierbij geordend op basis van de 'plek' in het systeem waar de maatregel ingrijpt. De systematische aanpak maakt het mogelijk om een nationale verkenning ten behoeve van de KRW, de regionale uitwerking van de KRW en de selectie van maatregelen uit te voeren.

Maatregelen

De effecten van veel maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater zijn niet goed bekend, waarbij het voornamelijk gaat om niet op de mestgift gerichte maatregelen. Onderzoek naar de effecten van maatregelen zijn in een later stadium pas opgestart. De effecten van maatregelen kunnen daardoor nog steeds alleen globaal worden ingeschat.

In de Ex-ante evaluatie zijn 6 ingrepen geselecteerd waarvoor voldoende kennis beschikbaar is voor het bepalen van het effect van een ingreep.

De veronderstelde effectiviteiten van de individuele ingrepen/maatregelen die in de factsheets zijn beschreven, zijn redelijk tot goed onderbouwd op basis van praktijkonderzoek en modelberekeningen.

Onderbouwing

De effectiviteit van de individuele ingrepen zijn regionaal gedifferentieerd en door experts ingeschat (factsheets). De effectiviteit van de individuele maatregelen zijn niet constant, maar afhankelijk van:

- Tijd; denk aan seizoen- en jaareffecten door verschillen in temperatuur en neerslag, maar ook aan de bufferende werking van bodem en bodemvoorraad,
- Ruimte; de bronnen binnen de verschillende gebieden, de transportroutes en omzettingsprocessen variëren als gevolg van verschillen in de (gebieds)eigenschappen en daardoor ook de resulterende oppervlaktewaterkwaliteit;
- Interactie; ingrepen en maatregelen kunnen elkaar versterken, tegenwerken en uitsluiten,
- Volgorde, dezelfde ingreep heeft een andere effectiviteit wanneer die als eerste of als laatste binnen een (deel)variant wordt gerealiseerd.

De verschillende bronnen van onzekerheden leiden tot onzekerheden in de rekenresultaten en daarmee de effectiviteit van de maatregel. Deze onzekerheden zijn niet bekend en is het dus ook niet duidelijk hoe deze doorwerken op de resultaten en de conclusies. De rekenresultaten moeten dan ook met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

Dit geldt voornamelijk voor de effectgerichte maatregelen, vooral de effecten van de helofytenfilters zouden (te) hoog kunnen zijn geschat. Daarnaast is het voor een aantal potentiële maatregelen niet mogelijk geweest om deze door te rekenen door het gebrek aan gegevens en kennis.

Effectiviteit

In tabel 26 is de effectiviteit van de individuele maatregelen weergegeven op landelijk niveau. Het gaat hierbij alleen om de effectiviteit van de maatregel voor de nutriëntenbelasting uit het landelijk gebied. De effectiviteiten kunnen niet vergeleken worden met de effectiviteit uit de Ex-ante evaluatie (van der Bolt et al., 2008), omdat daar ook de nutriëntenbelasting uit het stedelijk gebied (bv. rwzi's) in beschouwing zijn genomen.

Tabel 26. Effectiviteit van de afzonderlijke maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater voor de verschillende maatregelen op landelijke schaal.

Deelvariant	maatregel	Effectiviteit (%)	
		Stikstof	Fosfor
Bedrijf	Geen fosforkunstmest	0,0	6,3
	Voorjaarstoediening	1,5	0,0
	Vergroten mestopslag	7,8	0,5
	Precisiebemesting	1,8	0,0
	Aanpassen bouwplan	0,8	0,1
	Deeltotaal	12,2	7,0
Perceel	Uitmijnen	8,6	10,8
	Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage	1,8	5,0
	Onbemeste bufferstroken	2,3	1,1
	Deeltotaal	8,2	13,0
Sloot	Helofytenfilters	32,8	44,5
	Deeltotaal	32,8	44,5
Totaal		38,6	55,1

In 2009 zijn de definitieve stroomgebiedbeheerplannen opgesteld, waarin de kwaliteitsdoelen en de benodigde maatregelen zijn omschreven om in 2015 voor alle wateren een 'goede' ecologische toestand te realiseren. Het eerste beheerplan geldt t/m 2015, waarna een nieuw plan voor de volgende zes jaar opgesteld wordt. Voor het selecteren van (aanvullende) maatregelen is het van belang dat de (kosten)effectiviteit van potentiële maatregelen beter bekend zijn. Het is dan ook noodzakelijk dat de komende jaren verder onderzoek wordt verricht naar de (kosten)effectiviteit van aanvullende (mest)maatregelen om de doelstellingen van de KRW te realiseren.

Literatuur

AGV. PPO-rapport in voorbereiding (augustus 2007)

Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel en G-J. Noij, 2008. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en samengestelde, peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1647. 258 blz.; 256 fig.; 137 tab.; 13 ref.

Bolt, F.J.E. van der, E.M.P.M. van Boekel, O.A. Clevering, W. van Dijk, I.E. Hoving, R.A.I. Kselik, J.M.M. de Klein, T.P. Leenders, V.G.M. Linderhof, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, G.J. Noij, E.A. van Os, N.B.P. Polman, L.V. Renaud, S. Reinhard, O.S. Schoumans, D.J.J. Walvoort, 2008. *Ex-ante evaluatie landbouw en KRW; Effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten*. Wageningen, Alterra-rapport 1687. 120 blz.; 22 fig.; 28 tab.; 25 ref.

Bolt, F.J.E. van der, H. van den Bosch, Th.C.M. Brock, P.J.G.J. Hellegers, C. Kwakernaak, T.P. Leenders, O.F. Schoumans, P.F.M. Verdonschot, 2003. *Aquarein, gevolgen van de Europese Kaderrichtlijn Water voor landbouw, natuur, recreatie en visserij*. Wageningen, Alterra rapport 835, 152 p. (in Dutch).

Bolt, F.J.E. van der. & E.A. van Os, 2006. *KIS maatregelen in het landelijk gebied*. In: Leenders, T.P. en C. Kwakernaak, 2006. 20 Puzzelstukjes voor de KRW. Een bloemlezing uit het onderzoek van Wageningen UR voor de Europese Kaderrichtlijn Water. Alterra rapport 1403, 68p. (in Dutch).

Braskerud BC (2002) Design considerations for increased sedimentation in small wetlands treating agricultural runoff. *Water Science and Technology* 45:77-85

Brix H, Sorrell B K and Lorenzen B (2001). Are Phragmites-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic Botany*. 2001, 69: 2 4, 313 324.

Casey RE, Taylor MD, Klaine SJ (2001) Mechanisms of nutrient attenuation in a subsurface flow riparian wetland. *Journal of Environmental Quality*. 2001, 30: 5, 1732 1737; 21 ref.

Chardon, W.J., M. Pleijter, C. van der Salm, O.F. Schoumans & O. Oenema. 2007. Milieukundige gevolgen van aanscherping en differentiatie van fosfaatgebruiksnormen in de landbouw. Wageningen, Alterra-rapport 1571. 48 blz.; 18 fig.; 11 tab.; 20 ref.

Cleij, P., 2008. *De Waterplanner ERC-2005 database*. Bilthoven, MNP. MNP werkdokument, 2008.

Clevering, O.A., Smit B, Aandekerk T, Wees N. van (2004). Mogelijkheden voor hergebruik en zuivering van uitgespoelde nutriënten. PPO-rapport 530133

Crumpton WG (2001) Using wetlands for water quality improvement in agricultural watersheds; the importance of a watershed scale approach. *Wat. Sci. Tech.* 44:559-564

Dijk, W. van, H. Prins, M.H.A. de Haan, A.G. Evers, A.L. Smit, J.F.F.P. Bos, J.R. van der Schoot, R. Schreuder, J.W. van der Wekken, A.M. van Dam, H. van Reuler & R. van der Maas. Economische consequenties van gebruiksnormenstelsel 2006-2009 voor melkveehouderij en akker- en tuinbouw. Studie i.k.v. Evaluatie Meststoffenwet 2007. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 365, Lelystad.

Dijk, W. van, J.G. Conijn, J.F.M. Huijsmans, J.C. van Middelkoop & K.B. Zwart (2004). Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt organische mest. Studie t.b.v. onderbouwing gebruiksnormen. PPO-publicatie nr. 343, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 337, Lelystad, 63 pp.

Dijk, W. van, A.M. van Dam, F.J. de Ruijter, J.C. van Middelkoop & K.B. Zwart (2005). Onderbouwing N-werkingscoëfficiënt overige organische meststoffen. Studie t.b.v. onderbouwing gebruiksnormen. PPO-publicatie nr. 343, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad, 50 pp.

DLG (2006) Overzicht standaard eenheidsprijzen. Prijspeil januari 2006.

Ehlert, P.A.I., C.A.P. van Wijk & P. de Willigen, 2002. Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen 3. Precisiebemesting. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, projectrapport nr. 1125232, 27 pp.

Fleischer S, Joelsson, A., Stibe, L. (1997) 15: The Potential Role of Ponds as Buffer Zones. In: Haycock NE, Burt, T.P., Goulding, K.W.T., Pinay, G (ed) *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection. The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones*. September 1996. Quest Environmental, Hertfordshire, UK, pp 140-146

Hammer DA, Knight RL (1994) Designing constructed wetlands for nitrogen removal. *Wat. Sci. Tech.* 29:15-27

Helming, J.F.M., 2005. A model of Dutch agriculture based on positive mathematical programming with regional and environmental applications. PhD thesis, Wageningen University and Research Centre, Wageningen, The Netherlands.

Hemmer, Hans, Bert Bosma, Aart Evers en Izak Vermeij, 2006. Kwantitatieve Informatie Veehouderij (KWIN-V) 200602007. Animal Sciences Group, Lelystad.

Hey DL, Kostel JA, Hurter AP, Kadlec RH (2005). Nutrient farming and traditional removal: An economic Comparison. Report 03-WSM-6CO. Publisher: WERF, Alexandria, VA en IWA Publishing, London, UK.

Holshof G. & Boekhoff M (2006). Effect van uitrijden van rietmaaisel op onkruidruk en opbrengst maisland op jonge zeeklei. Praktijkrapport 96.

Kadlec RH (1999) The limits of phosphorus removal in wetlands. *Wetlands* 7:165-175

Kadlec RH (2003) Pond and wetland treatment. *Water Science and Technology* 48 (5):1-8

Kadlec RH, Knight RL (1996) *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton
Koopmans, G.F., W.J. Chardon, P.A.I. Ehlert, J. Dolfing, R.A.A. Suurs, O. Oenema, and W.H. van Riemsdijk. 2004. Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil. *J. Environ. Qual.* 33:965-975.

Liikanen A, Puustinen M, Koskiaho J, Vaisanen T, Martikainen P, Hartikainen H (2004) Phosphorus removal in a wetland constructed on former arable land. *Journal of Environmental Quality* 33:1124-1132

Liikanen A, Mander U, Puustinen M, Teiter S and Wachniew P (2006). Emission of the greenhouse gases nitrous oxide and methane from constructed wetlands in Europe. *Journal of Environmental Quality* 35, 2360-2373.

LNV, 2007. Brief aan de Tweede Kamer dd. 3 dec. 2007 aangaande het mestbeleid. DL/2007/3314

LTO, 2007. *Kaderrichtlijn water in de agrarische bedrijfsvoering*. LTO Nederland, Unie van Waterschappen, 39p.

Meer, R.W. van der, Schurink, W. (2001). *Natuurvriendelijke oevers: naar een bloeiende toekomst of gaan we nat? Onderzoek naar de kosten van diverse natuurvriendelijke oevertypen*. LEI rapport 4.01.07.

MNP 2007. *Werking van de meststoffenwet 2006*. Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven. MNP-publicatienummer 500124001.

MNP 2008. *Kwaliteit voor later. Ex-ante evaluatie Kader Richtlijn Water*. Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven. MNP-publicatienummer 500140001/2008.

Molenaar, K., Dekking, A.J.G., Jansma, J.E., Korthals, G.W., Spruijt-Verkerke J., Visser A.J. (2007). *Kiekendief Regeling. Een regeling voor alternatief fouragegebied voor kiekendieven in het agrarisch gebied rond de Oostvaardersplassen*. PPO 3250056500

Noij, Gert-Jan en Wim Corré (eds), Erwin van Boekel, Henk Oosterom, Jantine van Middelkoop, Wim van Dijk, Olga Clevering, Leo Renaud en Jan van Bakel, 2008. *Kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen voor bufferstroken in Nederland*. Wageningen, Alterra-rapport 1618. 228 blz.; 56 fig.; 113 tab.; 67 ref.

Noij, Gert-Jan, Marius Heinen, Piet Groenendijk en Hanneke Heesmans, 2008. *Effectiveness of unfertilized buffer strips in the Netherlands. Mid-term report. Effectiveness of buffer strips publication series 7*, Alterra, Wageningen.

Os, E.A. van, I.G.A.M. Noij, P.J. Bakel, W. de Winter, F.J.E. van der Bolt, 2009. *Kennissysteem "Effect van hydrologische maatregelen op de uitspoeling van N en P naar grond- en oppervlaktewater. Bijdrage maatregelen WB21 aan de realisatie van de KRW*. Wageningen, Alterra-rapport 1863. 50 blz.; 6 fig.; 14 tab.; 5 ref.

- Os, E.A. van, I.G.A.M. Noij, F.J.E. van der Bolt, W. de Winter, 2007. Poster: Effect of source and hydrological measures on reducing the load of N and P to surface water. IPW5 symposium Silkeborg Denmark.
- Radersma, S., W.C.A. van Geel, C. Grashoff, G.J. Molema & N.S. van Wees, 2005. Geleide bemesting in de open teelten: Ontwikkeling van systemen. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 334, 31 pp.
- Schoot, J.R. van der & W. van Dijk, 2001. Rijenbemesting met dierlijke mest in maïs maakt kunstmest overbodig. PPO-bulletin Akkerbouw (2001-2), p. 13-17.
- Reinhard, A.J., V.G.M. Linderhof, R. Michels, N.B.P. Polman, 2008. Landbouwkosten van aanvullende KRW-maatregelen; Achtergrondstudie voor de Ex-ante evaluatie. Den Haag, LEI, 2008. Rapport 2008-025.
- Reinhardt M, Gachter R, Wehrli B, Muller B (2005) Phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural drainage water. *Journal of Environmental Quality* 34:1251-1259
- Schoot, J.R. van der & W. van Dijk, 2001. Rijenbemesting met dierlijke mest in maïs maakt kunstmest overbodig. PPO-bulletin Akkerbouw (2001-2), p. 13-17.
- Schoumans. O.F., 2007. Trend in het verloop van de fosfaattoestand van landbouwgronden in Nederland in de periode 1998-2003. Wageningen, Alterra. Wageningen, Alterra-rapport 1537. 38 blz.; 4 fig.; 6 tab.; 17 ref.
- Schreuder, R., W. van Dijk, P. van Asperen, J. de Boer en J.R. van der Schoot, 2008. *MEBOT 1.01. Beschrijving van Milieu- en bedrijfsmodel voor de open teelten*. Lelystad, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V. PPO nr. 373,
- Schröder, J.J., L. ten Holte & G. Brouwer, 1995. Rijenbemesting met drijfmest. AB-DLO, rapport nr. 44, Wageningen. 46 pp.
- Smit. A.L., P. de Willigen & A.A. Pronk, 2008. Het effect van plaatsing van fosfaat en stikstof bij vollegrondsgroenten. Deskstudie (Literatuur en Simulatie) in kader van toekomstige normstelling. PRI-rapport 2007.
- Sovik A K, Augustin J, Heikkinen K, Huttunen J T, Necki J M, Karjalainen S M, Klove B,
- Spruijt, J., Munneke, K., Hopster, G., Visser A. (2005). Grondslagen en vergoedingen akkerranden. SAN Faunarand en Natuurbraak. PPO 500206.
- Stowa 2001-09. Handboek zuiveringsmoerassen voor licht verontreinigd water.
- Stowa 2005-18. Waterharmonica
- Tonderski KS, Arheimer B, Pers CB (2005) Modeling the impact of potential wetlands on phosphorus retention in a Swedish catchment. *Ambio* 34:544-551

Uusi-Kämpä T, E., Hartikainen, H., Ylänta, T. (1997) 5: The interactions of buffer zones and phosphorus runoff. In: Haycock NE, Burt, T.P., Goulding, K.W.T., Pinay, G (ed) *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection. The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones. September 1996.* Quest Environmental, Hertfordshire, UK, pp 43-53

Verhoeven J T A, Arheimer B, Yin C Q and Hefting M M (2006) Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends Ecol. Evol.* 21, 96-103.

Well, van E., Kloen, H. (2004). *Natuurvriendelijk slootbeheer Eindrapportage.* CLM Onderzoek en Advies BV, CLM 598-2004.

Willems, W.J. et. al. 2008. *Prognose milieugevolgen van het nieuwe mestbeleid. Achtergrondrapportage Evaluatie Meststoffenwet 2007.* Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven. MNP-publicatienummer 500124001.

Wolf J., A.H.W.Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter, H. van Zeijts, 2003. *The integrated modeling system STONE for calculating emissions from agriculture in the Netherlands.* *Environmental Modelling & Software* 18: 597-617

Wolf, M de. & A. van der Klooster, 2006. *Kwantitatieve Informatie Akkerbouw en Vollegrondsgroenteteelt 2006.* Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, PPO-publicatie nr. 354, 286 pp.

Bijlage 1 Onderbouwing Vergroten mestopslag

Voor de evaluatie meststoffenwet is berekend in hoeverre de arbeidopbrengst verminderd als alle drijfmest in het begin van het groeiseizoen wordt uitgereden in plaats van verspreid over het gehele groeiseizoen (Van Dijk et al., in voorbereiding). De benutting van drijfmest is aan het einde van het groeiseizoen beperkt doordat de nawerking van N buiten het groeiseizoen verloren gaat. Deze maatregel is met BBPR door ASG doorgerekend voor drie bedrijfstypen die drijfmest grotendeels op grasland uitrijden, namelijk 1) een sterk intensief bedrijf op zandgrond met 20.000 kg melk per ha, 2) een bedrijf op kleigrond met 16.000 kg melk per ha en 3) een bedrijf op veengrond met 11.000 kg melk per ha. Dit betekent wel dat er in veel gevallen extra mestopslag nodig is, waaruit extra kosten voortvloeien. Er is uitgegaan van investeringskosten van € 77 (zand) en € 116 per opgeslagen m³ mest (klei en veen) (KWIN 2006-2007). Dit betreft kosten voor externe opslag inclusief overkapping. De jaarkosten bedragen ruim 7% van de investeringskosten. Op klei en veen dient de fundering onder de mestopslag geheel te worden, hetgeen extra kosten met zich meebrengt. Wat betreft mesttoediening is uitgegaan van een zodenbemester (zand en klei, N-werking drijfmest 50% in voorjaar) of een sleepvoetenmachine (veen, N-werking drijfmest 40% in voorjaar).

De algemene conclusie is dat de baten in de vorm van een lichte verhoging van de gewasopbrengst door een verhoogde N-benutting, bij lange na niet opwegen tegen de (hoge) kosten voor extra mestopslag.

Reductie N- en P₂O₅-belasting

In de betreffende studie is de drijfmest op drie tijdstippen uitgereden. In BBPR werd voor de eerste twee tijdstippen een stikstofwerking gehanteerd van 50% voor de bedrijven op zand- en kleigrond en van 40% voor het bedrijf op veengrond. Voor het derde uitrijdtijdstip werd een standaard N-werking gehanteerd van 25%. Het niet werkzame deel gaat niet zondermeer verloren, maar draagt voor een groot deel bij aan het stikstofleverend vermogen van de grond. Bij een werking van 50% wordt de totale hoeveelheid stikstof voor ongeveer 80% direct of indirect benut en gaat het overige deel verloren. Bij een lagere werking is het verlies groter. Theoretisch gezien wordt bij een lagere stikstofwerking van 25% in het najaar de benutting met maximaal 25% vergroot door de derde drijfmestgift voor 1 augustus uit te rijden. Per bedrijf is de verbetering van de N-benutting berekend. In tabel 1.1 staan de resultaten voor de drie bedrijfstypen.

Tabel 1.1. Verbetering N-benutting najaar door het vergroten van de mestopslag berekend voor een melkveebedrijf op zand-, klei- en veengrond. Gesteld is dat het laatste uitrijdstip is vervroegd tot voor 1 augustus, waardoor verliezen door een verminderde werking later in het groeiseizoen worden vermeden (Van Dijk et al., in voorbereiding).

Bedrijf	Variant	Zand		Klei		Veen	
		Referentie	Vergrote mestopslag	Referentie	Vergrote mestopslag	Referentie	Vergrote mestopslag
<i>Toediening mest</i>							
Grasland 1e uitrijdstip	(ton)	675	675	474,2	474,2	787	787
Grasland 2e uitrijdstip	(ton)	337,6	337,6	563,5	563,5	393,5	393,5
Grasland 3e uitrijdstip	(ton)	337,6	337,6	336,9	336,9	393,5	393,5
<i>N-werking</i>							
Grasland 1e uitrijdstip	(%)	50	50	50	50	40	40
Grasland 2e uitrijdstip	(%)	50	50	50	50	40	40
Grasland 3e uitrijdstip	(%)	25	50	25	50	25	40
N-gehalte	(kg/ton)	4,49	4,49	4,8	4,8	4,99	4,99
P-gehalte	(kg/ton)						
N-drijfmest totaal	(kg)	6062	6062	6598	6598	7854	7854
N-drijfmest werkzaam	(kg)	2652	3031	2895	3299	2847	3142
Vershil N-hoeveelheid	(kg)		379		404		295
Vershil N-benutting	(%)		12,50		12,3		9,4

Voor het bedrijf op zandgrond is de verbetering van de N-benutting maximaal 12,5% van de werkzame hoeveelheid N uit drijfmest op jaarbasis. Voor de vertaling van dit effect in STONE betekent dit een reductie van de N-kunstmest gift van 12,5%. De resultaten voor het bedrijf op kleigrond waren vergelijkbaar met die op zandgrond. Door een lagere N-werking op veengrond van 40% (sleepvoetenmachine) is de te realiseren verbetering geringer.

In de berekeningen is alleen een verbetering van de benutting in het najaar verondersteld en wordt geen rekening gehouden met een vermindering van afspoeling in het voorjaar. Hierdoor wordt wellicht het effect van een vergrote mestopslag op natte gronden onderschat. Met de huidige bandentechniek en het gebruik van een sleepslang kan ook op natte (slecht draagkrachtige) gronden per 1 februari drijfmest uitgereden worden. Juist in die periode van het jaar is het risico op afspoeling van mest groot. Het gaat hier grotendeels om de anorganische N-fractie, maar wellicht ook om een hoeveelheid organische gebonden N en P. Door mest later uit te rijden kan de N- en P₂O₅-werking nog verder worden vergroot. In tabel 1.2 is dit effect voor N weergegeven waarbij gesteld is dat ongeveer 10% van de hoeveelheid N die op het eerste tijdstip wordt uitgereden verloren gaat. Door een vergrote mestopslag zou dit verlies kunnen worden opgeheven.

Tabel 1.2. Verbetering N-benutting najaar en voorjaar door het vergroten van de mestopslag berekend voor een melkveebedrijf op zand-, klei- en veengrond. Gesteld is dat het eerste uitrijdstip is verlaat tot na 1 maart en dat het laatste uitrijdstip is vervroegd tot voor 1 augustus. Verliezen afspoeling in het vroege voorjaar en verliezen door een verminderde werking later in het groeiseizoen worden vermeden (Van Dijk et al., in voorbereiding)

Bedrijf	Variant	Zand		Klei		Veen	
		Referentie	Vergrote mestopslag	Referentie	Vergrote mestopslag	Referentie	Vergrote mestopslag
<i>Toediening mest</i>							
Grasland 1e uitrijdstip	(ton)	675	675	474,2	474,2	787	787
Grasland 2e uitrijdstip	(ton)	337,6	337,6	563,5	563,5	393,5	393,5
Grasland 3e uitrijdstip	(ton)	337,6	337,6	336,9	336,9	393,5	393,5
<i>N-werking</i>							
Grasland 1e uitrijdstip	(%)	40	50	40	50	30	40
Grasland 2e uitrijdstip	(%)	50	50	50	50	40	40
Grasland 3e uitrijdstip	(%)	25	50	25	50	25	40
N-gehalte	(kg/ton)	4,49	4,49	4,8	4,8	4,99	4,99
N-drijfmest werkzaam	(kg)	2349	3031	2667	3299	2454	3142
Vershil N-hoeveelheid	(kg)		682		632		687
Vershil N-benutting	(%)		22,5		19,2		21,9

De betere benutting van de drijfmest door minder afspoeling vertaalt zich ook in een betere benutting van P na het eerste uitrijdstip. Gesteld is dat ook de beschikbaarheid van P2O5 tussen beide varianten met 10% verschilt en dat de werking 100% bedraagt. In tabel 1.3 is de verbetering van de P2O5-benutting uitgewerkt.

Tabel 1.3. Verbetering P2O5-benutting najaar en voorjaar door het vergroten van de mestopslag berekend voor een melkveebedrijf op zand-, klei- en veengrond. Gesteld is dat het eerste uitrijdstip is verlaat tot na 1 maart, waardoor verliezen door afspoeling vroeg in het voorjaar worden voorkomen (Van Dijk et al., in voorbereiding)

Bedrijf	Variant	Zand		Klei		Veen	
		Referentie	Vergrote mestopslag	Referentie	Vergrote mestopslag	Referentie	Vergrote mestopslag
<i>Toediening mest</i>							
Grasland 1e uitrijdstip	(ton)	675	675	474,2	474,2	787	787
Grasland 2e uitrijdstip	(ton)	337,6	337,6	563,5	563,5	393,5	393,5
Grasland 3e uitrijdstip	(ton)	337,6	337,6	336,9	336,9	393,5	393,5
<i>N-werking</i>							
Grasland 1e uitrijdstip	(%)	90	100	90	100	90	100
Grasland 2e uitrijdstip	(%)	100	100	100	100	100	100
Grasland 3e uitrijdstip	(%)	100	100	100	100	100	100
P2O5-gehalte	(kg/ton)	1,63	1,63	1,7	1,7	1,81	1,81
P2O5-drijfmest	(kg)	2091	2201	2256	2337	2706	2849
Vershil hoeveelheid P2O5	(kg)		110		81		142
Vershil benutting P2O5	(%)		5,0		3,5		5,0

Grasopbrengsten

Voor de situatie waarbij alleen een verbetering van de N-benutting in het najaar is doorgerekend (Van Dijk et al., in voorbereiding) is het verschil in grasopbrengsten tussen de varianten per bedrijf weergegeven in tabel 1.4

Tabel 1.4. Verschil in grasopbrengsten door het vergroten van de mestopslag berekend voor een melkveebedrijf op zand-, klei- en veengrond, waarbij alleen de werking van de drijfmest in het najaar verbeterd (Van Dijk et al., in voorbereiding)

Bedrijf Variant		Zand		Klei		Veen	
		Referentie	Vergrote mestopslag	Referentie	Vergrote mestopslag	Referentie	Vergrote mestopslag
Oppervlakte grasland	(ha)	21,0	21,0	32,8	32,8	43,2	43,2
Bruto grasopbrengst	(kg ds)	12923	13229	13828	14092	12598	12598
Netto grasopbrengst	(KVEM)	9254	9495	9967	10223	8162	8162

De economische bedrijfsresultaten per bedrijfstype berekend bij een verbeterde N-werking van drijfmest in het najaar uitgaande van het jaar van mestwetgeving 2009, zijn voor een aantal bedrijfstypen bepaald (Van Dijk et al., in voorbereiding).

In tabel 1.5 staan per bedrijfstype extra hoeveelheid mestopslag (ter grootte derde uitrijdtijdstip), de investeringskosten en de daling van de arbeidsopbrengst bij een verbeterde N-werking van drijfmest in het najaar.

Tabel 1.5. Investeringskosten en daling arbeidsopbrengst door vergroting mestopslag berekend voor drie bedrijfstypen bij verbeterde N-werking drijfmest in het najaar (Van Dijk et al., in voorbereiding)

Bedrijf		Zand	Klei	Veen
Intensiteit	(kg melk per ha)	20.000	16.000	11.000
Vergroting mestopslag	(m ³)	338	337	394
Kosten	(€/m ³)	77	116	116
Investering	(€)	26.026,-	39.092,-	45.704,-
Jaarkosten (7%)	(€)	1.822,-	2.736,-	3.199,-
Daling arbeidsopbrengst	(€)	1.200,-	4.400,-	3.100,-

Bijlage 2 Onderbouwing 'Droge' bufferstroken

Het totale effect van bufferstroken kan in theorie worden opgedeeld in drie deeleffecten:

1. Bemestingseffect: door de onbemeste bufferstrook wordt minder meststof aan het perceel toegediend. Voor dit effect maakt de plaatsing van de onbemeste strook niet uit, alleen het oppervlak (c.q. breedte).
2. Het verblijftijdeffect is een specifiek effect van de plaatsing naast de sloot. Het relatief N en P rijke water van de rest van het perceel is langer onderweg naar de sloot dan het inmiddels N- en P-arme water van de onbemeste bufferstrook. De onbemeste bufferstrook beïnvloedt de korte stroombanen die oorspronkelijk de hoogste concentraties hadden.
3. Ook het onderscheppend effect is een specifiek effect van de plaatsing naast de sloot. Water dat vanaf de rest van het perceel over het maaiveld of door de bovengrond naar de sloot stroomt, gaat eerst door de bufferstrook, waardoor N en P uit het water kan worden verwijderd.

Het 2^e en 3^e effect worden samen ook wel additioneel effect van bufferstroken genoemd. Er is op dit moment nog onvoldoende kennis over de oppervlakkige routes om deze deeleffecten goed afzonderlijk te kunnen kwantificeren. In deze studie gaan we er daarom van uit dat het onderscheppende effect net zo kan worden benaderd als het verblijftijdeffect. De werking van het onderscheppende effect wordt eveneens afhankelijk verondersteld van de verblijftijd van de oppervlakkige afvoer in de bufferstrook.

Het verblijftijdeffect is in theorie afhankelijk van de breedte van de bufferstrook in verhouding tot de afstand L tussen sloot en waterscheiding (ongeveer halweg tussen twee sloten; Groenendijk en Heinen, in voorb.). Daarom hebben we een standaardperceel gedefinieerd van 100 m x 200 m met aan beide korte zijden een sloot. Hierdoor beslaat een bufferstrook van 5 meter 5% van het areaal. Als de slootdichtheid in een bepaalde regio lager is, dan blijven we toch uit gaan van het standaardperceel, de werking van de bufferstrook wordt dan minder omdat er minder standaardpercelen "passen" in de betreffende regio. De werking van de bufferstrook wordt areaalgewogen gemiddeld tussen het areaal met standaardpercelen en het areaal waar geen sloten voorkomen en de werking dus nul is.

Waar de slootdichtheid hoger is dan op het standaardperceel, gaan we ervan uit dat de maatregel disproportioneel is vanwege de kosten (grondbeslag) en wordt de breedte van de bufferstrook gemaximeerd op een areaalfractie van 5%. Op een typisch veenweideperceel in het kopenlandschap bijvoorbeeld, van 30 m x 500 m met de sloten aan de lange zijden, krijg je dan een bufferstrook van 0,75 meter. De verhouding bufferbreedte/L is nu nog steeds 5% ($0,75/(30/2)$) en de werking via de verblijftijd in de verzadigde zone/het grondwater zou volgens de theorie gelijk zijn aan die in het standaardperceel. Echter, in dit hydrologische systeem zal het aandeel oppervlakkige afvoer veel groter zijn dan gemiddeld en de werking van de bufferstrook zal veel meer bepaald worden door de oppervlakkige routes dan door de diepere routes door het verzadigde systeem, waarvoor het verblijftijdeffect geldt. We gaan uit van een lineaire afname van het bufferstrookeffect met de breedte, want hetzelfde geldt voor de verblijftijd van de oppervlakkige afvoer in de bufferstrook ($\tau = D/(Q*L/B)$ met D = doorstroomde diepte, stel 10-100 mm; Q is neerslagdebiet; L = afstand tot waterscheiding en B = bufferbreedte). Voor het bepalen van de effectiviteit kunnen een aantal stappen worden onderscheiden

Stap 1 Bepalen bemestingseffect

Een bufferstrook bestaat uit een bemestingsvrije rand van 5m aan beide kanten van waterlopen. Hierbij wordt vanuit gegaan dat de totale mestgift op een standaardperceel (100m bij 200m) met 5% afneemt, wanneer aangenomen wordt dat de bemestingsvrije zone niet meetelt bij het bepalen van de plaatsingsruimte. Een lagere mestgift resulteert in een afname van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater, maar er mag niet van worden uitgegaan dat nulbemesting leidt tot een volledige reductie van de afvoer vanuit een onbemeste bufferstrook. We gaan uit van 80% reductie op het landbouwkundige deel van de afvoer. De achtergrondbelasting blijft natuurlijk hetzelfde.

Dit resulteert in de volgende formule:

$$\text{Bemestingseffect} = 0.8 * \text{areaalfraction} * \text{landbouwemissie} / \text{totale emissie} \quad (1)$$

Stap 2. Bepalen additioneel effect (standaardperceel; 5% = 5 meter)

Een bufferstrook grijpt voornamelijk aan op de oppervlakkige afvoerroutes. De bijdrage aan de totale reductie van de nutriëntenvracht is dus afhankelijk van de oorspronkelijke oppervlakkige vracht. Met andere woorden het effect is groter in gevallen met veel oppervlakkige afvoer, waarbij de volgende aannames gedaan zijn:

- Bouwland > grasland
- Ondiep ondoorlatend profiel > diep doorlatend profiel
- Hellend > vlak

Tabel 2.1. Relevante perceelskenmerken voor het inschatten van de effectiviteit van onbemeste bufferstroken.

Landgebruik	Waarde	
	P	N
Bouwland (akkerbouw + Maïs)	+	
Gras	-	
Geohydrotype		
Ondiep ondoorlatend	+	+
Diep goed doorlatend	-	-
Helling		
Hellend	+	
Vlak	-	

Vervolgens is per combinatie het effect ingeschat voor stikstof en fosfor. Daarbij zijn we uitgegaan van een ingeschatte maximum werking voor P van 30% en N van 20% voor het standaardperceel.

Bij het bepalen van de effectiviteit is verder aangenomen dat voor stikstof alleen het geohydrotype een rol speelt, terwijl bij fosfor ook het landgebruik en de helling de effectiviteit bepaalt. Dit is gebaseerd op de observatie dat fosforvrachten veel sterker bepaald worden door oppervlakkige routes en gronddeeltjes en stikstofafvoer vooral bepaald wordt door uitspoeling via het grondwater. Uit modelberekeningen (Bakel, Boekel en Noij, 2008) blijkt dat het blokkeren van oppervlakkige afvoer voor fosfor meer dan 50% kan schelen terwijl dat voor stikstof beperkt blijft tot <10%). Dit is ook de reden waarom een hogere totale effectiviteit voor P is aangenomen.

Tabel 2.2. Kwalitatieve inschatting van de effectiviteit van onbemeste bufferstroken voor verschillende kenmerken.

Plotkenmerken								
Landgebruik	1	1	1	1	0	0	0	0
Geohydrotype	1	1	0	0	1	1	0	0
Helling	1	0	1	0	1	0	1	0
Waardering P (L+G+H)	3	2	2	1	2	1	1	0
Effectiviteit P (%)	30	20	20	10	20	10	10	5
Waardering N (G)	1	1	0	0	1	1	0	0
Effectiviteit N (%)	20	20	10	10	20	20	10	10

Omdat deze inschatting geldt voor het totale effect van bufferstroken trekken we eerst het bemestingseffect er weer van af en wordt het additionele effect op de volgende manier berekend;

-Additioneel effect = totaal effect – Bemestingseffect

-Bemestingseffect = 0.8 * areaalfractie (formule 1)

-Standaardperceel heeft areaalfractie 0,05

-Additioneel effect = totaal effect – 0.04 (2)

Stap 3. Bepalen totale effect

Voor het bepalen van het totale effect van bufferstroken kunnen de effecten die in de voorgaande twee stappen bepaald zijn niet zomaar bij elkaar opgeteld worden. Het bemestingseffect heeft namelijk alleen effect op de nutriëntenvrachten die direct aan de landbouw toegeschreven kunnen worden. Het additionele effect heeft betrekking op de vrachten die kunnen worden toeschreven aan de landbouw, depositie en bodem. De (achtergrond)belasting via kwel wordt niet door bufferstroken beïnvloed.

Op basis van de volgende rekenregels kan de totale effectiviteit van bufferstroken bepaald worden.

-Bemestingseffect * $V_{\text{landbouw}} = V_{\text{landbouw-nieuw}}$ (3)

-Additioneel effect * ($V_{\text{landbouw}} + V_{\text{bodem}} + V_{\text{depositie}}$) = $V_{\text{L+B+D-nieuw}}$ (4)

- $V_{\text{totaal}} = V_{\text{L+B+D}} + V_{\text{Kwel}}$

- $V_{\text{totaal-nieuw}} = V_{\text{L+B+D-nieuw}} + V_{\text{Kwel}}$

-Totaal effect = $(V_{\text{totaal}} - V_{\text{totaal-nieuw}}) / V_{\text{totaal}} = (V_{\text{L+B+D}} - V_{\text{L+B+D-nieuw}}) / (V_{\text{L+B+D-nieuw}} + V_{\text{kwel}})$

-Totaal effect = $(1 - \text{addeff}) * V_{\text{L+B+D}} / (\text{addeff} * V_{\text{L+B+D}} + V_{\text{kwel}})$

-Totaal effect = $(V_{\text{totaal}} - (V_{\text{L+B+D-nieuw}} + V_{\text{Kwel}})) / V_{\text{totaal}}$ (5)

N.B. additioneel effect werkt op V_{landbouw} en niet op $V_{\text{landbouw-nieuw}}$. Het bemestingseffect is eerder al afgetrokken van het totale effect! Alternatief is wel op $V_{\text{landbouw-nieuw}}$ laten werken maar dan niet het bemestingseffect van totaal aftrekken.

Bijlage 3 Onderbouwing Helofytenfilters

Vloevelden (surface flow)

In vloevelden stroomt water over de 'natuurlijke' waterbodem, infiltratie in de waterbodem vindt niet of nauwelijks plaats. De stroomsnelheid wordt door helofyten vertraagd, waardoor zwevende deeltjes en gesuspendeerd materiaal tot bezinking komt. Hierdoor concentreren zich organische verbindingen en zware metalen in moerassen. De toplaag van waterbodems blijft vaak zuurstofrijk. Hier vindt nitrificatie en adsorptie of uitvlokking van complexe Al- en Fe-verbindingen plaats. In de onderlaag is fosfaat deels in oplossing aanwezig. Door het maaien van helofyten kan een deel van de N en P worden afgevoerd. In vloevelden dringt het vervuilde water vaak slecht in de bodem, de verwijdering van nutriënten vindt dan voornamelijk plaats door periphyton dat zich op de stengelbasis van helofyten en op de waterbodem vormt. Denitrificatie is één van de belangrijkste N-verwijderingsmechanismen.

Vloeveld (B4.7)

Watervoerendheid

Het is belangrijk dat helofytenfilters jaarrond watervoerend zijn, dit omdat de effectiviteit in de zomerperiode vaak hoger is dan in de winterperiode. Dit geldt vooral voor stikstofverwijdering, omdat dit grotendeels via biologische processen plaatsvindt. Voor P-verwijdering zijn vooral ook fysische (sedimentatie) en chemische (adsorptie en uitvlokken) processen belangrijk, die minder temperatuurafhankelijk zijn. In droogvallende helofytenfilters kan door mineralisatie N- en P-nalevering optreden (zie hieronder).

Helofytenfilters zijn effectief in het laten bezinken van zwevende deeltjes. In regio's waar veel bodemerosie optreedt, kunnen helofytenfilters daarom ook in de winterperiode effectief zijn, en soms effectiever dan in de zomerperiode. Het is daarom belangrijk de aanleg van helofytenfilters af te laten hangen van de lokale omstandigheden.

Grondbeslag en verblijftijd

Er wordt uitgegaan van een grondbeslag van 2%. De verwachting is dat een grondbeslag van 2% tot een aanzienlijke reductie van de belasting van het oppervlaktewater met N en P leidt, en dat aanvullend beheer met name voor P kosteneffectiever is dan een hoog grondbeslag.

In de winter kan een verblijftijd van 4 dagen (zie effectiviteit) aan de korte kant zijn voor verwijdering van orthofosfaat. Echter bij het door ons gekozen beheer van regelmatig baggeren verwachten wij dat in de winterperiode vooral adsorptie van orthofosfaat aan bodemdeeltjes plaats zal vinden (verblijftijd is dan minder kritisch), bovendien is de biologische activiteit 's winters zo en zo gering. Daarnaast zal in de winterperiode relatief veel particulier P aanwezig zijn, voor bezinking van particulier P is een verblijftijd van 3 dagen vaak voldoende.

In de zomerperiode is de verblijftijd ca. 11 dagen. Dit is ruimschoots voldoende voor een goede verwijdering van orthofosfaat door biologische processen. In de zomerperiode kan droogval soms tot een betere binding van P leiden, maar kan ook leiden tot versnelde mineralisatie van organisch P, waardoor P nalevering kan plaatsvinden. P-nalevering treedt ook op bij lage O₂-concentraties van het oppervlaktewater. Om lage O₂-concentraties te voorkomen, kan het zinvol zijn om het water in het vloeveld te (re)circuleren.

Inrichting vloeiveld

Er wordt uitgegaan van 70% effectief oppervlakte, de restende 30% van het oppervlak wordt ingenomen door onderhoudspaden en dijkjes (Hey *et al.*, 2005). Het vloeiveld heeft een maximale diepte van 45 cm.

Beheervorm

Er is gekozen voor vloeivelden, die zesjaarlijks kunnen worden gebaggerd. Hierbij kan het beste gekozen worden voor een beheer waarbij iedere keer maar de helft wordt uitgebaggerd. Herinplant kan dan vanuit lokaal materiaal of is mogelijk niet nodig, omdat het overblijvend riet, zich snel vegetatief zal uitbreiden.

Berekening effectiviteit

Aannames:

Er wordt uitgegaan van een gemiddelde dagelijkse ontwatering van landbouwgrond van 0,91 mm/dag = 330 mm/ jaar; met in de zomer gemiddeld 0,38 mm/dag en in de winter 1,44 mm/dag.

Er wordt van uitgegaan dat de concentraties jaarrond hetzelfde zijn en niet verschillen tussen transportroutes en regio's, ook wordt ervan uitgegaan dat er in de zomer geen droogval van het helofytenfilter optreedt.

In praktijk betekent dit dat sloten jaarrond watervoerend zijn of dat in tijden van droogte de verblijftijd in het vloeiveld wordt verhoogd NB: Hier is niet meegerekend.

Tabel 3.1 Gemiddelde hydraulische belasting (mm/dag) en verblijftijd (dag) in de winter- en zomerperiode en jaarlijks gewogen gemiddelde.

	Hydraulische belasting (mm/dag)			Verblijftijd (dagen)		
	winter	zomer	gemiddeld d	winter	zomer	gemiddeld
Helofytenfilter	103	27	65	4,4	16,6	6,9

Voor zowel P als N wordt gebruik gemaakt van k_a -waarden (oppervlakte gebaseerde afnamesnelheid) van Kadlec & Knight (1996). Deze waarden worden in de wetenschappelijke literatuur het vaakst aangehaald als gemiddelden van een groot aantal wetlands. Het benodigde oppervlak om tot een bepaald zuiveringsrendement te komen, wordt als volgt berekend.

$$A = (Q * (\ln(C_{in} - C_*) - \ln(C_{uit} - C_*)) / (k_{aT} * 10000))$$

A	benodigd oppervlakte	ha
C_{uit} en C_{in}	in- en uitstromende concentraties	mg/L
C_*	achtergrondconcentratie	mg/L
k_{aT}	afnamesnelheid in N/P per oppervlakte-eenheid	m/dag
Q	hydraulische belasting	m ³ /dag

Stikstof

Voor N-verwijdering is denitrificatie het belangrijkste proces. Er wordt van uitgegaan dat ca. 85% van de stikstof langs deze weg wordt verwijderd. Daarnaast is de aanwezigheid van een gemakkelijk afbreekbare koolstofbron essentieel. Voor denitrificatie van 1 kg nitraat-N is 1.107 kg C nodig.

Uit de literatuur is bekend dat slechts ca. 15% van de C in plantmateriaal, gemakkelijk afbreekbaar is. Dit betekent dat een overmaat aan C nodig is om het denitrificatieproces optimaal te laten verlopen.

De stikstofverwijdering (en daarmee de k -waarde) is temperatuurafhankelijk. Voor het berekenen van temperatuurafhankelijke N-verwijdering wordt de volgende formule gebruikt.

$$k_{aT} \equiv k_{a20} * \theta^{(T-20)}$$

θ temperatuurcoëfficiënt voor N-verlies
 T temperatuur

Voor de temperatuurcoëfficiënt θ voor nitraat-N verwijdering in wetlands wordt een waarde van 1,09 aangehouden (Kadlec & Knight, 1996; Crumpton, 2001). NB. De k_{aT} -waarde is sterk afhankelijk van de omstandigheden (is lager bij hoge hydraulische belasting, en hoger bij hoge nitraatbelasting en toenemende leeftijd van het systeem). Door Kadlec & Knight (1996) wordt een k_{a20} waarde van 0,096 m/dag (35 m/jaar) aangehouden voor volgroeide wetlands. De absolute hoeveelheid verwijderde N is tot een N-concentratie van 10-15 mg/L min of meer rechtevenredig met het logaritme van de N-concentratie (Kadlec, 2005). Daarboven wordt een plateau bereikt, vermoedelijk vanwege een beperkt koolstofaanbod.

Onder Nederlandse omstandigheden: Uitgaan van N-verwijdering van ca. 1500 kg/ha bij een N-concentratie van het oppervlaktewater van ca. 10 mg/l. NB: Bij hogere belasting en voldoende C kan in horizontale filters tot ca. 3500 kg/ha worden verwijdering (Clevering et al., 2007).

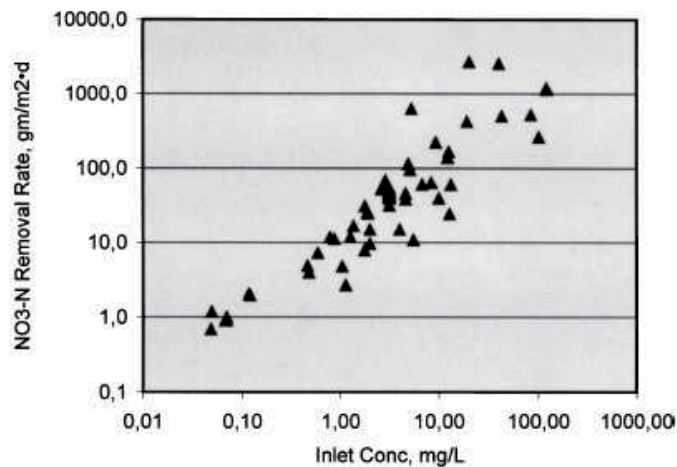


Figure 1: Nitrate removal rates in FWS treatment marshes as a function of inlet concentration. Each point represents the entire dataset for one wetland, typically spanning one to four years. Data are from project operating records and published papers.

Afhankelijk van ruimtebeslag (en influentconcentratie tot 10 mg/1 N):
 (NB: Bij de berekening is rekening gehouden met verschillen in hydraulische belasting tussen het winter- en zomerseizoen, er is altijd wateraanvoer; en lagere N-belasting door het uit de productie nemen van landbouwgrond).

Inkomend N:

1% ruimtebeslag	< 24% verwijdering (te geringe verblijftijd)
2% ruimtebeslag	38% verwijdering
3% ruimtebeslag	48% verwijdering
4% ruimtebeslag	55% verwijdering
5% ruimtebeslag	61% verwijdering

Duurzaamheid

Bij alle maatregelen die denitrificatie bevorderen ontstaat ook lachgas. Bovendien kan in zuiveringsmoerassen ook methaanproductie optreden, daartegenover staat CO₂-vastlegging in de vorm van biomassa. In hoeverre zuiveringsmoerassen klimaatneutraal zijn, hangt af van vele factoren, en bespreking hiervan valt buiten de opdracht van deze studie. Literatuuroverzichten worden o.a. gegeven door Brix *et al.* (2001) en Sovik *et al.* (2006).

Fosfaat

In het algemeen wordt er geen duidelijke relatie gevonden tussen de P-retentie en temperatuur (Kadlec, 1999; Tonderski et al., 2005; Liikanen et al., 2004; Reinhardt et al., 2005). Wel zijn er duidelijke seizoensverschillen, die samenhangen met verschillen in belasting. In de winter is de (piek)belasting vaak erg hoog. In de zomer ontstaat soms nalevering door een te lage hydraulische belasting (optreden anaerobie), lage P-belasting (nalevering vanuit het filter) of door droogvallen (mineralisatie van organisch gebonden-P) (Uusi-Kämpä et al., 1997; Fleischer et al., 1997; Braskerud, 2002; Kadlec, 1999; Liikanen (2004).

De maximale P-retentie is globaal:

- 1) 30 kg/ha in volgroeide onbeheerde moerassen;
- 2) 45 kg/ha door jaarlijks in september maaien van laagbelaste systemen;
- 3) 55 kg/ha door jaarlijks in september maaien van hoogbelaste systemen;
- 4) $70 = 60 + 10$ kg/ha door in september maaien en uitgraven (1x in zesjaar) van laagbelaste systemen;
- 5) $105 = 90 + 15$ kg/ha door in september maaien en uitgraven (1x in zesjaar) van hoogbelaste systemen.

Laagbelast (≤ 80 kg P/ha zuiveringsmoeras); hoogbelast (> 80 kg P/ha zuiveringsmoeras)
Maximale P-verwijdering in onbeheerde helofytenfilters is dus ca. 30 kg/ha; Tot 30 kg/ha: k_{at} -waarde van 12,1 m/jaar = 0,033 m/dag aanhouden (Kadlec & Knight, 1996). NB: Voor orthofosfaat is de verblijftijd limiterend, deze moet voor een substantiële verwijdering door biologische processen meer dan 7 dagen zijn. Naarmate er meer sedimentair P aanwezig is, neemt de effectiviteit van helofytenfilters toe. Gemiddeld genomen is het aandeel orthofosfaat ca. 67% van totaal-P.

Verder is gerekend met een achtergrondconcentratie van 0,02 mg/l P.

Dus voor onbeheerde helofytenfilters geldt maximaal 30 kg P/ha verwijdering:

1% ruimtebeslag	< 28% verwijdering (verblijftijd beperkend)
2% ruimtebeslag	39% verwijdering
3% ruimtebeslag	49% verwijdering
4% ruimtebeslag	57% verwijdering
5% ruimtebeslag	63% verwijdering

Uitgaande van 2% grondbeslag geldt bovenstaande voor een P-uitspoeling van ≤ 1 kg/ha landbouwgrond en voor een P-concentratie van het influent van $\leq 0,3$ mg/L.

Grondbeslag of efficiëntie hoger bij aanvullend beheer.

Berekening bij 2% grondbeslag: en bij verschillende P-belastingen uit landbouwgrond:

1) via formule:

$$C_{uit} = C_* + (C_{in} - C_*) * \text{Exp} \left[-k_{at} / HLR \right] \text{ en } RR = 3650 * (C_{in} - C_{uit}) * HLR$$

RR = removal rate

= max. 0.42 kg P/ha.

2) = maximaal 0.42 (1) + 0.21 kg/ha P of 70% van de belasting

3) = maximaal 0.42 (1) + 0.35 kg/ha P of 70% van de belasting

4) = maximaal 0.42 (1) + 0.56 kg/ha P of 70% van de belasting

5) = maximaal 0.42 (1) + 1.05 kg/ha P of 70% van de belasting

Hierbij nog optellen: de verminderde P-belasting door het uit de productie nemen van landbouwgrond.

Rendementen maximaal:

Tabel 3.2 (A) tussen 1 en 2 kg P/ha belasting uit landbouwgrond

belasting kg/ha	minimaal beheer %	sept. maaien %	baggeren + maaien %	ijzer %
1.0	39	60	72	72
1.1	40	59	72	72
1.2	37	55	72	72
1.3	34	50	72	72
1.4	32	47	72	72
1.5	30	44	67	72
1.6	28	50	72	72
1.7	27	47	72	72
1.8	25	45	72	72
1.9	24	43	72	72
2.0	23	41	72	72

Tabel 3.3 (B) tussen 1 en 10 kg P/ha landbouwgrond

belasting kg/ha	minimaal beheer %	sept. maaien %	baggeren + maaien %	ijzer %
1	39	60	72	72
2	23	41	72	72
3	16	28	51	72
4	13	21	39	72
5	10	17	31	72
6	9	15	27	72
7	8	13	23	72
8	7	12	20	72
9	7	11	18	72
10	6	10	17	72

Toevoeging van ijzer

Voorlopig uitgaan van ca. 70% verwijdering (ongeacht de belasting)

Te behalen concentraties

In principe kunnen de normen voor oppervlaktewater net worden behaald. In volwassen laagbelaste 'natuurlijke' wetlands liggen de achtergrondconcentraties voor opgelost N-organisch op ca. 1–2 mg/L, 's zomers kunnen nitraat-N concentraties tot nul dalen (Hammer & Knight, 1994; Kadlec, 2003). De achtergrondconcentratie voor P ligt voor natuurlijke wetlands tussen 0,01 – 0,05 mg/L P (Kadlec, 1999; Casey, e.a. 2001). De achtergrondconcentraties zijn sterk afhankelijk van atmosferische depositie, kortsluiting van waterstromingen en interne biochemische processen (Kadlec, 1999).

Naarmate er meer N en P organisch gebonden is, zal door interne processen in de zuiveringsmoerassen N en P vrijkomen. Vooral bij het zuiveren naar zeer lage concentraties, is het belangrijk rekening te houden met deze processen.

Duurzaamheid

Zoals aangegeven door Verhoeven *et al.* (2006) zouden bestaande natuurlijke moerassen niet als zuiveringsmoeras moeten worden gebruikt. Voor het zuiveren van oppervlaktewater zouden dan ook nieuwe moerassen moeten worden aangelegd. Voor de verwijdering van fosfaat is het tevens van belang dat de filters kunnen worden gesaneerd, dit om het risico van fosfaatlekken zoveel mogelijk te voorkomen.

Betrouwbaarheid berekeningen

De berekeningen zijn gebaseerd op vooral buitenlandse literatuurgegevens. Er zijn weinig gegevens over de zuivering van oppervlaktewater onder Nederlandse omstandigheden. In het buitenland zijn de N- en P-concentraties vaak lager dan in Nederland, maar is de piekbelasting (d.w.z. heviger regenval) van moerassen vaak hoger. De effectiviteit van 30-40% lijkt voor N een goede schatting te zijn. Absoluut gezien wordt in het buitenland vaak een maximale N verwijdering van 200 – 500 kg N/ha gevonden. Door Clevering *et al.* (2007) werd echter meer dan 1500 kg N/ha verwijdering gevonden.

De berekeningen voor P zijn minder goed onderbouwd dan voor N. Bij onbeheerde vloeivelden wordt uitgegaan van een maximale P-retentie van 30 kg P/ha. Dit is waarschijnlijk nog aan de hoge kant, vooral in oudere vloeivelden kan na initiële P-vastlegging in de loop van de tijd nalevering optreden. Wanneer nalevering gaat optreden hangt samen met de adsorptiecapaciteit van de bodem, maar ook met de P-vorm. Daarnaast kan in de loop van de tijd bij verdere afname van de P-uitspoeling uit landbouwgronden nalevering uit de vloeivelden plaatsvinden. De P-lekkende gronden zijn dan vervangen in P-lekkende vloeivelden.

In deze factsheet is op basis van expertkennis de effectiviteit van beheerde vloeivelden te schatten. Zowel het maaien in september (minder extreem) als zesjaarlijkse vernieuwen hebben tot doel om fosfaatverzadiging van de vloeivelden te voorkomen.

Het maaien kan gezien worden als een vorm van P-uitmijning. Door in september te maaien wordt ca. 15-25 kg P/ha met het gewas afgevoerd. Bovendien zal door het afvoeren van maaisel minder mineralisatie van gewasresten plaatsvinden. Het is de vraag of de vitaliteit van riet bij jaarlijks in september gaat afnemen. Immers ook de reallocatie van koolhydraten naar de wortelstokken zal lager zijn dan bij het maaien in de winter. Het maaien in september heeft tevens als nadeel dat vloeivelden minder goed kunnen worden gecombineerd met waterberging. Immers de stoppels van riet mogen niet langdurig onder water staan.

De beheervorm zesjaarlijks vernieuwen is een extreme vorm van beheer, waarbij getracht wordt om het vloeiveld in een jong stadium te houden, zodat de bodem nog voldoende P-bindingscapaciteit heeft. Met deze vorm van beheer is nog geen ervaring opgedaan.

Verwachte Reductie Factor op *(achter elke route invullen wat het verwachte reductiepercentage op de waterflux, de N- en de P-vracht is bij toepassing van de ingreep:*

Waterflux	N-vracht	P-vracht
-----------	----------	----------

- ondiepe sloot

Onderbouwing: *(hier kiezen uit een van onderstaande mogelijkheden)*

- (model)berekeningen

Kosten (hier aangeven de kosten van aanleg, onderhoud, afschrijving, opbrengstreductie, grondverlies per ha, per stuk, per m¹)

Berekenen kosten van helofytenfilters

Voor het berekenen van de kosten van helofytenfilters zijn de volgende zaken van belang:

- 1) De kosten van het uit de productie nemen van landbouwgrond;
- 2) De kosten van aanleg van de zuiveringssystemen;
- 3) De kosten van het beheer

De kosten van het uit de productie nemen van landbouwgrond

Wordt door het LEI berekend

De kosten van aanleg

De aanlegkosten van een helofytenfilter zijn €80.000/ha (STOWA rapporten 2001-09 en 2005-18, en gegevens R. Veeningen van Wetterskip Fryslân). De moerassystemen worden in 24 jaar afgeschreven.

De kosten van beheer

De beheerkosten worden geschat op €500/ha (arbeid boer) als niet wordt gemaaid en op €1700/ha (arbeid boer + loonwerk) als wel wordt gemaaid. NB: Voor het zuiveringsmoeras de Putten in Friesland, waarbij wordt uitgegaan van €1500/ha (data Johan Hager, Wetterskip Fryslân).

Holshoff & Boekhoff (2006) hebben berekend wat de kosten zijn van riet maaien, opslag en terugbrengen op percelen op de Waiboerhoeve. Berekend op hectarebasis riet komt dit op ca. €2355 per hectare riet bij opslag (30% loonwerk; 70% arbeid) en €1167 per hectare riet zonder opslag (54% loonwerk en 46% arbeid). De materiële kosten zijn verwaarloosbaar. Bij 70% effectief oppervlakte komt dit uit op resp. 1649 en 817 euro/ha rietmoeras. NB: Opslag van riet is niet nodig als dit wordt verhakseld, bijvoorbeeld met een maïshakselaar. Het is daarom reëel te veronderstellen dat de kosten tussen de 1649 en 817 €/ha liggen.

Het zesjaarlijks uitbaggeren en herinplant wordt geschat op € 14.000/ha, bestaande uit € 6.000/ha plantmateriaal (wordt gewonnen vanuit oude vegetatie), €4.000/ha (voor het uitgraven en laden van grond (DLG, 2006, SEP-code 21a 25-14) en € 4.000/ha (loonwerk) voor het uitrijden van ca. 1000 m³/ha bagger op landbouwpercelen = NB: Per hectare landbouwgrond komt dit op 20 m³/ha. Het volledige bedrag kan als loonwerk worden beschouwd.

Totale kosten bij 70% effectief oppervlak ca. €9.800/ha.

Referenties

- Braskerud BC (2002) Design considerations for increased sedimentation in small wetlands treating agricultural runoff. *Water Science and Technology* 45:77-85
- Brix H, Sorrell B K and Lorenzen B (2001). Are Phragmites-dominated wetlands a net source or net sink of greenhouse gases? *Aquatic Botany*. 2001, 69: 2 4, 313 324.
- Casey RE, Taylor MD, Klaine SJ (2001) Mechanisms of nutrient attenuation in a subsurface flow riparian wetland. *Journal of Environmental Quality*. 2001, 30: 5, 1732 1737; 21 ref.
- Clevering, O.A., Smit B, Aandekerck T, Wees N. van (2004). Mogelijkheden voor hergebruik en zuivering van uitgespoelde nutriënten. PPO-rapport 530133
- Crumpton WG (2001) Using wetlands for water quality improvement in agricultural watersheds; the importance of a watershed scale approach. *Wat. Sci. Tech.* 44:559-564
- DLG (2006) Overzicht standaard eenheidsprijzen. Prijspeil januari 2006.
- Fleischer S, Joelsson, A., Stibe, L. (1997) 15: The Potential Role of Ponds as Buffer Zones. In: Haycock NE, Burt, T.P., Goulding, K.W.T., Pinay, G (ed) *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*. The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones. September 1996. Quest Environmental, Hertfordshire, UK, pp 140-146
- Hammer DA, Knight RL (1994) Designing constructed wetlands for nitrogen removal. *Wat. Sci. Tech.* 29:15-27
- Hey DL, Kostel JA, Hurter AP, Kadlec RH (2005). Nutrient farming and traditional removal: An economic Comparison. Report 03-WSM-6CO. Publisher: WERF, Alexandria, VA en IWA Publishing, London, UK.
- Holshof G. & Boekhoff M (2006). Effect van uitrijden van rietmaaisel op onkruidruk en opbrengst maisland op jonge zeelei. *Praktijkrapport* 96.
- Kadlec RH (1999) The limits of phosphorus removal in wetlands. *Wetlands* 7:165-175
- Kadlec RH (2003) Pond and wetland treatment. *Water Science and Technology* 48 (5):1-8
- Kadlec RH, Knight RL (1996) *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton
- Liikanen A, Puustinen M, Koskiaho J, Vaisanen T, Martikainen P, Hartikainen H (2004) Phosphorus removal in a wetland constructed on former arable land. *Journal of Environmental Quality* 33:1124-1132
- Meer, R.W. van der, Schurink, W. (2001). Natuurvriendelijke oevers: naar een bloeiende toekomst of gaan we nat? Onderzoek naar de kosten van diverse natuurvriendelijke oevertypen. LEI rapport 4.01.07.
- Molenaar, K., Dekking, A.J.G., Jansma, J.E., Korthals, G.W., Spruijt-Verkerke J., Visser A.J. (2007). Kiekendief Regeling. Een regeling voor alternatief fourageergebied voor kiekendieven in het agrarisch gebied rond de Oostvaardersplassen. PPO 3250056500
- Reinhardt M, Gachter R, Wehrli B, Muller B (2005) Phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural drainage water. *Journal of Environmental Quality* 34:1251-1259
- Sovik A K, Augustin J, Heikkinen K, Huttunen J T, Necki J M, Karjalainen S M, Klove B, Liikanen A, Mander U, Puustinen M, Teiter S and Wachniew P (2006). Emission of the greenhouse gases nitrous oxide and methane from constructed wetlands in Europe. *Journal of Environmental Quality* 35, 2360-2373.
- Spruijt, J., Munneke, K., Hopster, G. Visser A. (2005). Grondslagen en vergoedingen akkerranden. SAN Faunarand en Natuurbraak. PPO 500206.
- Stowa 2001-09. Handboek zuiveringsmoerassen voor licht verontreinigd water.
- Stowa 2005-18. Waterharmonica

- Tonderski KS, Arheimer B, Pers CB (2005) Modeling the impact of potential wetlands on phosphorus retention in a Swedish catchment. *Ambio* 34:544-551
- Uusi-Kämppä T, E., Hartikainen, H., Ylärinta, T. (1997) 5: The interactions of buffer zones and phosphorus runoff. In: Haycock NE, Burt, T.P., Goulding, K.W.T., Pinay, G (ed) *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection. The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones. September 1996.* Quest Environmental, Hertfordshire, UK, pp 43-53
- Verhoeven J T A, Arheimer B, Yin C Q and Hefting M M (2006) Regional and global concerns over wetlands and water quality. *Trends Ecol. Evol.* 21, 96-103.
- Well, van E., Kloen, H. (2004). *Natuurvriendelijk slootbeheer Eindrapportage.* CLM Onderzoek en Advies BV, CLM 598-2004.