

Kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen voor bufferstroken in Nederland

Gert-Jan Noij
Wim Corré
Erwin van Boekel
Henk Oosterom
Jantine van Middelkoop
Wim van Dijk
Olga Clevering
Leo Renaud
Jan van Bakel

Alterra-rapport 1618, ISSN 1566-7197
Effectiveness of buffer strips publication series 6



Kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen voor bufferstroken in Nederland

Effectiveness of buffer strips publication series

1. Noij, Gert-Jan, 2006. Effectiveness of buffer strips in the Netherlands. Research plan.
2. Noij, Gert-Jan, 2007. Effectiveness of buffer strips in the Netherlands. International review report of the research project
3. Noij, Gert-Jan (ed), Marius Heinen, Piet Groenendijk et al., in prep. Effectiviteit van bufferstroken in Nederland. Tussenrapportage en aangepast projectplan, Alterra, Wageningen.
4. Bakel, Jan van, Harry Massop en Arie van Kekem, 2007. Locatiekeuze ten behoeve van het onderzoek naar bemestingvrije perceelsranden. Hydrologische en bodemkundige karakterisering van de proeflocaties. Alterra-rapport 1457, Wageningen.
5. Vink, Gerlinde, 2007. Effectiviteit van bufferstroken in Nederland. Chemische analyse van totaal N en P in oppervlaktewatermonsters. Beschrijving en onderbouwing van de methode.
6. Gert-Jan Noij 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. Alterra-rapport 1618. Wageningen.
7. Gert-Jan Noij, Marius Heinen, Piet Groenendijk en Hanneke Heesmans, 2008. Effectiveness of unfertilized buffer strips in the Netherlands. Mid-term report.

Kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen voor bufferstroken in Nederland

Effectiveness of buffer strips publication series 6

Gert-Jan Noij en Wim Corré¹ (red.)

Erwin van Boekel

Henk Oosterom

Jantine van Middelkoop²

Wim van Dijk³, Olga Clevering³

Leo Renaud

Jan van Bakel

¹ Plant Research International,

² Animal Sciences Group,

³ Praktijkonderzoek Plant en Omgeving

Alterra-rapport 1618

Alterra, Wageningen, 2008

REFERAAT

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.

De kosteneffectiviteit is vergeleken van maatregelen om de oppervlaktewaterbelasting met nutriënten vanuit de landbouw terug te dringen. Aanleiding is de discussie over de (kosten)effectiviteit van onbemeste bufferstroken in Nederland. Van deze maatregel zijn alleen de kosten berekend, omdat de effectiviteit van bufferstroken nog onbekend is. Om te kunnen concurreren met alternatieve maatregelen, moeten bufferstroken in staat zijn om de nutriëntenvracht met enige kilos N en/of enige tienden van kilos P per ha per jaar te reduceren, wat overeenkomt met 10 tot 20% van de oorspronkelijke vracht. Brongerichte maatregelen zijn noodzakelijk om toekomstige uitspoeling te voorkomen, maar geen kosteneffectief alternatief voor de oppervlaktewaterkwaliteit. In de akkerbouw zijn de uitzonderingen op deze regel het uitstellen van de toediening van dierlijke mest op kleigronden van herfst naar voorjaar, het verminderen van het gebruik van dierlijke mest en het uitmijnen van P. In de melkveehouderij is P uitmijnen onder bepaalde omstandigheden waarschijnlijk ook kosteneffectief. Toegespitste hydrologische maatregelen (vooral zandgronden) en zuiveringsystemen (vooral in hoogbelaste situaties) zijn kosteneffectievere alternatieven, maar moeten nader worden onderzocht.

Trefwoorden:

ISSN 1566-7197

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

© 2008 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 verveelvoudigd 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

Management summary	9
Uitgebreide samenvatting	13
1 Inleiding	25
1.1 Achtergrond	25
1.2 Doel	26
1.3 Leeswijzer	27
1.4 Aanpak	27
2 Kosteneffectiviteit	31
2.1 Definitie van kosteneffectiviteit	31
2.2 Alternatieve maatregelen	32
2.3 Kosteneffectiviteit van bufferstroken	41
3 Discussie	45
3.1 Kosteneffectiviteit en multifunctionaliteit	45
3.1.1 Kosten	45
3.1.2 Negatieve milieueffecten	46
3.1.3 Milieubaten	46
3.1.4 Landbouwkundige baten	47
3.1.5 Overige maatschappelijke baten	48
3.2 Maatwerk	48
3.3 Hardheid	49
3.4 Hydrologische maatregelen bij kwel	50
4 Conclusies	51
5 Methode	57
5.1 Keuze van bedrijfstypen en gewassen	57
5.2 Keuze van omstandigheden	58
5.3 Keuze van alternatieve maatregelen	61
5.3.1 Verlagen overschot	62
5.3.1.1 Akkerbouw	63
5.3.1.2 Melkveehouderij	65
5.3.2 Hydrologische maatregelen	70
5.3.3 Zuiveringsystemen	71
5.4 Modelaanpak	72
5.4.1 Brongerichte maatregelen en bufferstroken	75
5.4.1.1 Akkerbouw	76
5.4.1.2 Melkveehouderij	77
5.4.2 Hydrologische maatregelen	80
5.4.3 Opschalen naar bedrijfsniveau	82

6	Resultaten effectiviteit	83
6.1	Effect van ploteigenschappen	83
6.2	Brongerichte maatregelen akkerbouw	86
6.2.1	Afstemming uitspoelingmodel op bedrijfsmodel	86
6.2.2	Resultaten op perceelniveau	86
6.2.3	Resultaten op bedrijfsniveau (uitmijnen en bemestingseffect van bufferstroken)	90
6.3	Brongerichte maatregelen melkveebedrijven	94
6.3.1	Afstemming uitspoelingmodel op bedrijfsmodel voor grasland	94
6.3.2	Afstemming uitspoelingmodel op bedrijfsmodel voor maïs	95
6.3.3	Resultaten op perceelniveau: grasland	97
6.3.4	Resultaten op perceelniveau: maïs	98
6.3.5	Effectiviteit op bedrijfsniveau	98
6.4	Effectiviteit van hydrologische maatregelen per locatie	100
6.4.1	Woold, geohydrotype a	100
6.4.2	Beltrum, geohydrotype b	105
6.4.3	Loon op Zand, geohydrotype e	112
6.4.4	Lelystad, geohydrotype f, gedraineerd	116
6.4.5	Zegveld, geohydrotype d	120
6.5	Effectiviteit per hydrologische maatregel	124
6.5.1	Uitgangssituatie	124
6.5.2	Blokkeren maaiveldafvoer	128
6.5.3	Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage	133
6.5.4	Traditionele drainage met en zonder blokkeren maaiveldafvoer	136
6.5.5	Drainage stoppen met en zonder blokkeren maaiveldafvoer	141
6.5.6	Overzicht resultaten paragraaf 6.5	147
6.6	Effectiviteit van zuiveringsystemen	148
6.6.1	Hydraulische belasting	148
6.6.2	Belasting met nutriënten	148
6.6.3	Zuiveringsrendement stikstof	152
6.6.4	Zuiveringsrendement fosfaat	155
6.6.5	Discussie zuiveringsystemen	158
7	Kostenberekening	161
7.1	Kosten bufferstroken en brongerichte maatregelen akkerbouw	161
7.1.1	Representatieve bouwplannen	161
7.1.2	Kosten uit productie nemen landbouwgrond	161
7.1.3	Kosten aanleg en beheer van bufferstroken	165
7.1.4	Totale kosten bufferstroken en discussie	166
7.1.5	Kosten van brongerichte maatregelen op akkerbouwbedrijven: resultaten	167
7.1.6	Kosten van brongerichte maatregelen op akkerbouwbedrijven: discussie	171
7.2	Kosten bufferstroken en brongerichte maatregelen melkveehouderij	172
7.2.1	Scenario's bufferstroken	172
7.2.2	Scenario's uitmijnen op zand	178

7.2.3 Kosten bufferstroken en brongerichte maatregelen melkveehouderij: discussie	180
7.3 Kosten van hydrologische maatregelen	181
7.4 Kosten van zuiveringsystemen	182
7.4.1 Kosten van grondbeslag	182
7.4.2 Kosten van aanleg	182
7.4.3 Kosten van beheer	183
Referenties	185
 <i>Bijlagen</i>	
1: Resultaten brongerichte maatregelen	191
2: Resultaten melkveehouderij	205
3: Resultaten uitmijnen	221
4: Effectiviteit van hydrologische maatregelen per geohydrotype en per plot (separaat op te vragen)	227
5 Verklarende afkortingenlijst (uitklapbaar)	229

Management summary

The objective of this part of the Dutch buffer strips research project is to compare the cost effectiveness (CE) of unfertilized buffer strips with alternative measures to reduce nutriënt loads to surface waters in the Netherlands. Good agricultural practice is the reference scenario. Alternatives may be measures such as lower fertilizer rate, no grazing, water level changes, constructed wetland, etc. Special attention was paid to the prevention of losses from accumulated phosphorus in the soil.

The CE study is the third part of a larger integrated research project that also comprises field experiments (part 1) and model studies (part 2). The objective of these project parts 1 and 2 is to measure and model the effectiveness of unfertilized buffer strips in reducing nutriënt loads to surface water. Founded estimates for the effectiveness of buffer strips will not be available until the end of the integrated project (2010). By consequence the same holds for CE of unfertilized buffer strips. However, in this third project part we could already estimate the costs of unfertilized buffer strips, and we could estimate both costs and effectiveness of alternative measures by modeling. Therefore we are able to mutually compare the cost effectiveness of alternative measures, and we can estimate the necessary (minimum) effectiveness of buffer strips to be able to compete with the alternatives.

CE in € per kg N or P is calculated as the quotient of costs in € per ha per year and load reduction in kg N or P per ha per year for every measure. We restricted CE to the effects on surface water. Therefore measures that did not turn out cost-effective, may be useful for other environmental or societal goals, such as groundwater quality, gas emissions, biodiversity, landscape, stabilization of ditch banks to prevent dredging, etc.. On the other hand, measures that are taken for other goals can also contribute to better surface water quality.

We distinguished 5 classes of cost-effectiveness, <10, 10-20, 20-50, 50-200 and >200 € per kg N and 10 times as much for P (<100, .. , >2000 € per kg P). For the comparison with measures outside the agricultural sector we used estimates from another study on the CE of extra measures on communal waste water treatment plants, varying between 32-134 € per kg P-equivalent (1 kg P-equivalent = 1 kg P or 10 kg N). This CE interval varies between the classes 1 and 3, so it is more cost effective to apply extra measures on communal waste water plants than to apply measures with less favourable CE in classes 4 and 5.

Calculated CE was highly variable for most measures. This is caused both by the variation in costs of measures for the modeled farms and the variation in effectiveness of measures on differing plots (combinations of soil and hydrology). As we did calculations for 'only' 3 dairy and 4 arable model farms, and for 24 plots, this must still be considered an underestimation of the real variability of CE in the Netherlands. An important conclusion is therefore that for the sake of CE, measures should be tailor made, and not generic. Measures may both be suited for specific

farms for lower costs, and for specific soil and hydrological conditions for high effectiveness.

We distinguished four sorts of alternative measures, i.e. source measures for arable farms, source measures for dairy farms, hydrologic measures and water purification systems such as a constructed wetland or a so called wet buffer strip.

For dairy farms no cost-effective source measures were found. However, it would be useful to further look into P-mining as a possible measure for so called P-leaking soils (relatively wet sandy soils with high accumulated P). We only calculated effectiveness for a representative selection of sandy soils in the Netherlands, but we expect that P-mining will be more effective on P-leaking soils, especially on farms that have a small proportion of P-leaking soils in combination with soils of relatively low or moderate P status.

For arable farms some source measures are relatively cheap. Therefore they are cost-effective although their effectiveness is low. The best measure is to apply animal slurry in spring instead of fall on clay soils, and next reducing the rate of slurry application. For the reduction of P-loss, P-mining is necessary and cost-effective, if the original rotation can be maintained.

Although source measures appear not to be very effective in terms of load reduction, the other measures cannot replace them. Source measures are needed to control the nutrient status of the soil and to prevent the soil from becoming the future source of nutrient loads to the surface water. In conclusion, source measures are needed, but are not sufficient to prevent nutrient loads to surface waters, so additional measures are necessary.

Both hydrological measures and purification systems offer good prospects for cost-effective measures to reduce nutrient loads, but these measures will also have to be tailor made. In short:

- Blocking surface runoff on sandy soils contributes to lower nutrient loads, especially for P, and especially if these soils are not pipe drained.
- Conventional pipe drainage also contributes to lower P-loads but will cause higher N-loads on sandy soils. On clay soils N-loads will also drop, but most clay soils are already conventionally drained.
- Controlled deeper drainage is an interesting measure, especially for sandy soils, because it lowers P-loads without the increase in N-load that results from conventional drainage.
- (Cost-)effectiveness of constructed wetlands and wet buffer strips depends on:
 - costs of the ground needed for the system. We only calculated the effect of lower production on the balance of the agricultural farm and assumed no change in ownership;
 - management and maintenance of the system (minimal management, mowing reed in September, renewal every 6 years) especially determines effectiveness for P. For N the condition of sufficient decomposable carbon should be fulfilled;

- nutriënt load level of the system and connected ratio between purification system area and agricultural source area;
- priority for N or P;
- possible combination with other environmental and societal goals, such as water retention, biodiversity and landscape.

A constructed wetland is a measure of larger scale than the other measures, let us say a group of farms. This poses an interesting question to policy makers and farmers. How can manure regulations be applied to such a group of farms, while the system itself may be located on only one of them? How are these farms going to divide costs and benefits?

Buffer strips will only prove to be cost effective in comparison with alternative measures, if they are able to reduce N loads by several kilos and P loads by several tenths of kilos per ha per year. For both nutriënts this amounts to multiples of 5% of the original load. For arable farms on clay soils, the effectiveness of unfertilized buffer strips will have to be more than 20% of the original load, in other situations 10% may be sufficient. Hardly any costs of buffer strips have been calculated for less intensive dairy farms on clay and peat soils, so under these circumstances only the effectiveness of buffer strips is at stake.

We also calculated the so called fertilizer effect of buffer strips, the mere effect of the lower (area weighted) fertilizer rate of the whole field as a result of the unfertilized buffer strip. For this we used the same models as used for estimating the effect of alternative measures on nutriënt loads. The fertilizer effect of 5% buffer strip appears to be less than 2% of the original load in our calculations, by far insufficient for a good CE. For the sake of good CE unfertilized buffer strips will have to perform a substantial additional effect. The other research project parts 1 (field study) and 2 (model study) will have to provide the necessary evidence for additional, so called specific buffer strip effects (residence time effect and interception of runoff and interflow).

Uitgebreide samenvatting

Inleiding

In opdracht van LNV en VROM verricht Alterra sinds 2005 onderzoek naar de effectiviteit van onbemeste grasbufferstroken om uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater te verminderen. Het onderzoek bestaat uit: 1) veldexperimenten op 5 locaties, 2) modelonderzoek voor de opschaling van het veldonderzoek en 3) deze studie naar de kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen. Doel van onderdeel 3 is om de kosteneffectiviteit van onbemeste bufferstroken te vergelijken met de kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen om de belasting van het oppervlaktewater terug te dringen. Hoewel de effectiviteit van onbemeste grasbufferstroken dus nog moet worden vastgesteld in de eerste twee projectonderdelen (2005-2010), kunnen de kosten al wel vastgesteld worden (€ per ha per jaar). Daarmee kan worden berekend hoe effectief bufferstroken zouden moeten zijn in vergelijking met de alternatieve maatregelen. De effectiviteit wordt hierbij uitgedrukt in vrachtreductie, kg N of P per ha per jaar en de kosteneffectiviteit in € per kg N of P.

In het bufferstrokenonderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen drie (mogelijke) effecten.

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.

Alleen het eerste effect is in deze deelstudie 3 modelmatig gekwantificeerd, het tweede en derde effect zijn onderwerp van de projectonderdelen 1 en 2. De nulhypothese van het onderzoek als geheel is dat de effecten 2 en 3 niet bestaan onder Nederlandse omstandigheden. Als dat aan het eind van de studie wordt bevestigd, dan kan de kosteneffectiviteit op basis van het eerste effect worden gebruikt voor de vergelijking met alternatieve maatregelen.

In overleg met de opdrachtgevers is ervoor gekozen om op grasland beweidde grasbufferstroken te onderzoeken.

Keuze van alternatieve maatregelen

De keuze van perspectievolle alternatieve maatregelen is gebaseerd op een inventarisatie van eigenschappen van maatregelen in een database op basis van literatuurstudie, deskundigenoordeel en eerder verricht onderzoek. Er is onderscheid gemaakt in een reeks brongerichte maatregelen, hydrologische maatregelen en een

vloeienveld of moerasbufferstrook. Bij de brongerichte maatregelen is verder onderscheid gemaakt tussen melkveehouderij en akkerbouw. In de melkveehouderij zijn de maatregelen opstallen en uitmijnen¹ bij verschillende bedrijfsvarianten vergeleken met bufferstroken. In de akkerbouw zijn naast twee uitmijn varianten, aangescherpte gebruiksnormen, lagere bemesting en het effect van voorjaars-toediening van dierlijke mest op kleigrond doorgerekend. De hydrologische maatregelen waren blokkeren van maaiveldafvoer, drainage opheffen, conventionele drainage en verdiept aangelegde samengestelde drainage met peilregeling, in Nederland beter bekend als 'systeem van Iersel'.

Method

Om de effectiviteit van alternatieve maatregelen in te schatten is gebruik gemaakt van modelberekeningen en literatuurstudie. De kosten en vrachten na toepassing van de maatregel zijn steeds vergeleken met de kosten en vrachten in de uitgangssituatie. De berekende effectiviteit van maatregelen is voor het bedrijfsniveau geringer dan voor het perceelsniveau, omdat de doorgerekende maatregelen slechts betrekking hebben op een deel van het bedrijfsareaal. Bufferstroken beslaan 5-20% van het areaal, uitmijnen geldt voor 15-30%, en opstallen voor het volledige grasareaal (zand 70, klei 90 of veen 94%).

Er was geen geïntegreerd modelinstrument voor het bedrijfsniveau beschikbaar (STONE is hiervoor niet geschikt). De kosten van brongerichte maatregelen zijn vastgesteld door berekeningen met de bedrijfsmodellen BBPR (melkvee) en MEBOT (akkerbouw), en de kosten van hydrologische maatregelen, vloeienvelden en moerasbufferstroken zijn ingeschat door deskundigen. De bemesting, zoals berekend met dezelfde bedrijfsmodellen, is als invoer gebruikt voor het uitspoelingmodel ANIMO om de belasting van het oppervlaktewater te berekenen voor de brongerichte maatregelen. Een bepaalde combinatie van bedrijfsopzet en maatregel is steeds voor één afzonderlijke plot (bodem en hydrologie) doorgerekend, dit betekent dat uitsluitend voor homogene modelbedrijven is gerekend. Wel zijn vaak (niet altijd) meerdere plots doorgerekend voor één bepaalde combinatie van bedrijfsopzet en maatregel. Hierdoor kon het effect van bodem en hydrologie (ruimtelijke variatie) op de effectiviteit van maatregelen worden aangegeven. Het bemestingseffect van onbemeste grasbufferstroken is berekend door de vrachtreductie van onbemest grasland (in de buffer) ten opzichte van normaal bemest grasland (naast de buffer) areaalgewogen te middelen. Voor de vrachtreductie door grasbuffers naast maïs- en akkerbouwpercelen is de vrachtreductie van de meest gelijkende onbemeste grasplot genomen.

Als gevolg van conceptuele verschillen en verschillen in modelparameters waren verschillen in gewasafvoer en overschot tussen de bedrijfsmodellen en ANIMO onvermijdelijk. Deze verschillen zijn geanalyseerd en grotendeels verklaard, waardoor de gevolgen voor de uitspoeling konden worden aangegeven. Dit bleek een tijdrovende procedure.

SWAP is het gebruikte hydrologische model dat invoer genereert voor het uitspoelingmodel ANIMO. De hydrologische maatregelen zijn daarom eerst met

¹ Met uitmijnen wordt zonder P-bemesting een zo hoog mogelijke P-afvoer met het gewas nagestreefd

SWAP doorgerekend, en vervolgens is de hydrologische uitvoer als invoer voor ANIMO gebruikt om de effecten op de N- en P-vracht te berekenen. De effecten van vlocivelden en moerasbufferstroken zijn ingeschat op basis van literatuurstudie en de verwachte belastingsniveaus in de 5 regio's waar het veldonderzoek naar de effectiviteit van bufferstroken plaats vindt.

Aangezien deze modelstudie is uitgevoerd zonder toetsing achteraf aan empirische gegevens, moeten de resultaten als voorlopig worden beschouwd. Dat wil zeggen dat de resultaten wel gebruikt kunnen worden om perspectieven van maatregelen aan te geven en om prioriteiten aan te geven bij de keuze van maatregelen voor proefprojecten en onderzoek. De ongetoetste modelresultaten zijn echter niet hard genoeg om er in dit stadium al beleidsmaatregelen mee te onderbouwen, anders dan het stimuleren van vernieuwingen en proeven. Daarvoor zouden behalve toetsing aan empirische gegevens ook meer bedrijfssituaties en ruimtelijke variatie in de benadering moeten worden betrokken. Als het beleid kiest voor deze benadering van toepassing van getoetste modellen om optimale maatregelpakketten voor verschillende bodem-, water- en bedrijfssituaties te zoeken, dan verdient het aanbeveling om daarvoor een inhoudelijk consistent en efficiënt modelinstrumentarium te ontwikkelen op basis van de hier gebruikte modellen. De hier gebruikte koppeling op afstand is bijzonder bewerkelijk en tijdrovend gebleken, met het daaraan klevende risico van menselijke rekenfouten. Voordeel van een dergelijk instrument is bovendien dat studies beter kunnen worden toegespitst op specifieke regionale situaties of (deel)stroomgebieden.

Effect van bodem en hydrologie

De hoogte van de belasting van het oppervlaktewater wordt meestal sterker bepaald door de eigenschappen van bodem en hydrologie (plot), dan door de effecten van maatregelen. Het gevolg hiervan is dat de keuze van de juiste maatregel voor een bepaalde plek maatwerk is.

In de uitgangssituatie variëren de N- en P-vrachten² tussen de plots ongeveer van 10 – 50 kg N per ha per jaar en 0,5 – 5 kg P per ha per jaar (met één uitbijter van 17 kg P per ha per jaar). Plotverschillen worden vooral veroorzaakt door verschillen in achtergrondbelasting (kwel en mineralisatie). Vrachtreducties als gevolg van maatregelen zijn daarom meestal niet relatief (%), maar absoluut weergegeven (kg per ha per jaar).

Effectiviteit van brongerichte maatregelen

Brongerichte maatregelen hebben geen of nauwelijks effect op de fosfaatvracht naar het oppervlaktewater, omdat deze vracht meer bepaald wordt door de aanwezige fosfaatvoorraad in de bodem en door de hydrologie. Alleen met de brongerichte maatregel uitmijnen kan op langere termijn (orde 15 jaren) een significante reductie van de fosfaatvracht worden behaald (orde tien(tallen) %). De grootste P-vrachtreductie wordt bereikt met uitmijnen op graan (P-vrachtreductie 1 kg per ha uitmijnperceel per jaar = 0,3 kg per ha bedrijf per jaar), maar dit blijkt erg duur. De

² Ter vergelijking: bij volledige afvoer van een neerslagoverschot van 300 mm per jaar naar het oppervlaktewater komt de norm zonder retentie overeen met een N-vracht van 6,6 kg.ha⁻¹.j⁻¹. en een P-vracht van 0,45 kg.ha⁻¹.j⁻¹.

reductie door uitmijnen is groter naarmate de fosfaatvoorraad in de uitgangssituatie (1), de hoeveelheid fosfaat die wordt uitgemijnd en dus de uitmijnperiode (2) en het aandeel afvoer via oppervlakkige routes (3) groter is. Onze berekeningen gelden voor een uitmijnperiode van 15 jaren (2) en wij hebben gekozen voor een representatieve doorsnede door de Nederlandse zandgronden (1 en 3). Er is dus niet specifiek voor fosfaatlekkende gronden gerekend. Voor fosfaatlekkende gronden zal de P-vracht in de uitgangssituatie hoger zijn en daardoor ook het effect van uitmijnen. Als de fosfaatbemesting op de rest van het bedrijf door uitmijnen toeneemt, zoals bij het intensieve melkveebedrijf op zandgrond, dan wordt de P-vrachtreductie (0,25 kg per ha uitgemijnd gras per jaar) voor een deel gecompenseerd door toename van de uitspoeling op de andere percelen. De gunstigste situatie is die waar het verschil in fosfaattoestand tussen uitmijnperceel en de rest van het bedrijf het grootst is, en het aandeel fosfaatlekkende grond waar moet worden uitgemijnd het kleinst. Uitmijnen heeft ook een gunstig effect op de stikstofvracht van het betreffende perceel, en in de meeste gevallen werkt het voor N ook op bedrijfschaal gunstig door.

De geringe effecten van brongerichte maatregelen op de stikstofvracht hangen vooral samen met de hoogte van het gebruik van dierlijke mest en met de hoogte van het stikstofoverschot. De stikstofvracht naar het oppervlaktewater daalt wanneer minder dierlijke mest wordt gebruikt en wanneer het stikstofoverschot daalt. In de akkerbouw levert voorjaarstoediening van dierlijke mest op kleigrond de grootste bijdrage aan de stikstofvrachtreductie (3 kg per ha per jaar; bijna 20%), daarna komen 20% lagere bemesting (2 kg per ha per jaar) en stoppen met het gebruik van dierlijke mest (1 kg per ha per jaar). Het verlagen van de gebruiksnorm heeft een nog geringer effect, maar dat komt ook doordat de norm in de uitgangssituatie niet helemaal is opgevuld. In de melkveehouderij is de N-vrachtreductie van opstallen (summer-feeding) onderschat door een te lage N-afvoer van gemaaid gras in de uitspoelingsberekeningen. Er is alleen een substantiële daling van de N-vracht berekend bij volledig opstallen van het vee op gras op zandgrond (N-vrachtreductie 3 kg per ha gras per jaar = 2 kg N per ha bedrijf per jaar). Wij schatten de werkelijke vrachtreductie op bedrijfsniveau van volledig opstallen 2 (klei en veen) tot 3,5 kg N per ha per jaar (zandgrond).

Effectiviteit van bufferstroken

Er is vrijwel geen bemestingseffect van bufferstroken op de fosfaatvracht berekend. Dit is niet verwonderlijk want de fosfaatuitspoeling vanuit de bufferstrook wordt door de bodemvoorraad bepaald en die verandert pas na langere tijd. Op langere termijn zal de bodem in de bufferstrook uitgemijnd raken en is er ook een bemestingseffect op de fosfaatvracht te verwachten.

Het bemestingseffect van 5% bufferstroken op de stikstofvracht ligt op akkerbouwbedrijven in de orde van 0,5 kg N per ha per jaar, dat is ongeveer 2% van de totale stikstofvracht in de uitgangssituatie. Dit geringe percentage is het gevolg van een hoge achtergrondbelasting.

Het bemestingseffect van 5% (beweide) bufferstroken op de stikstofvracht op melkveebedrijven is klein (<0,25 kg N per ha per jaar, <2%). Het bemestingseffect van een onbeweide grasbufferstrook op zandgrond is voor stikstof meer dan tweemaal zo groot als bij een beweide buffer. Op bedrijfschaal levert het afvoeren

van de hoeveelheid dierlijke mest, die overeenkomt met de gebruiksnorm van het areaal bufferstroken, minder reductie op dan het stoppen met het beweiden van bufferstroken.

Effectiviteit van hydrologische maatregelen

De effectiviteit van hydrologische maatregelen is alleen voor het perceelsniveau berekend. Opschalen naar bedrijfsniveau heeft hier geen zin, omdat de effectiviteit en de kosten van de maatregel per ha niet veranderen. De hydrologische maatregelen zijn over het algemeen veel effectiever dan de brongerichte maatregelen, maar de effectiviteit hangt sterk samen met de Ausgangssituatie en is meestal verschillend voor N en P.

Het blokkeren van greppel- en maaiveldafvoer is op ongedraineerde zandgrond een effectieve maatregel met een reductie van de vracht in de orde van 1 kg P per ha per jaar (40%) en 2 kg N per ha per jaar (10%). Op gedraineerde zandgronden blijft daarvan nog een fosfaatvrachtreductie van dik 10% over. Op veengrond is blokkeren van maaiveldafvoer niet mogelijk en op kleigrond niet effectief.

Conventionele drainage werkt voor fosfaat op alle minerale gronden en soms ook op veengrond. Vrachtreducties bedragen op zand 1,3 kg P per ha per jaar (>60%) en op klei 0,6 kg P per ha per jaar (>50%). Op zandgrond leidt deze maatregel echter tot een sterke toename van de N-vracht (10 kg N per ha per jaar, 150 tot 250%). Op kleigrond neemt ook de N-vracht door drainage af (6 kg N per ha per jaar, 30-40%). Kleigronden zijn echter overwegend al gedraineerd.

Op veen zijn slechts twee plots doorerekend en lijken de effecten van conventionele drainage variabel, de grasplot met wegzijging levert een toename van de vrachten, op de bouwlandplot met maïs (komt weinig voor) neemt door conventionele drainage de stikstofafvoer enigszins, en de fosfaatafvoer flink af.

Verdiept aangelegde samengestelde drainage met peilregeling (van Ierselsysteem) werkt op zandgrond beter dan conventionele drainage, omdat de N-vracht veel minder toeneemt of zelfs vermindert. Gemiddeld over het jaar daalt door de toepassing van de peilregeling de grondwaterstand niet en de afvoerstroombaan wordt verlengd ten opzichte van conventionele drainage. De fosfaatvracht neemt in de modelberekeningen wel wat minder af dan bij conventioneel (gemiddeld 1 in plaats van 1,3 kg P per ha per jaar), omdat is gerekend met een vast peil op 60 cm – maaiveld en dat blijkt in sommige nattere perioden tot natschade te leiden. Dit kan in de praktijk eenvoudig worden verholpen want er is nog ruimte voor het verder optimaliseren van het peilbeheer van dit systeem met een nog gunstiger effect op de P-vracht. Op kleigrond werkt van Iersel minder goed dan conventionele drainage, omdat het peil te sterk is opgezet.

Stoppen met drainage levert een forse N-vrachtreductie op van soms meer dan 40 kg per ha per jaar, maar de P-vracht neemt sterk toe met soms meer dan 1 kg per ha per jaar.

Effectiviteit van zuiveringsystemen

Vloevelden en in iets mindere mate ook moerasbufferstroken zijn volgens de berekeningen effectief. De reductie van de P-vracht bedraagt 0,3-3,9 kg P per ha landbouwgrond per jaar (15-80%) en de N-vrachtreductie 2,2-19,7 kg N er ha per jaar (20-50%). De fosfaatvrachtreductie is het grootst wanneer de fosfaatbelasting vanuit de landbouw hoog is, en indien het zuiveringsstelsel intensief beheerd wordt (maaïen en vernieuwen). De fosfaatbelasting van het zuiveringsstelsel is mede afhankelijk van de gekozen verhouding tussen areaal zuiveringsstelsel en areaal landbouwgrond. Deze verhouding lag in onze berekeningen aan de ruimte kant (bruto 5% en netto 3,5%), en past daarom het beste bij relatief hoogbelast gebied (4 kg P per ha landbouwgrond per jaar).

Voor stikstof geldt dat er voldoende afbreekbaar koolstof in het stelsel aanwezig moet zijn voor de berekende vrachtreducties. Bij een onbeheerd stelsel is dat meestal wel het geval, maar als intensief beheerd wordt voor maximale fosfaatreductie, zou er een conflict kunnen ontstaan. Bij het ontwerp van een zuiveringsstelsel moet dus rekening gehouden worden met de limiterende nutriënt in het betrokken watersysteem, en met de belasting in de uitgangssituatie. Daarnaast speelt de N- en P-toestand in de bodem van het aan te leggen stelsel een rol (vastlegging of nalevering van N en P).

Kosten

De kosten van de brongerichte maatregelen zijn uitsluitend berekend voor een aantal modelbedrijven, 3 voor de melkveehouderij en 4 voor de akkerbouw. Het gevolg van deze benadering is dat er geen onzekerheidsmarges voor de kosten zijn aan te geven, terwijl er in de praktijk natuurlijk een enorme variatie in bedrijfsmanagement en – strategie bestaat. Sommige maatregelen kunnen afhankelijk daarvan beter of minder goed worden ingepast. Dat betekent dat ook aan de kostenkant maatwerk kan worden geleverd. De invoering van ‘summerfeeding’ (opstallen) op een melkveebedrijf is bijvoorbeeld voor de kwaliteit van het oppervlaktewater te kostbaar, maar als de boer toch al van plan is om dit te doen om andere redenen, dan is de vrachtreductie mooi meegenomen. Iets dergelijks geldt bijvoorbeeld ook voor het afvoeren van gewasresten in de akkerbouw. Als de kosten daarvan zouden worden toegerekend aan het oppervlaktewater is het veel te duur, maar mocht de akkerbouwer willen inspelen op de behoefte aan biomassa dan is er misschien meer mogelijk.

Er zijn nauwelijks kosten van bufferstroken berekend voor de melkveebedrijven op klei- en veengrond. De beide modelbedrijven op deze grondsoorten zijn minder intensief dan op zandgrond waardoor deze bedrijven nog enige ruimte hebben de intensivering in het graslandgebruik op te vangen. De geringe toename van de aankoop van ruwvoer wordt gecompenseerd door minder kunstmestaankoop (klei) of krachtvoer (veen) en kleine veranderingen in het gebruik van loonwerk.

De brongerichte maatregelen in de akkerbouw, die overigens slechts tot een geringe reductie van de vrachten leiden liggen, kosten 0-100 € per ha per jaar. Voor melkveebedrijven zijn de brongerichte maatregelen duurder. Alleen uitmijnen op een beperkt areaal komt in de buurt van andere maatregelen. Hier hebben we te maken

met een soort van drempelwaarde, die al dan niet wordt overschreden. Zodra het vee in verband met de maatregel moet worden opgesteld schieten de kosten omhoog.

De hydrologische maatregelen blokkeren van maaiveldafvoer en conventionele drainage zijn alleszins betaalbaar, bovendien heeft conventionele drainage agronomische voordelen die niet in de kostenberekening zijn meegenomen. Dit laatste geldt ook voor systeem van Iersel, maar de kosten van dit systeem zijn nog onzeker omdat er weinig ervaring is met de onderhoudsbehoefte. Als dat blijkt mee te vallen is het niet veel duurder dan conventionele drainage, maar anders wel. Het komt erop neer dat nader onderzoek moet uitwijzen onder welke omstandigheden het systeem ook op langere termijn wel en niet goed functioneert.

Zuiveringsystemen zijn weliswaar duur, maar ook effectief, zie verderop onder kosteneffectiviteit.

In tabel S1 zijn de maatregelen geordend naar kosten in volgorde van goedkoop naar duur.

Tabel S1: rangordening kosten van maatregelen

Sector	Rangorde		ZANDGRONDEN	Akkerbouw alleen KLEI, melkvee ook VEEN
	Nr.	€·ha ⁻¹ ·j ⁻¹		
Brongericht Akkerbouw	1	0-50	Gebruiksnorm-20% Uitmijnen in rotatie Bufferstroken	Mest in voorjaar Gebruiksnorm-20% P-overschot 0
	2	50-100	P-overschot 0 Geen dierlijke mest	Geen dierlijke mest Bufferstroken
Brongericht Melkvee	1	0-50	Bufferstroken	Bufferstroken
	2	50-100		
	3	100-200	Uitmijnen gras of maïs	
	4	200-400	Summerfeeding	
	5	>400	Uitmijnen met summerfeeding	
Hydrologische maatregelen & Zuiveringssystemen	1	0-50	Stoppen drainage (excl. opbrengsterving!)	
	2	50-100	Blokken maaiveld	
	3	100-200	Conventionele drainage, Moerasbufferstroken minimaal beheer	
	4	200-400	Van Iersel verdiept, Vloevelden, Moerasbufferstroken met maaien in september	
	5	>400	Moerasbufferstroken met zesjaarlijkse vernieuwing	

Kosteneffectiviteit

De kosteneffectiviteit in € per kg N of P is berekend als het quotiënt van kosten in € per ha per jaar van de maatregel en de vrachtreductie in kg N of P per ha per jaar bij toepassing van de maatregel. De variatie in kosteneffectiviteit is het gevolg van de variatie in effectiviteit tussen de doorgerkende plots en de variatie in kosten tussen de modelbedrijven. Door maatwerk kunnen de kosten beperkt worden en de effectiviteit worden vergroot. De rangorde in tabel S2 is gebaseerd op de gemiddelde kosteneffectiviteit tussen plots. De kosteneffectiviteit van de maatregelen is verschillend voor N en P, omdat de effectiviteit dat ook is.

De berekende kosteneffectiviteit is beperkt tot het oppervlaktewater. Het nut van een maatregel voor andere milieuthema's of maatschappelijke doelen is er dus niet bij betrokken (kwaliteit van het grondwater, emissiebeperking van gassen, vergroten van de biodiversiteit, aantrekkelijk landschap, stabiliseren van taluds, etc.). Maatregelen die in deze benadering niet kosteneffectief blijken, kunnen daarom toch zinvolle maatregelen zijn. Wanneer deze (veelal brongerichte) maatregelen om andere redenen worden genomen kunnen zij toch een (veelal beperkte) bijdrage leveren aan de kwaliteit van het oppervlaktewater. Ter vergelijking, de kosteneffectiviteit van maatregelen voor extra nutriëntenvrachtreductie bij rioolwaterzuiveringinstallaties varieert tussen de rangordes 1 en 3 in tabel S2.

Voor de melkveehouderij zijn geen kosteneffectieve brongerichte maatregelen gevonden. Hoewel de stikstofvrachtreductie door het opstallen van vee in de modelberekeningen is onderschat, zal correctie hiervan weinig veranderen aan deze conclusie, omdat het opstallen van vee speciaal voor de kwaliteit van het oppervlaktewater een erg dure maatregel is. Voor uitmijnen zou nog wel verder gezocht kunnen worden naar omstandigheden met een hogere kosteneffectiviteit. Met name in situaties waar een klein deel van het bedrijfsareaal sterk fosfaatverzadigd is en het grootste deel van het areaal een beperkte fosfaattoestand heeft zal de kosteneffectiviteit van de maatregel groter zijn dan hier berekend.

Ondanks de beperkte effectiviteit van brongerichte maatregelen, blijken in de akkerbouw door de beperkte kosten toch nog een aantal maatregelen kosteneffectief. In de akkerbouw is van de brongerichte maatregelen dierlijke mest toedienen in het voorjaar op kleigronden het meest interessant, omdat het een behoorlijke stikstofvrachtreductie oplevert. Ook het reduceren van de gebruiksnorm is niet zo duur en levert enige stikstofvrachtreductie op. Daarnaast kan het fosfaatoverschot zonder kosten worden teruggebracht door het beperken van de kunstmestgift, maar dit zal niet leiden tot minder fosfaatuitspoeling. De enige kosteneffectieve maatregel waarmee de fosfaatvracht kan worden teruggedrongen is uitmijnen in rotatie. Uitmijnen met graan is weliswaar effectiever, maar ook veel duurder.

Tabel S2: rangordening kosteneffectiviteit van maatregelen.

Rangordes 1 en 2 zijn qua kosteneffectiviteit vergelijkbaar met extra maatregelen bij rioolwaterzuiveringinstallaties

Sector	Rangorde			ZANDGRONDEN		Akkerbouw alleen KLEI, melkvee ook VEEN	
	Nr.	€/kg N	€/kg P	N	P	N	P
Brongericht Akkerbouw	1	<10	<100	Gebruiksnorm -20%	Uitmijnen in rotatie	Mest in voorjaar Pover0	Geen reductie
	2	10-20	100-200			Gebruiksnorm -20%	
	3	20-50	200-500	P-overschot 0	P-overschot 0	Geen Dierlijke Mest	Geen reductie
	4	50-200	500-2000	P-overschot 0 Uitmijnen	P-overschot 0 Uitmijnen graan		Geen reductie
Brongericht Melkvee	4	50-200	500-2000	Summerfeeding Uitmijnen gras	Uitmijnen maïs	Geen reductie	Geen reductie
	5	>200	>2000	Uitmijnen & SF Uitmijnen maïs	Uitmijnen maïs Uitmijnen gras	Geen reductie	Summerfeeding
Hydrologische maatregelen	1	<10	<100	Stoppen drainage			Drainage Veen
	2	10-20	100-200	Diepe drainage met peilregeling	Blokken maaiveld Drainage Diepe drainage met peilregeling		
	3	20-50	200-500	Blokken maaiveld Diepe drainage met peilregeling		Blokken maaiv. (klei) Drainage(klei/veen) Diepe drainage met peilregeling (klei)	
	4	50-200	500-2000	Diepe drainage met peilregeling		Blokken maaiv. (klei) Diepe drainage met peilregeling (klei)	
	5	>200	>2000			Blokken maaiv. (klei)	
Zuivering-systemen				LAAGBELAST		HOOGBELAST	
	2	10-20	100-200			Vloelvelden	Vloelvelden september maaien of elke 6 jaar vernieuwen Moerasbufferstroken elke 6 jaar vernieuwen
	3	20-50	200-500	Vloelvelden	Vloelvelden Moerasbufferstroken september maaien of elke 6 j. vernieuwen	Moerasbufferstroken	Vloelvelden onbeheerd Moerasbufferstroken september maaien
	4	50-200	500-2000	Moerasbufferstroken			

Hoewel hydrologische maatregelen of zuiveringsystemen kosteneffectiever blijken voor het oppervlaktewater dan de brongerichte maatregelen, kunnen zij nooit dienen als vervanging voor generiek brongericht beleid. Ook voor het oppervlaktewater geldt dat het geen zin heeft om te dweilen (aanvullende maatregelen) met de kraan open (zonder brongerichte maatregelen). Daarnaast geldt dat het brongerichte beleid meer doelen dient dan het oppervlaktewater, sterker nog, het is juist niet primair voor het oppervlaktewater ontwikkeld. Het is daarom beter om te concluderen dat de brongerichte maatregelen onvoldoende zijn om het oppervlaktewater te beschermen en dat aanvullende maatregelen nodig zijn.

Zuiveringsystemen zoals vloeivelden en moerasbufferstroken kunnen kosteneffectief zijn voor het bereiken van een goede waterkwaliteit. Daarnaast bieden deze systemen mogelijkheden voor meekoppeling met andere doelen zoals waterberging, biodiversiteit en landschap. Uiteraard hangt de berekende kosteneffectiviteit af van een reeks gekozen uitgangspunten. Belangrijk zijn bijvoorbeeld de manier waarop de kosten van de grond zijn meegerekend, het gekozen beheer en onderhoud, het belastingsniveau van de zuiveringsystemen, de daarmee samenhangende verhouding tussen areaal zuiveringsstelsel en landbouwgrond, en de prioriteit van stikstof of fosfaat. De belangrijkste conclusie is daarom dat deze systemen kennelijk perspectief bieden en dat per situatie zal moeten worden vastgesteld wat het beste ontwerp is in termen van dimensionering, belasting, en onderhoud. Daarnaast zullen beleid en praktijk initiatieven moeten ontwikkelen rondom deze optie, omdat zij een benadering vragen die de bedrijfsschaal overstijgt. Hoe gaan we het mestbeleid regelen voor een groep boeren die voor een zuiveringsstelsel kiezen? Hoe gaat die groep boeren onderling de kosten en baten verdelen? Kortom werk aan de winkel!

Ook de hydrologische maatregelen bieden veel perspectief op kosteneffectieve reductie van nutriëntenvrachten naar het oppervlaktewater, maar ook hier geldt weer dat maatwerk vereist is. Hydrologische maatregelen kunnen soms zelfs tot ongewenste effecten leiden zoals bijvoorbeeld een toename van de stikstofvracht in het geval van toepassing van conventionele drainage op zandgronden. In het kort:

- Blokkeren van maaiveldafvoer levert vooral een bijdrage aan de reductie van de fosfaatvracht op zandgronden. Het is goedkoop en goed door de boer zelf uit te voeren, maar druist misschien in tegen de intuïtie van de boer dat het water zo snel mogelijk van het land moet.
- Conventionele drainage levert vooral een bijdrage aan de reductie van de fosfaatvracht op zandgronden, maar daar staat een sterke toename van de stikstofvracht tegenover. Op kleigronden neemt bij deze maatregel ook de stikstofvracht af, maar kleigronden zijn meestal al gedraineerd. Het stoppen van drainage heeft het omgekeerde effect.
- Verdiept aangelegde samengestelde drainage met peilregeling ('systeem van Iersel') is vooral een interessante maatregel voor zandgronden, omdat bij dit systeem naast de fosfaatvracht ook de stikstofvracht naar het oppervlaktewater kan afnemen. In de praktijk zou het systeem nog gunstiger kunnen uitwerken dan in de modelberekeningen omdat het peil aan de (weers)omstandigheden kan worden aangepast en omdat de landbouwkundige voordelen van verbeterde ontwatering en vochtvoorziening niet in de berekeningen zijn betrokken. Daar staat tegenover

dat de onderhoudskosten en het technisch functioneren van het voor Nederland nieuwe systeem op langere termijn nog onzeker zijn.

De kosteneffectiviteit van bufferstroken kan pas worden berekend als het experimenteel en modelmatig onderzoek naar de effectiviteit is afgerond. In dit onderdeel van het bufferstrokenonderzoek naar de kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen zijn alleen de kosten en het zogenaamde bemestingseffect van bufferstroken berekend. Dit bemestingseffect is het gevolg van de (areaal gewogen) geringere bemesting op het perceel door het invoeren van een onbemeste bufferstrook. Daarnaast wordt gesproken over een specifiek effect van bufferstroken dat het gevolg is van de plaatsing naast de sloot.

Op zandgronden komt de kosteneffectiviteit van het bemestingseffect van bufferstroken uit in de 4^e klasse van tabel S2 (50-200 € per kg N of 500-2000 € per kg P per jaar). Dit betekent dat er naast het berekende bemestingseffect van bufferstroken sprake moet zijn van een aanzienlijk specifiek aanvullend bufferstrokeneffect, voordat bufferstroken kunnen concurreren met de alternatieve maatregelen in de klassen 1-3. De vrachtreducties moeten daarvoor voor stikstof komen te liggen in de orde van kilo's en voor fosfaat tienden van kilo's per ha per jaar, in beide gevallen een veelvoud van 5% van de oorspronkelijke vracht. Aangezien voor bufferstroken op klei- en veengronden nauwelijks kosten zijn berekend, is alleen de effectiviteit van bufferstroken hier relevant (zie boven).

Tabel S3: benodigde N- of P-vrachtreductie (kg per ha per jaar) door onbemeste bufferstroken (areaalfractie zand en klei 5%, veen 10%) voor een kosteneffectiviteit die kan concurreren met alternatieve maatregelen (rangorde 1 of 2 uit tabel S2).

Situatie	Kosten	N-vracht referentie	Rangorde kosten- effectiviteit € per kg N		P-vracht referentie	Rangorde kosteneffectiviteit € per kg P	
			< 10	10 – 20		< 100	100 – 200
	€/ha ⁻¹ .j ⁻¹	kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹	N-vrachtreductie (kg per ha per jaar)			P-vrachtreductie (kg per ha per jaar)	
Akkerbouw							
CZK	135	19,5	> 13,5	6,25 – 13,5	0,69	> 1,35	0,68 – 1,35
ZWK	41	15,7	> 4,1	2,05 – 4,1	0,32	> 0,41	0,21 – 0,41
ZON	40	28,4	> 4,0	2,0 – 4,0	4,22	> 0,40	0,20 – 0,40
NON	22	29,1	> 2,2	1,1 – 2,2	1,64	> 0,22	0,11 – 0,22
Melkvee							
Klei	0	15,7	0	0	7,90	0	0
Zand	12	19,1	> 1,2	0,6 – 1,2	1,42	> 0,12	0,06 – 0,12
Veen	0	6,1	0	0	1,30	0	0

In tabel S3 wordt aangegeven hoe groot de totale effectiviteit van bufferstroken moet zijn om te kunnen concurreren met de alternatieven. Voor de akkerbouw op kleigronden is een forse effectiviteit groter dan 20% nodig, in de overig situaties lijkt 10% reductie voldoende. Dit is altijd nog meer dan het gevonden bemestingseffect van bufferstroken van maximaal ongeveer 2% bij 5% areaalfractie. Het specifieke effect van bufferstroken zal dus aanzienlijk moeten zijn om van bufferstroken een interessante maatregel te maken. Voor de kleigronden mag niet veel specifiek effect worden verwacht omdat daar meestal drainage aanwezig is. Voor melkveehouderij op klei en veen zijn de berekende kosten van (beweide) bufferstroken zo laag dat de

kosteneffectiviteit al bij een relatief geringe effectiviteit ($0,1 \text{ kg P}$ en $1 \text{ kg N.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$, ongeveer 5-10% vrachtreductie) vergelijkbaar is met de alternatieven. Voor een substantiële daling van de vracht zal de effectiviteit van bufferstroken echter ook hier hoger moeten zijn dan het bemestingseffect.

Het lopende veld- en modelonderzoek naar de effectiviteit van bufferstroken zal moeten aantonen of de noodzakelijke effectiviteit onder Nederlandse omstandigheden haalbaar is.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In Nederland voert de rijksoverheid in het kader van de meststoffenwet beleid om de uitspoeling van nutriënten uit landbouwgronden te reguleren zodat de ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater wordt beschermd en zonodig wordt verbeterd. De invoering van de Kaderrichtlijn Water kan nog tot aanvulling leiden van het beleid ten aanzien van de kwaliteit van oppervlaktewater.

De Europese Commissie beschouwt bemestingsvrije perceelsranden of bufferstroken als een effectieve maatregel om de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten vanuit aangrenzende percelen te verminderen. Het Europese beleid is gericht op aanleg van bufferstroken met een breedte van tenminste vijf meter langs alle waterlopen. In Nederland wordt de effectiviteit van deze maatregel betwijfeld vanwege de afwijkende geohydrologie in onze delta met vlakke, diep doorlatende of gedraineerde bodems. Het aandeel oppervlakkige afvoer is in Nederland geringer dan op bodems met helling of slecht doorlatende ondergrond die vaker voorkomen buiten Nederland. De effectiviteit van bufferstroken hangt sterk samen met het aandeel oppervlakkige afvoer (Mayer et al., 2007; Dorioz et al., 2007). Bovendien is de invoering van bufferstroken in Nederland erg duur door de grote dichtheid van waterlopen. Deze twee redenen zijn aanleiding geweest tot de vraag of voor Nederland de invoering van bufferstroken wel een kosteneffectieve maatregel is voor verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Mogelijk zijn alternatieve maatregelen effectiever en/of goedkoper.

Om de effectiviteit van bufferstroken te kunnen bepalen is in oktober 2005 door Alterra op een vijftal representatieve locaties in Nederland experimenteel onderzoek opgestart (onderdeel 1 veldonderzoek), dat vervolgens modelmatig zal worden opgeschaald (onderdeel 2 modelstudie). In dit derde onderdeel van het onderzoeksproject wordt de kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen modelmatig onderzocht om aan te kunnen geven of de invoering van bufferstroken, dan wel de invoering van een andere maatregel de beste manier is om de waterkwaliteit naar het gewenste niveau te brengen. Dit rapport doet verslag van het onderzoek naar de kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen. Omdat de effectiviteit van bufferstroken nog niet bekend is³ zijn alleen de kosten van bufferstroken in deze studie gekwantificeerd. Daarmee is het mogelijk aan te geven hoe effectief bufferstroken moeten zijn om te kunnen ‘concurreren’ met de alternatieve maatregelen.

³ Alleen het zogenaamde bemestingseffect van onbemeste bufferstroken is modelmatig ingeschat. Dit is het gevolg van de afgenomen oppervlakte gewogen bemesting (5% bufferstrook = -5% bemesting)

Het experimentele onderzoek levert de eerste voorlopige resultaten op in 2008 en zal samen met de modelstudie voor opschaling afgerond worden in 2010. Op dit moment zijn van het lopende veldonderzoek alleen nog metingen van de eerste twee uitspoelingseizoenen beschikbaar. Deze resultaten zeggen nog te weinig over de effectiviteit van de aangelegde bufferstroken, enerzijds omdat het grondwater van vóór de aangelegde behandeling nog niet volledig is uitgespoeld, anderzijds omdat de metingen van de nutriëntenvracht ruimtelijk heel variabel blijken (Noij et al., 2008). Daarom is besloten de kosteneffectiviteitsstudie in te brengen in de evaluatie van het Mestbeleid en de voorbereiding van het 4^e actieprogramma van de EU-nitraatrichtlijn.

De resultaten van dit onderzoek kunnen in het overleg tussen Nederland en de Europese Commissie worden gebruikt om te bepalen of bufferstroken ook in Nederland moeten worden toegepast, of dat het gewenste resultaat ten aanzien van de waterkwaliteit beter op een andere manier bereikt kan worden. Hierbij moet worden bedacht dat de inschatting van de kosten van bufferstroken en alternatieve maatregelen, en de effectiviteit van alternatieve maatregelen in deze studie uitsluitend is gebaseerd op modelonderzoek en literatuuronderzoek.

Fosfaatlekkende gronden leveren een disproportionele bijdrage aan de belasting van het oppervlaktewater en om die reden staan maatregelen voor die gronden extra in de belangstelling. Fosfaatlekkende gronden zijn ontstaan door een specifieke combinatie van verzadiging van de bovengrond door jarenlange zware overbemesting met dierlijke mest en een hoge grondwaterstand, waardoor in eerste instantie vastgelegd fosfaat gemakkelijk oplost en uitspoelt. Voor deze gronden is niet te verwachten dat het generieke beleid van evenwichtbemesting op korte termijn tot een vermindering van de uitspoeling zal leiden en zijn aanvullende maatregelen nodig. Parallel aan dit onderzoek is op analoge wijze de mogelijke bijdrage aan een verbeterde waterkwaliteit van een aantal specifieke maatregelen voor fosfaatlekkende gronden onderzocht (Corré et al., in voorb.). De meest relevante resultaten van dat onderzoek worden meegenomen in dit onderzoek.

1.2 Doel

Doel van het bufferstrokenonderzoek als geheel is driedelig. Ten eerste het experimenteel vaststellen van de effectiviteit in termen van vrachtreductie voor een aantal (5) relevante situaties in Nederland. Ten tweede het bepalen van de variabiliteit van die effectiviteit met het oog op opschaling en ten derde het vast stellen van de kosteneffectiviteit van bufferstroken in vergelijking met andere maatregelen om de belasting van het oppervlaktewater terug te dringen. Dit rapport geeft gedeeltelijke invulling aan dit derde doel, namelijk het modelmatig inschatten van de kosteneffectiviteit van alternatieve maatregelen en de kosten van bufferstroken. Deze inschatting is beperkt tot modelberekeningen en literatuuronderzoek. Daaruit kan worden afgeleid vanaf welke effectiviteit het aanleggen van bufferstroken aantrekkelijk zou kunnen zijn. Omgekeerd kan eruit worden afgeleid welke alternatieven onder bepaalde omstandigheden gunstiger zouden kunnen zijn dan bufferstroken.

In het kader van het mestbeleid wordt veelal gesproken over aanvullende maatregelen of effectgerichte maatregelen, voor het onderscheid met de brongerichte maatregelen die zijn gericht op verlaging van het mineralenoverschot. De effectiviteitsberekeningen van de aanvullende maatregelen in dit rapport moeten gezien worden als voorlopige schattingen, omdat het modelinstrumentarium in de huidige vorm nog niet toegespitst is op aanvullende maatregelen, en omdat er veel minder experimentele gegevens beschikbaar zijn over aanvullende maatregelen voor validatie van de modellen. Voor de onderbouwing van het beleid verdient het daarom aanbeveling perspectievolle maatregelen, net als bufferstroken, ook experimenteel te onderzoeken. Met de voorlopige schattingen van de kosteneffectiviteit uit deze studie kunnen prioriteiten worden gesteld bij de selectie van maatregelen voor (duur) experimenteel onderzoek.

1.3 Leeswijzer

Het rapport dat voor u ligt bestaat grofweg uit twee gedeelten. Het eerste deel tot en met hoofdstuk 4 is onafhankelijk leesbaar zonder diep in te gaan op de methodiek van de modelberekeningen, maar bevat wel de hoofdlijn van de aanpak, de resultaten van de kosteneffectiviteitsberekeningen van de verschillende maatregelen, en ten slotte discussie en conclusies. Het tweede deel van hoofdstuk 5 tot en met 7 kan worden gezien als de verantwoording van de berekende kosten en effectiviteit, waarmee in hoofdstuk 2 de kosteneffectiviteit is berekend. Hoofdstuk 5 gaat in meer detail in op de methode van de modelberekeningen, hoofdstuk 6 beschrijft de resultaten van de effectiviteit en hoofdstuk 7 beschrijft de resultaten voor de kosten. Tenslotte wijzen wij u op de uitklapbare verklarende afkortingenlijst, bijlage 5 helemaal achterin het rapport.

1.4 Aanpak

Voor de modelberekeningen heeft in hoofdstuk 5 eerst een gerichte selectie plaats gevonden van op elkaar afgestemde omstandigheden (bodem, hydrologie), bedrijfstypen (melkveehouderij en akkerbouw), gewassen (gras, maïs, rotaties) en (brongerichte en aanvullende) maatregelen. Rekening houdend met de regionale verspreiding zijn 24 combinaties van bodem, hydrologie en gewas (zogenaamde plots) doorgerekend in combinatie met 7 representatieve modelbedrijven (3 melkveebedrijven voor zand-, klei-, en veengebieden en 4 akkerbouwbedrijven voor zuidelijk zandgebied, noordoostelijk zandgebied, centrale zeekleigebied en zuidwestelijk zeekleigebied). Modelbedrijven zijn homogeen verondersteld en bestaan dus steeds maar uit één plot tegelijk. Wel zijn voor bepaalde bedrijven en maatregelen meestal meerdere plots doorgerekend.

Voor de keuze van maatregelen in hoofdstuk 5 is gebruik gemaakt van de inventarisatie van (ca. 75) maatregelen in een database (Van Os et al., in voorb.) in het kader van het project 'fosfaatlekkende gronden'. Hierin is op basis van bestaande kennis en deskundigenoordeel een beschrijving van onder andere de effectiviteit en

kosten van maatregelen gegeven. De meest perspectiefvolle maatregelen zijn in het zelfde kader al door Corré et al. (in voorb.) doorgerekend op effectiviteit en kosten voor 15 zandgronden. De resultaten hiervan worden in deze studie meegenomen, maar zijn nu uitgebreid met stikstof en met andere omstandigheden, bedrijfstypen en gewassen. Het betreft een aantal maatregelen om het overschot te verlagen, zoals minder bemesting, minder gebruik van dierlijke mest, opstallen en uitmijnen, een aantal hydrologische maatregelen, zoals het blokkeren van oppervlakkige afvoer, drainage en verdiept aangelegde samengestelde drainage met peilregeling (systeem van Iersel) en zuiveringsystemen zoals vloeivelden en moerasbufferstroken.

Beoordeling van maatregelen vindt steeds plaats door kosten en effectiviteit voor een situatie met maatregel te vergelijken met een referentiesituatie zonder maatregel. De effecten van brongerichte maatregelen zijn steeds vergeleken met een referentiesituatie die uitgaat van het toekomstige generieke mestbeleid voor 2009, voor zo ver dat nu al is vastgelegd. Onder effectiviteit (hoofdstuk 6) wordt de reductie van de nutriëntenvrucht naar het oppervlaktewater in % of kg N of P per ha per jaar verstaan. De effectiviteit van een maatregel is berekend als een gemiddelde over de periode 2016-2030 met 15 verschillende weerjaren, omdat nutriëntenvruchten sterk afhankelijk zijn van weerjaren. De periode 2009-2015 kan worden beschouwd als aanlooperperiode, waarin eventuele naijleffecten voor een belangrijk deel zullen zijn uitgewerkt.

De kosten (hoofdstuk 7) zijn berekend in bedrijfsverband (€ per ha per jaar). Dit wil zeggen dat rekening is gehouden met terugkoppelingen binnen het bedrijf. Voor maatregelen die geen effect hebben op bemesting en overschot (bijvoorbeeld hydrologische maatregelen) zijn alleen kosten van aanleg en onderhoud berekend. Bij deze maatregelen is steeds de bemesting van de referentiesituatie aangehouden. In hoofdstuk 5 wordt de kosteneffectiviteit van de maatregelen berekend in € per kg N of P vruchtreductie per ha en per jaar door de kosten te delen door de effectiviteit.

De gekozen maatregelen zijn in in deel twee van het rapport in detail uitgewerkt voor de verschillende bedrijfstypen en omstandigheden. Met behulp van de modellen BBPR (van WUR-ASG⁴ voor melkveebedrijven, Schils et al., in prep.) en MEBOT (van PPO-AGV⁵ voor akkerbouwbedrijven, Schreuder et al., 2007) zijn voor de verschillende maatregelen en bedrijfstypen zowel de nutriëntenkringloop als de kosten berekend. De berekende bemesting (nutriëntenkringloop) uit BBPR en MEBOT is gebruikt als invoer voor het uitspoelingsmodel ANIMO (van Alterra). Met ANIMO wordt het effect van de genomen maatregelen op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater gekwantificeerd. De bedrijfsberekeningen en de uitspoelingsberekeningen zijn op elkaar afgestemd op basis van de N- en P-bodemoverschotten op perceelsniveau. Deze afstemming bleek tijdrovend als gevolg van het ontbreken van een gekoppeld modelinstrumentarium.

⁴ Animal Sciences Group, Wageningen University and Research centre, Lelystad

⁵ Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, afdeling Akkerbouw en Groenteteelt in de Volle grond, Lelystad

Het uitspoelingsmodel ANIMO maakt gebruik van waterbalansen die met het hydrologische model SWAP zijn berekend voor iedere plot. Eerst is het effect van een hydrologische maatregel op de waterbalans uitgerekend en vervolgens is deze gewijzigde waterbalans ingevoerd in ANIMO om het effect op de nutriënten-uitspoeling te berekenen.

De effectiviteit van de zuiveringsystemen is ingeschat op basis van literatuurstudie en aannames over de te verwachten belasting van die systemen onder 5 onderscheiden omstandigheden die overeenkomen met de vijf locaties van het veldonderzoek naar de effectiviteit van bufferstroken. De twee systemen vloeivelden en moerasbufferstroken zijn daarnaast doorgerekend voor drie onderhoudsniveaus.

2 Kosteneffectiviteit

2.1 Definitie van kosteneffectiviteit

Kosteneffectiviteit is in dit rapport gedefinieerd als gemaakte kosten of gederfde inkomsten als gevolg van een maatregel (€ per ha per jaar), gedeeld door de effectiviteit van dezelfde maatregel voor het oppervlaktewater (vrachtreductie in kg N of P per ha per jaar). Uit de resulterende eenheid van kosteneffectiviteit € per kg N of P zijn zowel ruimte (ha) als tijd (jaar) verdwenen. Dit betekent dat kosteneffectiviteit schaalonafhankelijk is. Kosteneffectiviteit zegt dus niets over de termijn waarover de kosten gemaakt worden en waarover een maatregel werkt. De term of grootheid zegt evenmin iets over de plek of het gebied waar de vrachtreductie wordt gerealiseerd. Het voordeel van deze onafhankelijkheid is dat de grootheid goed bruikbaar is voor de vergelijking van maatregelen tussen maatschappelijke sectoren en tussen gebieden. Nadeel is dat er geen rekening gehouden wordt met het belang van een lage belasting van het oppervlaktewater op een bepaalde plek (bijvoorbeeld in een natuurgebied) of in een bepaalde periode (bijvoorbeeld in de zomer). De term houdt evenmin rekening met een eventuele aanloopperiode van een maatregel, dat wil zeggen de periode die een maatregel nodig heeft om tot volledige werking te komen.

De term kosteneffectiviteit kan gemakkelijk tot verwarring leiden, juist omdat hij uit kosten én effectiviteit is samengesteld. We willen namelijk zo hoog mogelijke effectiviteit tegen zo laag mogelijke kosten. Het gevolg is dat het verwarrend is om over een lage of hoge kosteneffectiviteit te spreken. Daarom spreken we in dit rapport over een gunstige of een ongunstige kosteneffectiviteit. Een gunstige kosteneffectiviteit is dus een lage waarde van de eenheid van kosteneffectiviteit € per kg N of P. Die kan dus zowel het gevolg zijn van gunstige (is lage) kosten of van gunstige (is hoge) effectiviteit.

Voor de vergelijking van de kosteneffectiviteit van de bestudeerde maatregelen in de landbouw met andere sectoren is gebruik gemaakt van de zogenaamde WEMPA studie (van Soesbergen et al., 2007). Voor de extra maatregelen op rioolwaterzuiveringsinstallaties worden daar afhankelijk van de schaal van de installaties kosteneffectiviteiten berekend tussen 32-134 €/kg P-equivalent (1 P-equivalent is 1 kg P of 10 kg N). Omdat de vrachtreductie van een P-equivalent een gewogen som is van de vrachtreducties van N en P ligt de aparte kosteneffectiviteiten voor N en P hoger (ongunstiger). Hoeveel hoger hangt af van de verdeling van de vrachtreductie van de extra maatregelen over N en P. Als we een gelijke relatieve vrachtreductie van N en P aannemen dan verdubbelt de kosteneffectiviteit, ongeveer 6-27 €/kgN en P 60-270 €/kg P. Deze kosteneffectiviteiten komen overeen met de rangordes 1-3 in tabel 2.5 (of S2)

De kosteneffectiviteit is in deze studie apart berekend per kg N en per kg P. In veel gevallen is een maatregel namelijk alleen effectief voor N of voor P. De keuze voor

een maatregel zal dus mede afhangen van de problematiek in het betreffende oppervlaktewater: in zoet water is P meestal het grootste probleem, in brak water vaak N. Om het belang van de belasting met N en P te kunnen vergelijken beschouwen we de verhouding tussen de N- en P-normen en de actuele N- en P-belasting. De meestal gebruikte P-norm voor stagnant zoet oppervlaktewater uit de Derde Nota Waterhuishouding is $0,15 \text{ mg.L}^{-1}$ en de daarvan afgeleide norm voor N is $2,2 \text{ mg.L}^{-1}$ (N/P ratio van algen 14,7). De berekende N-vrachten variëren tussen de plots van 10-50 en de P-vrachten van $0,5\text{-}5 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Op grond hiervan mogen we de P-vracht ongeveer 10 keer zwaarder wegen dan de N-vracht, net zoals is gebeurd in de WEMPA studie (vorige alinea). De berekende absolute P-vrachtreducties zijn ongeveer 10 x zo laag als de N-vrachtreducties en de kosteneffectiviteiten zijn dientengevolge ongeveer 10 x zo hoog. Dit komt tot uitdrukking in de gekozen rangordening (tabel 2.1). De klassengrenzen liggen voor P 10 x zo hoog.

De kosten en de vrachtreducties van de brongerichte maatregelen in akkerbouw en melkveehouderij worden op bedrijfschaal berekend en per ha bedrijfsareaal uitgedrukt. Dit is nodig omdat kosten en effectiviteit van bepaalde maatregelen in het bedrijfsverband, door allerlei terugkoppelingen, niet lineair toenemen met het areaal van toepassing (dit geldt vooral voor de melkveehouderij). De kosten en de vrachtreductie van de hydrologische maatregelen worden per perceel berekend, waarop de maatregel van toepassing is en per ha perceel uitgedrukt. Het aantal ha waarop een hydrologische maatregel wordt toegepast maakt voor de kosteneffectiviteit niet uit omdat zowel de kosten als de vrachtreductie lineair toenemen met het areaal. Bij de zuiveringsystemen worden kosten en effectiviteit berekend op de schaal van een klein deelstroomgebiedje (ordegrootte 100 ha). Er is uitgegaan van een vaste verhouding (1:20) tussen areaal benodigd voor zuivering en areaal landbouwgrond. De kosten per ha zuiveringsstelsel worden omgeslagen over het landbouwareaal in het deelstroomgebiedje waarvan het water gezuiverd wordt. In het geval van een vloeiveld wordt de vrachtreductie feitelijk pas gerealiseerd bij het uitstroompunt van het vloeiveld, en dus niet in de toevoerende sloten van landbouwpercelen naar vloeiveld. In het geval van moerasbufferstroken vindt de zuivering direct naast het landbouwperceel plaats en mag dus ook al een verbeterde kwaliteit in de 'landbouwsloten' worden verwacht.

We beperken de kosteneffectiviteit tot het oppervlaktewater. Maatregelen die in deze benadering niet (kosten)effectief blijken kunnen dat dus wel zijn voor andere (milieu)thema's of voor maatschappelijke doelen zoals kwaliteit van het grondwater, emissiebeperking van gassen, vergroten van de biodiversiteit en aantrekkelijkheid van het landschap (zie verder discussie).

2.2 Alternatieve maatregelen

De berekende kosteneffectiviteit van alle alternatieve maatregelen is bijeengebracht in de tabellen 2.1 (brongericht akkerbouw), 2.2 (brongericht melkveehouderij), 2.3 (hydrologische maatregelen) en 2.4 (zuiveringsystemen). De variatie in kosten-effectiviteit in de tabellen 2.1-2.4 is een gevolg van de variatie in de effectiviteit

tussen de doorgerekende plots en de variatie in de kosten tussen de 7 modelbedrijven. Hoewel er in totaal 24 plots zijn gebruikt, moet hierbij worden bedacht dat voor één bepaalde combinatie van maatregel, bedrijf, grondsoort en gewas een veel geringer aantal plots is doorgerekend (maximaal 5, zie hoofdstuk 5 en 6). De werkelijke variatie in (kosten)effectiviteit zal in de praktijk dus hoger zijn. Naast een gemiddelde waarde voor de reductie van de N en P vracht is waar mogelijk en zinvol een maximale waarde gegeven (kolom 'Max'). Bij deze maximale waarde hoort de minimale (meest gunstige) waarde voor kosteneffectiviteit (kolom 'Min'). Deze waarde is dus een soort 'best case' kosteneffectiviteit van een maatregel, die mogelijk met maatwerk kan worden bereikt. Door maatwerk op het bedrijf kunnen bovendien de kosten beperkt worden.

De resultaten voor kosteneffectiviteit zijn samengevat door middel van een rangordening in de tabellen 2.5 en 2.6. Deze rangorde is in de gevallen waar meerdere plots doorgerekend zijn voornamelijk gebaseerd op de gemiddelde waarden. In tabel 2.5 zijn de kosteneffectiviteiten gedifferentieerd naar sector en grondsoort en in tabel 2.6 is de nadruk gelegd op het verschil tussen N en P. De rangordes 4 en 5 zijn grijs getint, omdat deze maatregelen niet kosteneffectief zijn vergeleken met extra maatregelen op RWZI's (van Soesbergen, 2007).

In veel gevallen is een maatregel alleen effectief voor N of voor P. Zuiveringsystemen zijn altijd voor beide nutriënten effectief. Dit geldt ook voor conventionele drainage op klei en veen, voor blokkeren van de maaiveldafvoer op niet gedraineerde percelen op zand en voor het diepe samengestelde drainagesysteem met peilregeling ('van Iersel'), eveneens op zand.

In de akkerbouw (tabel 2.1) is alleen toediening van dierlijke mest op klei in het voorjaar in plaats van in het najaar een brongerichte maatregel met een gunstige kosteneffectiviteit. Deze maatregel heeft echter weinig tot geen effect op de P vracht. Voor P is alleen een redelijk effect gevonden voor uitmijnen. De grootste P-vrachtreductie wordt weliswaar bereikt met uitmijnen op graan (1 kg per ha uitmijnperceel per jaar), maar dit blijkt erg duur. In de melkveehouderij (tabel 2.2) is geen van de onderzochte brongerichte maatregelen kosteneffectief gebleken. Zowel voor akkerbouw als melkveehouderij mag uitsluitend op fosfaatlekkende gronden een gunstigere kosteneffectiviteit van uitmijnen worden verwacht (Corré et al., in voorb.). De P-vrachtreductie door uitmijnen is groter naarmate de fosfaatvoorraad in de uitgangssituatie (1), de hoeveelheid fosfaat die wordt uitgemijnd en dus de uitmijnperiode (2) en het aandeel afvoer via oppervlakkige routes (3) groter is (Chardon et al., 2007). Onze berekeningen gelden voor een uitmijnperiode van 15 jaren (2) en wij hebben gekozen voor een representatieve doorsnede door de Nederlandse zandgronden (1 en 3). Er is dus niet specifiek voor fosfaatlekkende gronden gerekend. Voor fosfaatlekkende gronden zal de P-vracht in de uitgangssituatie hoger zijn en daardoor ook het effect van uitmijnen. Als de fosfaatbemesting op de rest van het bedrijf door uitmijnen toeneemt, zoals bij het intensieve melkveebedrijf op zandgrond, dan wordt de P-vrachtreductie (0,25 kg per ha uitgemijnd gras per jaar) voor een deel gecompenseerd door toename van de uitspoeling op de andere percelen. De gunstigste situatie is die waar het verschil in

fosfaattoestand tussen uitmijnperceel en de rest van het bedrijf het grootst is, en het aandeel fosfaatlekkende grond waar moet worden uitgemijnd het kleinst. Uitmijnen heeft ook een gunstig effect op de stikstofvracht van het betreffende perceel, en in de meeste gevallen werkt het voor N ook op bedrijfschaal gunstig door.

Het effect van hydrologische maatregelen (tabel 2.3) hangt sterk af van de hydrologie van een perceel in de uitgangssituatie. Met de meeste onderzochte hydrologische maatregelen kan een redelijke kosteneffectiviteit voor N of P of soms voor beide worden bereikt. Sommige maatregelen zijn wel effectief voor één nutriënt, maar hebben geen of een negatief effect op het andere nutriënt. Het diepe drainagesysteem met peilregeling kan effectief zijn, maar door het experimentele karakter van dit systeem zijn de kosten nog niet goed bekend.

Zuiveringsystemen (tabel 2.4) kunnen effectief zijn en hebben daardoor ook een gunstige kosteneffectiviteit. Het uitgangspunt ten aanzien van de kosten van de grond is wel van grote invloed op de berekende kosteneffectiviteit. We gaan ervan uit dat de grond niet hoeft te worden aangekocht, maar dat de boer gecompenseerd wordt voor het saldooverlies (zie verder hoofdstuk 3 discussie). Voor effectieve P-verwijdering moet intensief worden beheerd (om de 6 jaar vernieuwen en/of in september maaien). In geval van intensief beheer moet een tekort aan gemakkelijk afbreekbaar koolstof worden voorkomen ten behoeve van de N-verwijdering met denitrificatie.

Tabel 2.1: Kosteneffectiviteit van brongerichte maatregelen in de akkerbouw.

Type bedrijf	Maatregel	Kosten ¹ €·ha ⁻¹	N-vracht- referentie kg·ha ⁻¹	N-vracht- reductie kg N·ha ⁻¹		Kosten- effectiviteit €/kgN ⁻¹		P-vracht- referentie kg·ha ⁻¹	P-vracht- reductie kg·ha ⁻¹		Kosten- effectiviteit €/kg P ⁻¹	
				Gem.	Max.	Gem.	Min.		Gem.	Max.	Gem.	Min.
CZK	2 dierlijke mest voorjaar	18	19,5	2,2		8		0,69	-0,01		neg.	
	5 geen dierlijke mest	90	19,5	3,5		25		0,66	-0,06		neg.	
	7b 2 + toed. norm -20%	42	19,5	2,8		15		0,69	-0,01		neg.	
	8a 2 + P overschot = 0	0	19,5	2,2		0		0,69	-0,03		neg.	
ZWK	2 dierlijke mest voorjaar	9	15,7	4,3		2		0,32	0		geen	
	5 geen dierlijke mest	74	15,7	4,9		15		0,32	-0,03		neg.	
	7b 2 + toed. norm -20%	50	15,7	4,8		11		0,32	0		geen	
	8a 2 + P overschot = 0	0	15,7	4,3		0		0,32	-0,03		neg.	
ZON	7b toed. norm -20%	7	28,4	0,7	1,4	11	5	4,22	-0,01		neg.	
	8a P overschot = 0	69	28,4	-0,8	0,9	neg.	75	4,22	0,15		460	
	uitmijnen rotatie	45	30,1 ²	-0,6	0,4	neg.	113	4,97 ²	0,24	1,1	190	40
	uitmijnen graan	600	30,2 ²	3,9	11,3	150	54	4,97 ²	0,31	0,83	1900	720
NON	7b toed. norm -20%	19	29,1	0,5	1,2	38	16	1,64	-0,01		neg.	
	8a P overschot = 0	48	29,1	0,4	1,7	120	28	1,64	0,08		600	

¹ ten opzichte van referentiescenario.

² de uitmijn varianten hebben een andere referentievracht.

Tabel 2.2: Kosteneffectiviteit van brongerichte maatregelen in de melkveehouderij.

Type bedrijf	Maatregel	Kosten ¹ €.ha ⁻¹	N-vracht- referentie kg.ha ⁻¹	N-vracht- reductie kg N.ha ⁻¹		Kosten- effectiviteit €.kgN ⁻¹		P-vracht- referentie kg.ha ⁻¹	P-vracht- reductie kg.ha ⁻¹		Kosten- effectiviteit €.kg P ⁻¹	
				Gem.	Max.	Gem.	Min.		Gem.	Max.	Gem.	Min.
Klei	2 opstallen 1-8	226	15,7	-0,3		neg.		7,9 ³	-0,01		neg.	
	3 opstallen	430	15,7	-0,4		neg.		7,9 ³	0,03		14000	
Zand	2 opstallen 1-8	215	19,1	1,6		135		1,42	-0,06		neg.	
	3 opstallen	359	28,4	2,0	4,3	175	85	4,42	-0,09		neg.	
	4 uitmijnen 15% gras	118	15,6 ²	1,1	2,6	110	45	1,17 ²	0		geen	
	5 3 + 4	401	15,6 ²	0,8	2,2	530	180	1,17 ²	0		geen	
	6 3 + uitmijnen 30%	467	15,6 ²	1,6	4,1	290	115	1,17 ²	0,03	0,14	15600	3300
	7 uitmijnen 30% maïs	122	15,6 ²	0,1	0,5	940	240	1,17 ²	0,05	0,09	2440	1350
Veen	2 opstallen 1-8	200	6,1	-0,64		neg.		1,3	-0,11		neg.	
	3 opstallen	376	6,1	-0,64		neg.		1,3	0,03		neg.	

¹ ten opzichte van referentiescenario.

² de uitmijn varianten hebben een andere referentievracht.

³ dit gemiddelde is samengesteld uit twee plots met een P-vracht van resp. 17 en 0,7 kg.ha⁻¹ jaar⁻¹.

Tabel 2.3: Kosteneffectiviteit van hydrologische maatregelen.

Grond- soort	Maatregel	Kosten ¹ €·ha ⁻¹	N-vracht- referentie kg·ha ⁻¹	N-vracht- reductie kg N·ha ⁻¹		Kosten- effectiviteit €/kgN ⁻¹		P-vracht- referentie kg·ha ⁻¹	P-vracht- reductie kg·ha ⁻¹		Kosten- effectiviteit €/kg P ⁻¹	
				Gem.	Max.	Gem.	Min.		Gem.	Max.	Gem.	Min.
Klei	2 blokkeren	70	16,5	-0,1	<0,41	niet eff.	170	4,54	-0,30		niet eff.	
	3 conventionele	130–150	14,6	5,8		23-26		0,64	0,37		330-380	
	4 diepe drainage met	300–765	16,5	4,0	10,7	75-190	28-70	4,54	-0,29		niet eff.	
Zand	2 blokkeren maaiveld,	70	22,1	2,1	3,8	34	18	1,32	0,54	1,02	130	70
	2 blokkeren maaiveld,	70	66,9	0,1	1,0	1750	0.175	3,22	0,21	0,6	330	115
	3 conventionele	130–150	24,0	-9,7		niet eff.		1,41	1,14	3,24	115-130	40-46
	4 diepe drainage met peilreg.	300–765 ²	25,1	3,8	18,8	80-200	16-41	1,04	0,49	1,63	600-1560	185-470
	5 stoppen drainage	10 ³	82,0	42,4		0		3,34	-1,23		niet eff.	
Veen	2 conventionele	130–150	11,9	3,2	4,4	41-47	30-34	2,93	1,95	4,01	67-77	32-37

¹ € per ha bedrijfsoppervlak ten opzichte van referentiescenario.

² onzekere onderhoudskosten, er is gerekend met minimaal dubbele kosten t.o.v. conventioneel. In het gunstigste geval kan onderhoud mogelijk beperkt blijven tot onderhoud als bij conventionele drainage.

³ aanname éénmalig 300 € per ha, afschrijving 30 jaar

Tabel 2.4: Kosteneffectiviteit van zuiveringsystemen.

Maatregel	Kosten ¹	N-vracht referentie		N-vracht-reductie		Kosten-effectiviteit		P-vracht referentie		P-vracht-reductie		Kosten-Effectiviteit	
	€·ha ⁻¹	kg·ha ⁻¹		kg N·ha ⁻¹		€·kg N ⁻¹		kg·ha ⁻¹		kg·ha ⁻¹		€·kg P ⁻¹	
	Belasting →	Laag ²	Hoog ³	Laag	Hoog	Laag	Hoog	Laag ⁴	Hoog ³	Laag	Hoog	Laag	Hoog
Moerasbufferstroken													
minimaal beheer	215	7	37	2	9	98	24	1,3	3,8	0,3	0,8	717	269
maaïen in september	250							1,3	3,8	0,8	1,6	313	156
elke 6 jaar vernieuwen	332							1,3	3,8	1,1	2,5	302	133
Vloevelden													
minimaal beheer	250	10	42	6	20	45	13	1,4	4,5	1,0	1,1	250	227
maaïen in September	285							1,4	4,5	1,2	2,8	238	102
elke 6 jaar vernieuwen	372							1,4	4,5	1,2	3,9	310	95

¹ ten opzichte van referentiescenario.

² Loon op Zand in H6.6

³ Zegveld in H6.6

⁴ Beltrum in H6.6

Tabel 2.5: rangordening kosteneffectiviteit van maatregelen.

Rangordes 1 tot 3 zijn qua kosteneffectiviteit vergelijkbaar met extra maatregelen bij rioolwaterzuiveringinstallaties

Sector	Rangorde			ZANDGRONDEN		Akkerbouw alleen KLEI, melkvee ook VEEN	
	Nr.	€/kg N ⁻¹	€/kg P ⁻¹	N	P	N	P
Brongericht Akkerbouw	1	<10	<100	Gebruiksnorm -20%	Uitmijnen in rotatie	Mest in voorjaar Pover0	Geen reductie
	2	10-20	100-200			Gebruiksnorm -20%	
	3	20-50	200-500	P-overschot 0	P-overschot 0	Geen Dierlijke Mest	Geen reductie
	4	50-200	500-2000	P-overschot 0 Uitmijnen	P-overschot 0 Uitmijnen graan		Geen reductie
Brongericht Melkvee	4	50-200	500-2000	Summerfeeding Uitmijnen gras	Uitmijnen maïs	Geen reductie	Geen reductie
	5	>200	>2000	Uitmijnen & SF Uitmijnen maïs	Uitmijnen maïs Uitmijnen gras	Geen reductie	Summerfeeding
Hydrologische maatregelen	1	<10	<100	Stoppen drainage			Drainage Veen
	2	10-20	100-200	Diepe drainage met peilregeling	Blokkeren maaiveld Drainage Diepe drainage met peilregeling		
	3	20-50	200-500	Blokkeren maaiveld Diepe drainage met peilregeling		Blokkeren maaiv. (klei) Drainage(klei/veen) Diepe drainage met peilregeling (klei)	
	4	50-200	500-2000	Diepe drainage met peilregeling		Blokkeren maaiv. (klei) Diepe drainage met peilregeling (klei)	
	5	>200	>2000			Blokkeren maaiv. (klei)	
Zuivering- systemen				LAAGBELAST		HOOGBELAST	
	2	10-20	100-200			Vloeiervelden	Vloeiervelden september maaïen of elke 6 jaar vernieuwen Moerasbufferstroken elke 6 jaar vernieuwen
	3	20-50	200-500	Vloeiervelden	Vloeiervelden Moerasbufferstroken september maaïen of elke 6 j. vernieuwen	Moerasbufferstroken	Vloeiervelden onbeheerd Moerasbufferstroken september maaïen
	4	50-200	500-2000	Moerasbufferstroken			

Tabel 2.6: rangordening kosteneffectiviteit van maatregelen voor N en P. Zie ook tabel 2.5.

Rangordes 1 tot 3 zijn qua kosteneffectiviteit vergelijkbaar met extra maatregelen bij rioolwaterzuiveringinstallaties.

Maatregelen met geen of negatief P-effect →		Mest naar voorjaar op kleibouwland P-overschot 0 op kleibouwland Stoppen drainage zand	Geen dierlijke mest of gebruiksnorm -20% op kleibouwland Gebruiksnorm -20% op zandbouwland	Geen dierlijke mest op kleibouwland Diepe drainage met peilbeheer op klei	Diepe drainage met peilbeheer op klei Blokken maaiveld op klei Melkvee opstallen 15% Uitmijnen zandgrasland	Blokken maaiveld klei 15% Uitmijnen zandgrasland met opstallen melkvee	
5	>2000					30% Uitmijnen zandgrasland met opstallen melkvee	
4	500-2000			P-overschot 0 op zandbouwland	Uitmijnen graan op zand Diepe drainage met peilbeheer op zand Moerasbufferstroken laagbelast, min. beheer	30% Uitmijnen maïs melkvee	
3	200-500		Vloeienveld, hoogbelast, min. beheer	Drainage op klei Diepe drainage met peilbeheer op zand	Pover0 op zandbouwland Moerasbuffers, hoogbelast en onbeheerd, of laagbelast met maaien of 6j. vernieuwen		Drainage op zand
2	100-200		Diepe drainage met peilbeheer op zand Vloeienveld, hoogbelast met maaien sept.	Blokken maaiveld op zand Moerasbuffers, hoogbelast met maaien of vernieuwen			Drainage op zand
1	<100		Vloeienveld, hoogbelast met 6j. vernieuwen	Drainage veen	Uitmijnen in rotatie op zandbouwland		
Rangorde P ↑	€/kg P ⁻¹ ↑ Kosteneffectiviteit €/kg N ⁻¹ →	<10	10-20	20-50	50-200	>200	↑ Maatregelen met geen of negatief N-effect
	Rangorde N →	1	2	3	4	5	

2.3 Kosteneffectiviteit van bufferstroken

In het bufferstrokenonderzoek, waarvan deze studie deel uit maakt, wordt onderscheid gemaakt tussen drie (mogelijke) effecten.

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.

Alleen het eerste effect is in deze deelstudie over kosteneffectiviteit modelmatig gekwantificeerd, het tweede en derde effect zijn onderwerp van de onderdelen 'veldstudie' en 'modelstudie', die pas in 2010 zullen worden afgerond. De nulhypothese van het onderzoek als geheel is dat de effecten 2 en 3 niet bestaan onder Nederlandse omstandigheden. Als dat aan het eind van de studie inderdaad zo blijkt te zijn, dan kan de kosteneffectiviteit op basis van het eerste effect (zie tabel 2.7) worden gebruikt voor de vergelijking met alternatieve maatregelen.

Bij tabel 2.7 kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

- De kosten van bufferstroken verschillen sterk per bedrijfsstelsel (c.q. regio en grondsoort).
- Het bemestingseffect van bufferstroken op het N verlies is klein, minder dan de helft van het aandeel bufferstroken.
- Een onbeweide bufferstrook heeft voor N een groter bemestingseffect dan een beweide bufferstrook.
- Er is nauwelijks of geen bemestingseffect van een bufferstrook op het P verlies, althans niet op de onderzochte termijn van ongeveer 15 jaren.
- Bufferstroken lijken op basis van uitsluitend het bemestingseffect het meest kosteneffectief op bouwland op zand en op grasland op klei en veen.
- Bufferstroken zijn op kleibouwland op basis van uitsluitend het bemestingseffect duur en matig effectief. Hier valt bovendien weinig specifiek bufferstrookeffect (effect 2 en 3) te verwachten i.v.m. aanwezige buisdrainage.

Tabel 2.7: Kosteneffectiviteit van bufferstroken op basis van het bemestingseffect (zie tekst voor toelichting).

Bedrijfsysteem	Kosten 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
Maatregel							
Akkerbouw Centale 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

De resultaten van deze paragraaf kunnen ook nog op een andere manier worden gebruikt. Uitgaande van de berekende kosten van bufferstroken kan worden berekend bij welke effectiviteit bufferstroken kosteneffectief zijn in vergelijking met de alternatieve maatregelen (tabel 2.8). We hebben ons hierbij beperkt tot een vergelijking met de maatregelen die een kosteneffectiviteit hebben met de rangordes 1 en 2 uit de vorige paragraaf (tabel 2.5).

Uit tabel 2.8 blijkt dat bufferstroken voor een met de alternatieven vergelijkbare kosteneffectiviteit een vrachtreductie in de orde van 20% moeten realiseren. Het gevonden bemestingseffect van bufferstroken was maximaal zo'n 2% bij 5% areaalfractie. Dit betekent dat de specifieke effecten 2 en 3 van bufferstroken aanzienlijk zullen moeten zijn om van bufferstroken een interessante maatregel te maken.

Voor de akkerbouw is in alle regio's een aanzienlijk specifiek effect van bufferstroken nodig voor een met de alternatieven vergelijkbare kosteneffectiviteit. Dit geldt ook voor de melkveehouderij op zandgrond. Voor de zandgronden lijkt dit zeker niet uitgesloten maar zal gewacht moeten worden op de resultaten van de andere onderdelen van het bufferstrokenproject. Voor de kleigronden mag geen specifiek effect worden verwacht omdat er meestal drainage aanwezig is.

Voor melkveehouderij op klei en veen zijn de kosten van (beweide) bufferstroken zo laag dat de kosteneffectiviteit al bij een relatief geringe effectiviteit (0,1 kg P en 1 kg N·ha⁻¹·j⁻¹, ongeveer 5-10%) vergelijkbaar is met de alternatieven. Voor een substantiële daling van de vracht zullen echter ook hier de specifieke effecten 2 en 3

van bufferstroken aanzienlijk zullen moeten zijn om van bufferstroken een interessante maatregel te maken.

Tabel 2.8: Minimaal benodigde N- of P-vrachtreductie (kg per ha per jaar) door bufferstroken (areaalfractie zand en klei 5%, veen 10%) voor een kosteneffectiviteit met rangorde 1 of 2 uit tabel 2.5.

Situatie	Kosten €·ha ⁻¹ ·j ⁻¹	N-vracht- referentie kg·ha ⁻¹ ·j ⁻¹	Rangorde kosteneffectiviteit € per kg N		P-vracht- referentie kg·ha ⁻¹ ·j ⁻¹	Rangorde kosteneffectiviteit € per kg P	
			< 10	10 – 20		< 100	100 - 200
Akkerbouw							
CZK ¹	135	19,5	> 13,5	6,25 – 13,5	0,69	> 1,35	0,68 – 1,35
ZWK	41	15,7	> 4,1	2,05 – 4,1	0,32	> 0,41	0,21 – 0,44
ZON	40	28,4	> 4,0	2,0 – 4,0	4,22	> 0,40	0,20 – 0,40
NON	22	29,1	> 2,2	1,1 – 2,2	1,64	> 0,22	0,11 – 0,22
Melkvee							
Klei	0	15,7	0	0	7,90	0	0
Zand	12	19,1	> 1,2	0,6 – 1,2	1,42	> 0,12	0,06 – 0,12
Veen	0	6,1	0	0	1,30	0	0

¹voor afkortingen zie tabel 2.7.

3 Discussie

3.1 Kosteneffectiviteit en multifunctionaliteit

Bij de beoordeling van de kosteneffectiviteit van maatregelen is het van belang om na te gaan welke kosten en baten zijn meegeteld. Hieronder gaan we in op de meergerekende kosten (3.1.1), de negatieve milieueffecten (3.1.2) die ook als kosten kunnen worden opgevat en de mogelijke baten, opgesplitst in milieubaten (3.1.3), landbouwkundige baten (3.1.4) en overige maatschappelijke baten (3.1.5).

3.1.1 Kosten

Bij het berekenen van de kosten van een maatregel is rekening gehouden met de kosten van noodzakelijke investeringen, met de operationele kosten van de maatregel, en met eventuele saldoderving door het landbouwbedrijf als gevolg van toepassing van de maatregel. De saldoderving is vastgesteld door vergelijking van het bedrijfsresultaat met maatregel met het bedrijfsresultaat zonder maatregel. Het bedrijf met maatregel wordt, afgezien van de noodzakelijke aanpassingen met het oog op de maatregel, zo veel mogelijk op dezelfde manier gerund als het bedrijf zonder maatregel. Er is dus geen rekening gehouden met eventuele extra aanpassingen of technologische vernieuwingen waarmee de saldoderving door de maatregel weer zou kunnen worden teruggedrongen. Het is immers ook mogelijk om dergelijke extra aanpassingen of technologische vernieuwingen door te voeren op het referentiebedrijf zonder de maatregel. Dit lijkt ons de meest zuivere benadering, waarmee we voorkomen dat de effecten van bestudeerde maatregelen verstrengeld raken met de effecten van technologische vernieuwingen die geen onderwerp zijn van deze studie.

Er is geen rekening gehouden met het eventueel verwerven van grond voor bijvoorbeeld het vloeiveld of de bufferstroken, alleen met de eventuele saldoderving als gevolg van het onttrekken aan de landbouwkundige productie. We gaan dus uit van de landbouwkundige waarde van de grond, ongeacht wie de eigenaar wordt. Ook gaan we ervan uit dat de grond blijft meetellen voor de mestwetgeving. Anders zouden de kosten van grondvragende maatregelen sterk toenemen door verhoogde afzet van mest, zoals blijkt uit de melkveevariant op zandgrond met 10% bufferstrook, waar het effect van extra mestafzet wel is doorgerekend (tabel 2.7, melkveehouderij zand, 10% bufferstr. maf). Dit betekent dat we mesttoediening boven de wettelijke gebruiksnorm accepteren op het deel van het bedrijfsareaal zonder maatregel (bufferstrook of vloeiveld). Een uitzondering hierop vormt uitmijnen. Op de percelen die niet uitgemijnd worden mag niet boven de gebruiksnorm worden bemest. Anders zouden we het risico lopen dat we voor het saneren van de fosfaatlekkende grond nieuwe fosfaatlekkende gronden creëren.

Het overschrijden van de gebruiksnorm klinkt dramatischer dan het is want ook onder de huidige regelgeving kunnen percelen boven de gebruiksnorm worden bemest, omdat boeren vrij zijn om hun mest naar eigen goeddunken over het bedrijfsareaal te verdelen. Vooraf hebben we impliciet verondersteld dat de milieuwinst die wordt gemaakt door toepassing van de maatregel het milieuverlies van het overschrijden van de gebruiksnorm op de rest van het areaal overtreft. Vervolgens is dit effect expliciet in bedrijfsverband doorgerekend. Alleen in het geval van de maatregel vloeiveld kunnen we hiermee in de knel komen, vooral als een relatief groot vloeiveld voor meerdere bedrijven wordt aangelegd. In principe is voor een vloeiveld gerekend met 5% grondbeslag hetgeen goed overeenkomt met bufferstroken, maar als er op één bedrijf een vloeiveld komt voor bijvoorbeeld 5 bedrijven dan beslaat het vloeiveld al snel een areaal in de orde van 25% van dat ene bedrijf. Daarmee zou de gebruiksnorm op de rest van dat bedrijf met een derde worden overschreden hetgeen niet meer acceptabel is. In zo'n geval zouden de bedrijven een samenwerkingsverband aan moeten kunnen gaan, waarbij het ene bedrijf het vloeiveld toelaat en de andere 4 bedrijven naar rato mest accepteren. Aangezien de zuiveringsystemen bij de gekozen uitgangspunten een redelijk tot goede kosteneffectiviteit halen, verdient het aanbeveling om te onderzoeken of dergelijke arrangementen wettelijk tot de mogelijkheden kunnen (gaan) behoren.

3.1.2 Negatieve milieueffecten

Een beperkt aantal behandelde maatregelen heeft ook negatieve milieueffecten ('kosten'). Voor zover het oppervlaktewater betreft komt dit tot uitdrukking in een negatieve berekende (kosten)effectiviteit. Een mooi voorbeeld hiervan is conventionele drainage, die op zandgronden een negatief effect heeft op de stikstofuitspoeling en een positief effect op de fosfaatuitspoeling. Andere negatieve milieueffecten (niet-oppervlaktewater) zijn echter niet verdisconteerd. In een vloeiveld of moerasbufferstrook zal ongetwijfeld denitrificatie en dus mogelijk lachgasemissie optreden en mogelijk ook methaanemissie. Ook door te vernatten (verdiepte samengestelde drainage met niveauregeling; blokkeren maaiveldafvoer) zal meer denitrificatie en gasemissie optreden. Het verdient aanbeveling om de negatieve milieueffecten van de besproken maatregelen te 'waarderen' voor een beoordeling van de integrale kosteneffectiviteit. Dit viel buiten het bestek van deze studie, omdat een beoordeling voor de oppervlaktewaterdoelen werd gevraagd.

3.1.3 Milieubaten

Ook aan de batenkant kunnen verschillende zaken worden meegeteld. Primair gaat het in dit onderzoek natuurlijk om de reductie van de nutriëntenvrachten naar het oppervlaktewater, maar een groot aantal maatregelen en dan vooral de brongerichte maatregelen hebben additionele emissiereducerende effecten, zoals reductie van de nitraatuitspoeling naar het grondwater en reductie van de emissie van broeikasgassen en ammoniak. De mogelijk tegenvallende kosteneffectiviteit van de brongerichte maatregelen voor het oppervlaktewater wil dus niet zeggen dat ze niet zinvol zijn.

Wellicht is het beter om te stellen dat de brongerichte maatregelen die in het mestbeleid zijn voorzien een geringe maar welkome reductie van de belasting van het oppervlaktewater te weeg brengen, waarvan de kosten feitelijk niet aan het oppervlaktewater behoeven te worden toegerekend (ze komen er toch) en dat aanvullende maatregelen voor het oppervlaktewater nodig zijn. Het is dus zinvoller om de brongerichte maatregelen te beoordelen op effectiviteit (vrachtreductie) en de aanvullende maatregelen op basis van berekende kosteneffectiviteiten.

Naast nutriëntenvrachtreductie kunnen bufferstroken en alternatieve maatregelen nog andere positieve milieueffecten hebben. Hieronder volgt een opsomming.

- Reductie van de belasting met bestrijdingsmiddelen. Dit geldt voor bufferstroken, blokkeren maaiveldafvoer, aangepaste drainage, vloeiveld en moerasbufferstroken.
- Het voorkomen van meemesten geldt zowel voor droge bufferstroken als voor moerasbufferstroken. Meemesten zit niet in de modelberekeningen, maar deze belasting is over het algemeen ook maar klein ten opzichte van de berekende uitspoeling (Van Dijk et al., 2003). Ook het voorkomen van directe belasting door vee valt onder dit punt, maar dit stelt in Nederland niet veel voor, omdat vee voor het drinken zelden in het oppervlaktewater wordt toegelaten. Bovendien is hier gekozen voor beweide bufferstroken.
- Verlaging van de belasting met vaste gronddeeltjes. Een bufferstrook en ook een blokkade tegen maaiveldafvoer (dammetje en/of greppel) stabiliseert het talud en de insteek waardoor minder grond in de watergang terecht komt. Daarnaast reduceren deze maatregelen oppervlakkige afvoer met gronddeeltjes (erosie). Dit geldt ook voor drainage. Ook een vloeiveld en een moerasbufferstrook kunnen gronddeeltjes uit de afvoer filteren. Minder gronddeeltjes in de watergang verlaagt de onderhoudskosten (minder bagger). Ook andere maatregelen die de nutriëntenbelasting verlagen zullen bijdragen aan minder slootonderhoud (biomassa), maar niet door het direct verminderen van de belasting met vaste deeltjes.
- Vloeivelden en moerasbufferstroken (ander dwarsprofiel) zijn geschikter voor combinaties met waterberging dan de droge onbemeste bufferstroken die hier zijn bestudeerd.
- Drainage kan bijdragen aan vermindering van piekafvoeren (wateroverlast-problematiek). Samengestelde drainage met peilregeling draagt bij aan vermindering van piekafvoeren en aan het verruimen van de mogelijkheden om peilen op te zetten (verdrogingproblematiek).

3.1.4 Landbouwkundige baten

Er is geen rekening gehouden met minder natschade en een betere vochtvoorziening door aangepaste drainage. Als deze positieve effecten op de landbouwkundige productie zouden worden meegenomen dan wordt de kosteneffectiviteit van aangepaste drainage natuurlijk gunstiger. Voormalige natte gronden zijn echter meestal al gedraineerd. Daarom zullen deze extra baten niet vaak voorkomen. Alleen wanneer van overheidswege extra druk op de landbouw wordt uitgeoefend om emissies naar het oppervlaktewater terug te dringen en de aanleg van drainage

daardoor voordelen oplevert voor het landbouwbedrijf dan zouden er nog wat extra, minder natte gronden voor drainage in aanmerking kunnen komen. Daar waar drainage landbouwkundig nog gewenst is, maar vanwege andere maatschappelijke doelstellingen wordt tegen gehouden (verdroging), kunnen de positieve effecten van drainage op de waterkwaliteit een extra argument zijn om de maatregel toe te laten. Dit geldt in het bijzonder voor het verdiept aangelegde 'systeem van Iersel', omdat dit systeem naast verbetering van de waterkwaliteit ook mogelijkheden biedt om piekafvoeren te verminderen (wateroverlastproblematiek) en om peilen op te zetten (verdrogingproblematiek).

In het geval van zuiveringsystemen kan biomassa een bijproduct zijn. De toekomst zal moeten uitwijzen of dit bijproduct als grondstof voor bijvoorbeeld energie kan worden gewaardeerd, dan wel als afvalproduct een extra kostenpost vormt.

De ziektedruk in het gewas kan worden verlaagd door het verhogen van de functionele agrobiodiversiteit als gevolg van de introductie van onbemeste bufferstroken.

3.1.5 Overige maatschappelijke baten

Hieronder volgt een opsomming van overige maatschappelijke voordelen van bufferstroken en alternatieve maatregelen.

- Hogere biodiversiteit door verschraling van de perceelrand (bufferstrook) en door het creëren van verbindingen voor de Ecologische Hoofdstructuur en de GroenBlauwe Dooradering (bufferstrook, vloeiveld, moerasbufferstroken).
- Verhoging aantrekkelijkheid van het landschap (aantrekkelijke perceelranden door bufferstroken en moerasbufferstroken, mogelijkheden in combinatie met vloeiveld).
- Toegankelijkheid van het landelijk gebied door bufferstroken voor boer, recreanten en waterschap.

Bufferstroken lijken wat meer perspectief te bieden op maatschappelijke, milieukundige of landbouwkundige 'spin off', dan de andere bestudeerde maatregelen. De tijd is wat dat betreft rijp voor multifunctionele ontwerpen van bufferstroken voor diverse doelen. Omgekeerd geldt dat in het geval van een keuze voor actief randenbeheer, voor welk doel dan ook, de reductie van de nutriëntenvracht naar het oppervlaktewater mooi meegenomen is.

3.2 Maatwerk

Uit de resultaten blijkt dat het effect van ruimtelijke variabiliteit vaak groter is dan het effect van maatregelen, vooral in het geval van brongerichte maatregelen. Ruimtelijke variabiliteit in vrachten wordt vooral bepaald door de grootte van de achtergrondbelasting, en die weer vooral door het eventueel optreden van kwel. Een aantal maatregelen werkt bovendien tegengesteld voor stikstof en fosfaat, of veel

beter voor de ene dan de andere nutriënt. Voor effectieve toepassing van de hydrologische maatregelen is een juiste diagnose vooraf cruciaal. Dit alles betekent dat maatwerk vereist is voor effectieve toepassing van maatregelen, maatwerk in de prioriteitstelling van de doelen voor een bepaalde plek (N, P, verdroging, waterberging, etc.) en maatwerk bij de keuze van de meest effectieve maatregel op die plek voor het geselecteerde doel.

Ook aan de kostenkant is maatwerk geboden, in deze studie is de variatie in de Nederlandse grondgebonden landbouw teruggebracht tot maar 7 modelbedrijven! In de ontwikkeling van kosten zitten soms 'schokken', wanneer de boer strategische beslissingen moet nemen, zoals bijvoorbeeld het omschakelen van beweiding naar 'summerfeeding' (opstallen). De doorgerekende varianten voor uitmijnen betreffen forse aandelen in het bedrijfsareaal. Mogelijk vallen de kosten mee zodra het aandeel uitmijnen veel kleiner is (bijvoorbeeld <5%). De Nederlandse landbouw is gemiddeld heel intensief, maar dat wil niet zeggen dat er helemaal geen extensieve bedrijven voorkomen. Bovendien zijn er ook bedrijven die deels extensief zijn door de verkaveling. Daarnaast neemt het aandeel biologische bedrijven toe en ook het aandeel bedrijven met een natuurtak. Voor al deze voorbeelden geldt dat er heel wat meer mogelijk is dan op de doorgerekende intensieve bedrijven.

3.3 Hardheid

De hardheid van de resultaten van een studie op basis van modeltoepassing hangt in de eerste plaats af van het vertrouwen in de gebruikte modellen en de validatiestatus van die modellen. Het bedrijfsbegrotingsmodel BBPR (Schils et al., in voorb.) heeft al een lange staat van dienst in onderzoek en voorlichting en wordt continu aangepast aan recent verworven inzichten. Het is met andere woorden een state-of-the-art model. MEBO (Schreuder et al., 2007) heeft weliswaar een kortere voorgeschiedenis, maar de kennis die erin opgenomen is, is op vergelijkbare manier tot stand gekomen, en het model wordt ook steeds ge-update. Het hydrologische model SWAP (Kroes & van Dam, 2003), dat de basis vormt voor het uitspoelingsmodel ANIMO en ook van het topsysteem van de hydrologie van het consensus modelinstrumentarium STONE, is eveneens een state-of-the-art model, dat zijn oorsprong heeft in de zeventiger jaren en steeds verder is doorontwikkeld. Het wordt door onderzoekers over de hele wereld gebruikt en is beschikbaar via internet. ANIMO (Groenendijk et al., 2005) tenslotte is uitgebreid gescreend voordat het werd opgenomen in STONE (Wolf et al., 2003) als uitspoelingsmodel. De betrouwbaarheid van een model wordt daarnaast in hoge mate bepaald door de kwaliteit van de invoer. De bedrijfsmodellen zijn voor slechts 7 modelbedrijven doorgerekend, maar voor de kwaliteit van de invoer kan naar eerdere beleidsonderbouwende studies worden verwezen (Schröder, 2004; MNP, 2007). De invoer van de gebruikte plots voor SWAP en ANIMO is overgenomen uit het eerder genoemde consensus instrumentarium STONE.

De hardheid van een gecombineerde modelstudie wordt niet alleen bepaald door de kwaliteit van de afzonderlijke delen, maar ook door het gekoppelde geheel. Daarop valt af te dingen, want er is geen consistent en conceptueel goed op elkaar afgestemd integraal instrument beschikbaar. We hebben ons moeten behelpen met ad hoc

koppelingen op afstand. De haken en ogen zijn zo goed mogelijk opgelost en samen met de consequenties voor de resultaten in de desbetreffende hoofdstukken (6.2.1, 6.3.1, 6.3.2, 6.4, 6.5 en 6.6) beschreven.

Met hardheid kan ook worden bedoeld 'in hoeverre hebben de uitspraken algemene geldigheid'. Daar kunnen we meer over zeggen omdat we gerekend hebben voor 24 plots (bufferstroken) en 15 plots (fosfaatlekkende gronden). Nu is 24 Plots niet veel vergeleken met de ongeveer 4700 landbouwplots uit STONE, maar er is a priori wel getracht om zoveel mogelijk variatie in omstandigheden mee te nemen door gericht te kiezen (zie tabel 6.1 ploteigenschappen). In de tabellen met resultaten (bijlagen 3 en 5) geven we daarom naast gemiddelden ook de aangetroffen variatie aan. Meestal betreft het dan de variatie tussen een klein aantal plots (meestal 3-5) binnen de betreffende categorie (bijvoorbeeld akkerbouw in zuidelijk zandgebied). We schatten in dat deze variatie door de bewuste keuze vooraf een substantieel deel van de mogelijke variatie uit maakt, maar dit kunnen we op basis van de huidige berekeningen niet hard maken. Het is overigens in principe vrij eenvoudig om voor iedere gewenste categorie de complete variatie te berekenen op basis van alle beschikbare STONE-plots, maar dit viel buiten het bestek van deze oriënterende studie. Ons doel was om de perspectieven van alternatieve maatregelen aan te geven, zonder de pretentie om deze maatregelen al volledig voor implementatie te onderbouwen. Daarvoor is vervolgonderzoek nodig. Het voordeel van deze studie is dat nu een scherpere selectie gemaakt kan worden voor een dergelijke vervolginvestering.

3.4 Hydrologische maatregelen bij kwel

Bij de berekeningen van de hydrologische maatregelen moest met name in de gevallen met substantiële kwelvrachten onderscheid gemaakt worden tussen netto- en brutovrachten. De brutovracht is de totale vracht die over een bepaalde periode vanuit een plot naar het oppervlaktewater stroomt, voor het berekenen van de nettovracht wordt daarvan de vracht vanuit het oppervlaktewater terug afgetrokken. Dit speelt vooral in gevallen met drainage, omdat er dan in de zomer veel water kan infiltreren. Vooral in het veenweidegebied kan de verhouding influx - uitflux groot zijn. Het nadeel van rekenen met nettovrachten is dat het model dan rekent met een aangenomen concentratie in de influx (modelparameter), die in het model niet beïnvloed wordt door de berekende uitspoeling. Rekenen met brutovrachten houdt echter geen rekening met effecten van de maatregel op de verhouding tussen in- en uitflux en die is bij drainage soms aanzienlijk en beïnvloedt ook de belasting van het oppervlaktewater. Achteraf was voor deze situaties een berekening met een aangenomen concentratie nul in het infiltratiewater wellicht beter geweest. Dat zou bij een vervolg moeten worden uitgeprobeerd.

4 Conclusies

Algemeen

De hoogte van de belasting van het oppervlaktewater wordt meer bepaald door de eigenschappen van bodem en hydrologie, dan door de effecten van de meeste maatregelen. Dit geldt vooral voor de brongerichte maatregelen, die maar een beperkt effect sorteren. Met sommige hydrologische maatregelen en zuiveringssystemen kunnen onder bepaalde omstandigheden echter substantiële vrachtreducties (>50%) gehaald worden. Het gevolg hiervan is dat de keuze van maatregelen maatwerk is.

Brongerichte maatregelen hebben zelfs geen of nauwelijks effect op de fosfaatvracht naar het oppervlaktewater, omdat deze vracht meer bepaald wordt door de aanwezige fosfaatvoorraad in de bodem en door de hydrologie. Alleen met de brongerichte maatregel uitmijnen kan op langere termijn (orde 15 jaren) een significante reductie van de fosfaatvracht worden behaald (orde tien(tallen) %). Deze reductie is groter naarmate de fosfaatvoorraad in de uitgangssituatie, de hoeveelheid fosfaat die wordt uitgemijnd (en dus de uitmijnperiode) en het aandeel dat via oppervlakkige routes wordt afgevoerd, groter is. Als de fosfaatbemesting op de rest van het bedrijf door uitmijnen toeneemt, dan wordt de vrachtreductie voor een klein deel gecompenseerd door toename van de uitspoeling op de andere percelen. De gunstigste situatie is die waar het verschil in fosfaattoestand tussen uitmijnperceel en de rest van het bedrijf het grootst is. Uitmijnen heeft ook een gunstig effect op de stikstofvracht van het betreffende perceel, in de meeste gevallen werkt het ook op bedrijfschaal gunstig door.

De (geringe) effecten van brongerichte maatregelen op de stikstofvracht hangen vooral samen met de hoogte van het gebruik van dierlijke mest en met de hoogte van het stikstofoverschot. De stikstofvracht naar het oppervlaktewater daalt wanneer minder dierlijke mest wordt gebruikt en wanneer het stikstofoverschot daalt. In de akkerbouw levert voorjaarstoediening van dierlijke mest op kleigrond de grootste bijdrage aan de stikstofvrachtreductie (3 kg per ha per jaar; bijna 20%), daarna komen 20% lagere bemesting (2 kg per ha per jaar) en stoppen met het gebruik van dierlijke mest (1 kg per ha per jaar). Het verlagen van de gebruiksnorm heeft een nog geringer effect, maar dat komt ook doordat de norm in de uitgangssituatie niet helemaal is opgevuld.

In de melkveehouderij is het effect van overstappen op summerfeeding (opstallen) door het uitspoelingsmodel onderschat. Er is alleen een substantiële daling van de stikstofvracht berekend op zandgrond (2 kg per ha per jaar). Wij schatten de werkelijke vrachtreductie van summerfeeding op bedrijfsniveau in de orde van 2 (klei en veen) tot 3,5 kg N per ha per jaar (zandgrond).

Effectiviteit

In het bufferstrokenonderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen de drie (mogelijke) effecten bemestingseffect, verblijftijdeffect en onderscheppend effect.

Alleen het eerste effect is in deze deelstudie over kosteneffectiviteit modelmatig gekwantificeerd.

Er is vrijwel geen bemestingseffect van bufferstroken op de fosfaatvracht berekend. Dit is niet verwonderlijk want de fosfaatuitspoeling wordt meer door de bodemvoorraad dan door de bemesting bepaald. Op langere termijn zal de bodem in de bufferstrook uitgemijnd raken en mag ook een bemestingseffect op de fosfaatvracht worden verwacht. Het bemestingseffect van 5% bufferstroken op de stikstofvracht ligt op akkerbouwbedrijven in de orde van een halve kilo stikstof per ha per jaar, dat is ongeveer 2% van de totale stikstofvracht in de uitgangssituatie. Dit geringe percentage is het gevolg van een hoge achtergrondbelasting.

Het bemestingseffect van 5% bufferstroken op de stikstofvracht op melkveebedrijven is klein ($<0,25$ kg N per ha per jaar, $<2\%$). Het bemestingseffect van een onbeweide bufferstrook is op zandgrond voor stikstof meer dan tweemaal zo groot als van een beweide buffer. Op bedrijfsschaal levert het afvoeren van de dierlijke mest die overeenkomt met de gebruiksnorm van het areaal bufferstroken minder reductie op dan het stoppen met het beweiden van bufferstroken.

Het blokkeren van greppel- en maaiveldafvoer is op ongedraineerde zandgrond een effectieve maatregel met een reductie van de fosfaatvracht in de orde van 40% en van de stikstofvracht van 10%. Op gedraineerde zandgronden blijft nog een fosfaatvrachtreductie van dik 10% over. Op de overige gronden is blokkeren van maaiveldafvoer niet mogelijk of niet effectief.

Conventionele drainage op zandgrond reduceert de fosfaatvracht met meer dan 60%, en op kleigrond met meer dan 50%, maar leidt op zandgrond ook tot een sterke toename van de stikstofuitspoeling (150 tot 250%). Op kleigrond neemt ook de stikstofafvoer door drainage af (30-40%). Kleigronden zijn echter al overwegend gedraineerd. Op veenbouwtland, wat weinig voorkomt (maïs), neemt door conventionele drainage de stikstofafvoer enigszins, en de fosfaatafvoer flink af.

Samengestelde drainage met peilregeling (op 60 cm–mv; systeem van Iersel), die verdiept wordt aangelegd, is een effectieve maatregel op zandgronden. In tegenstelling tot bij conventionele drainage neemt bij ‘van Iersel’ ook de stikstofvracht af (10%). De fosfaatvracht neemt in de modelberekeningen minder af dan bij conventioneel omdat hier is gerekend met een vast peil op 60 cm –mv en dat blijkt in sommige nattere perioden tot natschade te leiden. Dit kan in de praktijk eenvoudig worden verholpen. Op kleigronden werkt het systeem volgens de modelberekeningen niet of minder voor fosfaat, omdat het peil te sterk is opgezet, de stikstofvracht wordt echter wel gereduceerd met 30%.

Stoppen met drainage op zandgrond heeft uiteraard het omgekeerde effect van conventionele drainage. De fosfaatvracht neemt sterk (50%) toe en de stikstofvracht neemt sterk (50%) af.

Vloeiervelden en in iets mindere mate ook moerasbufferstroken zijn volgens de berekeningen heel effectief (reductie fosfaatvracht 15-80% en stikstofvracht 20-50%). De fosfaatvrachtreductie is het grootst wanneer de fosfaatbelasting vanuit de landbouw hoog is, en wanneer het zuiveringsstelsel intensief beheerd wordt (maaien en vernieuwen). Voor stikstof geldt dat er voldoende afbreekbaar koolstof in het stelsel aanwezig moet zijn voor de berekende vrachtreducties. Bij een onbeheerd

systeem is dat meestal wel het geval, maar als intensief beheerd wordt voor maximale fosfaatreductie, zou er een conflict kunnen ontstaan. Bij het ontwerp van een zuiveringsysteem moet dus rekening gehouden worden met de limiterende nutriënt in het betrokken watersysteem, en met de uitgangssituatie in de bodem van het aan te leggen systeem.

De afhankelijkheid van de effectiviteit van zuiveringsystemen van de oorspronkelijke fosfaatbelasting betekent automatisch afhankelijkheid van de verhouding tussen areaal zuiveringsysteem en areaal landbouwgrond. Deze verhouding (in onze berekeningen bruto 5% en netto 3,5%) lag aan de ruimte kant, en past daarom het beste bij relatief hoogbelast gebied (4 kg P per ha landbouwgrond per jaar).

Kosten

De kosten van de brongerichte maatregelen en bufferstroken zijn uitsluitend berekend voor een beperkt aantal modelbedrijven. Hierdoor zijn nauwelijks onzekerheidsmarges voor de kosten aan te geven, terwijl er in de praktijk natuurlijk een enorme variatie in bedrijfsmanagement en –strategie bestaat. Sommige maatregelen kunnen afhankelijk daarvan beter of minder goed worden ingepast. Dat betekent dat ook aan de kostenkant maatwerk kan worden geleverd.

Er zijn nauwelijks kosten van bufferstroken berekend op klei- en veengrond. De beide modelbedrijven op deze grondsoorten zijn minder intensief dan op zandgrond waardoor deze bedrijven nog enige ruimte hebben de intensivering in het graslandgebruik op te vangen. De geringe toename van de aankoop van ruwvoer wordt gecompenseerd door minder kunstmestaankoop (klei) of krachtvoer (veen) en kleine veranderingen in het gebruik van loonwerk.

De kosten van brongerichte maatregelen in de akkerbouw, die overigens slechts tot een geringe reductie van de vrachten leiden liggen in de orde van 0-100 € per ha per jaar. Voor melkveebedrijven zijn de brongerichte maatregelen duurder. Alleen uitmijnen op een beperkt areaal komt in de buurt van andere maatregelen. Hier hebben we te maken met een soort van drempelwaarde, die al dan niet wordt overschreden. Zodra het vee in verband met de maatregel moet worden opgesteld schieten de kosten omhoog.

De hydrologische maatregelen blokkeren van maaiveldafvoer en conventionele drainage zijn alleszins betaalbaar, bovendien heeft conventionele drainage agronomische voordelen die niet in de kostenberekening zijn meegenomen. De kosten van systeem van Iersel zijn onzeker omdat er nog weinig ervaring is met de onderhoudsbehoefte. Als dat blijkt mee te vallen is het niet veel duurder dan conventionele drainage, maar anders wel. Het komt erop neer dat nader onderzoek moet uitwijzen onder welke omstandigheden het systeem ook op langere termijn wel en niet goed functioneert.

Zuiveringsystemen zijn weliswaar duur, maar ook effectief, zie daarvoor de volgende conclusies over de kosteneffectiviteit

Kosteneffectiviteit

De berekende kosteneffectiviteit is beperkt tot het oppervlaktewater. Maatregelen die in deze benadering niet kosteneffectief blijken kunnen dat alsnog wel zijn wanneer andere milieuthema's of maatschappelijke doelen erbij worden betrokken (kwaliteit van het grondwater, emissiebeperking van gassen, vergroten van de biodiversiteit, aantrekkelijk landschap, stabiliseren van taluds, etc.).

Voor de melkveehouderij zijn geen kosteneffectieve brongerichte maatregelen gevonden. Hoewel de stikstofvrachtreductie door het opstallen van vee in de modelberekeningen is onderschat, zal correctie hiervan weinig veranderen aan deze conclusie, omdat het opstallen van vee speciaal voor de kwaliteit van het oppervlaktewater een erg dure maatregel is. Voor uitmijnen zou nog wel verder gezocht kunnen worden naar omstandigheden met een hogere kosteneffectiviteit. Met name in situaties waar een klein deel van het bedrijfsareaal sterk fosfaatverzaadigd is en het grootste deel van het areaal een beperkte fosfaattoestand heeft zal de kosteneffectiviteit van de maatregel groter zijn dan hier berekend.

Ondanks de beperkte effectiviteit van brongerichte maatregelen, blijken in de akkerbouw door de beperkte kosten toch nog een aantal maatregelen kosteneffectief. In de akkerbouw is van de brongerichte maatregelen dierlijke mest toedienen in het voorjaar op kleigronden het meest interessant, omdat het ook een behoorlijke stikstofvrachtreductie oplevert. Ook het reduceren van de gebruiksnorm is niet zo duur en levert enige stikstofvrachtreductie op. Daarnaast kan het fosfaatoverschot zonder kosten worden teruggebracht door het beperken van de kunstmestgift, maar dit zal niet leiden tot minder fosfaatuitspoeling. De enige kosteneffectieve maatregel waarmee de fosfaatvracht kan worden teruggedrongen is uitmijnen in rotatie. Uitmijnen met graan is weliswaar effectiever, maar ook veel duurder.

Hoewel de effectgerichte maatregelen kosteneffectiever blijken voor het oppervlaktewater dan de brongerichte maatregelen, kunnen zij nooit dienen als vervanging voor generiek brongericht beleid. Voor het oppervlaktewater geldt dat het geen zin heeft om te dweilen (effectgerichte maatregelen) met de kraan open (zonder brongerichte maatregelen). Daarnaast geldt dat het brongerichte beleid meer doelen dient dan het oppervlaktewater, sterker nog het is juist niet primair voor het oppervlaktewater ontwikkeld. Het is daarom beter om te concluderen dat de brongerichte maatregelen onvoldoende zijn om het oppervlaktewater te beschermen en dat aanvullende maatregelen nodig zijn.

Zuiveringsystemen zoals vloeivelden en moerasbufferstroken kunnen een gunstige kosteneffectief hebben voor het bereiken van een goede waterkwaliteit. Daarnaast bieden deze systemen goede mogelijkheden voor meekoppeling met andere doelen zoals waterberging, biodiversiteit en landschap. Uiteraard hangt de berekende kosteneffectiviteit af van een reeks gekozen uitgangspunten. Belangrijk zijn de manier waarop de kosten van de grond zijn meegerekend, het gekozen onderhoud, het belastingsniveau van de zuiveringsystemen en de daarmee samenhangende verhouding tussen areaal zuiveringsstelsel en landbouwgrond, en de prioriteit van stikstof of fosfaat. De belangrijkste conclusie is daarom dat deze systemen

perspectief bieden en dat per situatie zal moeten worden vastgesteld wat voor de gestelde doelen het beste ontwerp is in termen van dimensionering, belasting, en onderhoud. Daarnaast zullen beleidsmatige en praktische initiatieven moeten worden ontwikkeld rondom zuiveringsystemen, omdat zij een benadering vragen die de bedrijfschaal overstijgt. Hoe gaan we het mestbeleid regelen voor een groep boeren die voor een zuiveringsstelsel kiezen? Hoe gaat die groep boeren onderling de kosten en baten verdelen? Kortom, werk aan de winkel!

Ook de hydrologische maatregelen bieden veel perspectief op kosteneffectieve reductie van nutriëntenvrachten naar het oppervlaktewater, maar ook hier geldt weer dat maatwerk vereist is. Gemiddeld liggen deze maatregelen qua kosteneffectiviteit in tussen de zuiveringsstelsels en de brongerichte maatregelen, maar onder bepaalde omstandigheden kunnen deze maatregelen ook het meest kosteneffectief zijn. Daar staat tegenover dat hydrologische maatregelen soms ook tot ongewenste effecten kunnen leiden zoals bijvoorbeeld een toename van de stikstofvracht in het geval van toepassing van conventionele drainage op zandgronden. In het kort:

- Blokkeren van maaiveldafvoer levert vooral een bijdrage aan de reductie van de fosfaatvracht op zandgronden. Het is goedkoop en goed door de boer zelf uit te voeren, maar druist in tegen de intuïtie van de boer dat het water zo snel mogelijk van het land moet.
- Conventionele drainage levert vooral een bijdrage aan de reductie van de fosfaatvracht op zandgronden, maar daar staat een sterke toename van de stikstofvracht tegenover. Op kleigronden neemt bij deze maatregel ook de stikstofvracht af, maar kleigronden zijn meestal al gedraineerd. Het stoppen van drainage heeft het omgekeerde effect.
- Verdiept aangelegde samengestelde drainage met peilregeling ('systeem van Iersel') is vooral een interessante maatregel voor zandgronden, omdat dit systeem naast de fosfaatvracht ook de stikstofvracht naar het oppervlaktewater reduceert. In de praktijk zou het systeem nog gunstiger kunnen uitwerken dan in de modelberekeningen omdat het peil aan de (weers)omstandigheden kan worden aangepast en omdat de landbouwkundige voordelen van verbeterde ontwatering en vochtvoorziening niet in de berekeningen zijn betrokken. Daar staat tegenover dat de onderhoudskosten en het technisch functioneren van het voor Nederland nieuwe systeem op langere termijn nog onzeker zijn.

Aangezien voor bufferstroken op klei- en veengronden nauwelijks kosten zijn berekend, is alleen de effectiviteit van bufferstroken hier van belang (zie effectiviteit hierboven). Voor een relevante vrachtreductie op klei- en veegrond blijkt het bemestingseffect onvoldoende. Ook op zandgronden, waar wel kosten voor bufferstroken zijn berekend, is het bemestingseffect onvoldoende voor een kosteneffectiviteit die kan concurreren met de alternatieve maatregelen. Om de concurrentie met de alternatieven aan te kunnen moeten bufferstroken vrachtreducties halen in de orde van kilo's N en tienden van kilo's P per ha per jaar, in beide gevallen een veelvoud van 5% van de oorspronkelijke vracht. Het lopende veld- en modelonderzoek naar de effectiviteit van bufferstroken zal moeten aantonen of dit onder Nederlandse omstandigheden haalbaar is.

Methode

Aangezien deze modelstudie is uitgevoerd zonder toetsing achteraf aan empirische gegevens, moeten de resultaten als voorlopig worden beschouwd. Dat wil zeggen dat de resultaten wel gebruikt kunnen worden om perspectieven van maatregelen aan te geven en om prioriteiten aan te geven bij de keuze van maatregelen voor proefprojecten en onderzoek. De ongetoetste modelresultaten zijn echter niet hard genoeg om er in dit stadium al beleidsmaatregelen mee te onderbouwen, anders dan het stimuleren van vernieuwingen en proeven. Daarvoor zouden behalve toetsing aan empirische gegevens ook meer bedrijfssituaties en ruimtelijke variatie in de benadering moeten worden betrokken. Als het beleid kiest voor deze benadering van toepassing van getoetste modellen om optimale maatregelpakketten voor verschillende bodem-, water- en bedrijfssituaties te zoeken, dan verdient het aanbeveling om daarvoor een inhoudelijk consistent en efficiënt modelinstrumentarium te ontwikkelen op basis van de hier gebruikte modellen. De hier gebruikte koppeling op afstand is bijzonder bewerkelijk en tijdrovend gebleken, met het daaraan klevende risico van menselijke rekenfouten. Voordeel van een dergelijk instrument is dat studies bovendien beter kunnen worden toegespitst op specifieke regionale situaties of (deel)stroomgebieden.

5 Methode

5.1 Keuze van bedrijfstypen en gewassen

Voor een zinvolle modelstudie naar effectiviteit en kosten van bufferstroken en alternatieve maatregelen moeten voor de berekeningen representatieve bedrijven worden gekozen, zowel voor landbouwkundige kenmerken (vruchtwisseling, veedichtheid, etc.), als voor lokatiekenmerken (grondsoort, hydrologie). Bij de interpretatie van de resultaten en de beoordeling van de maatregelen dient rekening gehouden te worden met deze gekozen omstandigheden. Voor akkerbouw zijn vier representatieve regionale bedrijfstypen uitgezocht voor het Centraal Kleigebied, het Zuidwestelijk Zeekleigebied, het Noordoostelijk Zandgebied en het Zuidoostelijk zandgebied (tabel 5.1). Bedrijven uit deze regio's verschillen zowel in vruchtwisseling als in dichtheid van waterlopen (van der Gaast en van Bakel, 1997). Beide factoren bepalen in sterke mate de kosten van bufferstroken in de akkerbouw.

Voor kleigrond is uitgegaan van twee bouwplannen, een bedrijf met pootaardappelen in het centrale zeekleigebied en een bedrijf met consumptieaardappelen in het zuidwestelijk kleigebied. Voor zandgrond zijn ook twee bedrijven doorgerekend, een zetmeelaardappelbedrijf in het noordoostelijk zand- en dalgrondgebied en een bedrijf met consumptieaardappelen met industriegroenten representatief voor het zuidoostelijk zandgebied.

Tabel 5.1: Bedrijfstypen akkerbouw standaard (zonder maatregelen) ZON is gebruikt voor uitmijnen

Bedrijf	Bedrijfstype	Bouwplan	Areaal (ha)	Regio + grondsoort
CZK	Pootaardappel met groenten en bollen	25% wintertarwe, 25% pootaardappelen, 12,5% suikerbiet, 12,5% tulp, 12,5% winterpeen, 12,5% zaaiui	40	Centrale zeeklei
ZWK	Consumptieaardappel 1:5	30% wintertarwe, 6% zomergerst, 20% suikerbiet, 20% consumptieaardappel, 10% conservenerwt+stamslaboon, 10% graszaad, 4% braak	50	Zuid Westelijke zeeklei
NON	Zetmeelaardappel 1:3	27,8% zomergerst, 5,6% rogge, 30% zetmeelaardappel, 3% pootgoed, 20% suikerbiet, 5,6% waspeen, 3,9% korrelmaïs en 3,9% braak	90	Noordoostelijk zand
ZON	Consumptieaardappel 1:4	12,5% wintertarwe, 12,5% korrelmaïs, 25% consumptieaardappel, 25% suikerbiet, 12,5% waspeen, 12,5% schorseneer	36	Zuidoostelijk zand

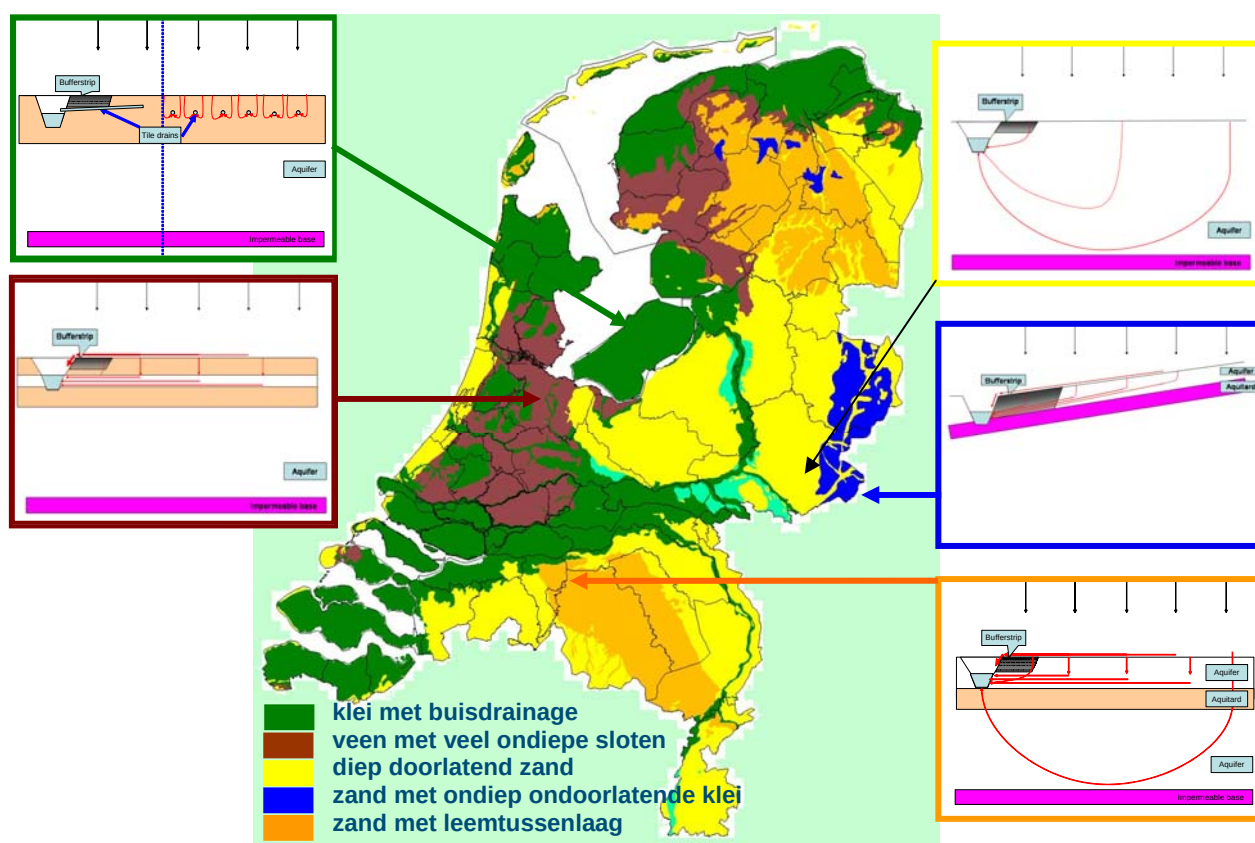
Om het effect van maatregelen voor een melkveebedrijf te bepalen is gekozen voor modelbedrijven op zandgrond, kleigrond en veengrond (tabel 5.2). Allereerst zijn modelbedrijven gesimuleerd die alleen de wettelijke beperkingen hebben (Standaard, Strd). De kenmerken van deze bedrijven en andere modeluitgangspunten zijn overgenomen uit een eerdere studie van ASG naar de effecten van het mestbeleid (de Haan et al., 2005).

Tabel 5.2: Bedrijfstypen melkvee standaard (zonder maatregelen)

	Zand	Klei	Veen
Quotum kg per jaar	480.822	551.025	473.928
quotum kg per ha per jaar	14.979	13.182	12.059
melkproductie per melkkoe per jaar	7620	7750	7440
Bedrijfsoppervlak (ha)	32.1	41.8	39.3
Aandeel maïs	30%	15%	6%
beweidingsstelsel	Beperkt	Beperkt	Onbeperkt
pinken per melkkoe %	37,4	33,2	30,4
kalveren per melkkoe %	39,4	34,9	32,0
prijs uitrijden mest gras €/m ³	2,50	2,50	2,50
prijs uitrijden mest maïs €/m ³	2,00	2,00	2,00
prijs afzet mest €/m ³	8,00	8,00	8,00

5.2 Keuze van omstandigheden

Om rekening te kunnen houden met de effecten van bodemgesteldheid en hydrologie is Nederland voor het bufferstrokenonderzoek ingedeeld in zes geohydrologische situaties of geohydrotypen (tabel 5.3 en figuur 5.1; van Bakel et al., 2007). Daarnaast is ook rekening gehouden met het verschil grasland – bouwland.



Figuur 5.1: indeling van Nederland in geohydrotypen. De licht groene legenda-eenheid in het rivierengebied (ondiepe kleigrond op diep doorlatend zand) komt weinig voor.

Tabel 5.3: overzicht van het veldonderzoek

Meetlocatie	Gewas	Bodem	Hydrologie, zie figuur 5.1
Zegveld	Gras	Veen	d) Holland profiel
Lelystad	Maïs	Klei	f) Holland profiel met buisdrainage
Loon op Zand	gras	Zand	e) Ondoorlatende leemondergrond
Winterswijk	gras	Zand	a) Hellend en ondiep ondoorlatende klei
Achterhoek	maïs	Zand	b) Diep doorlatend

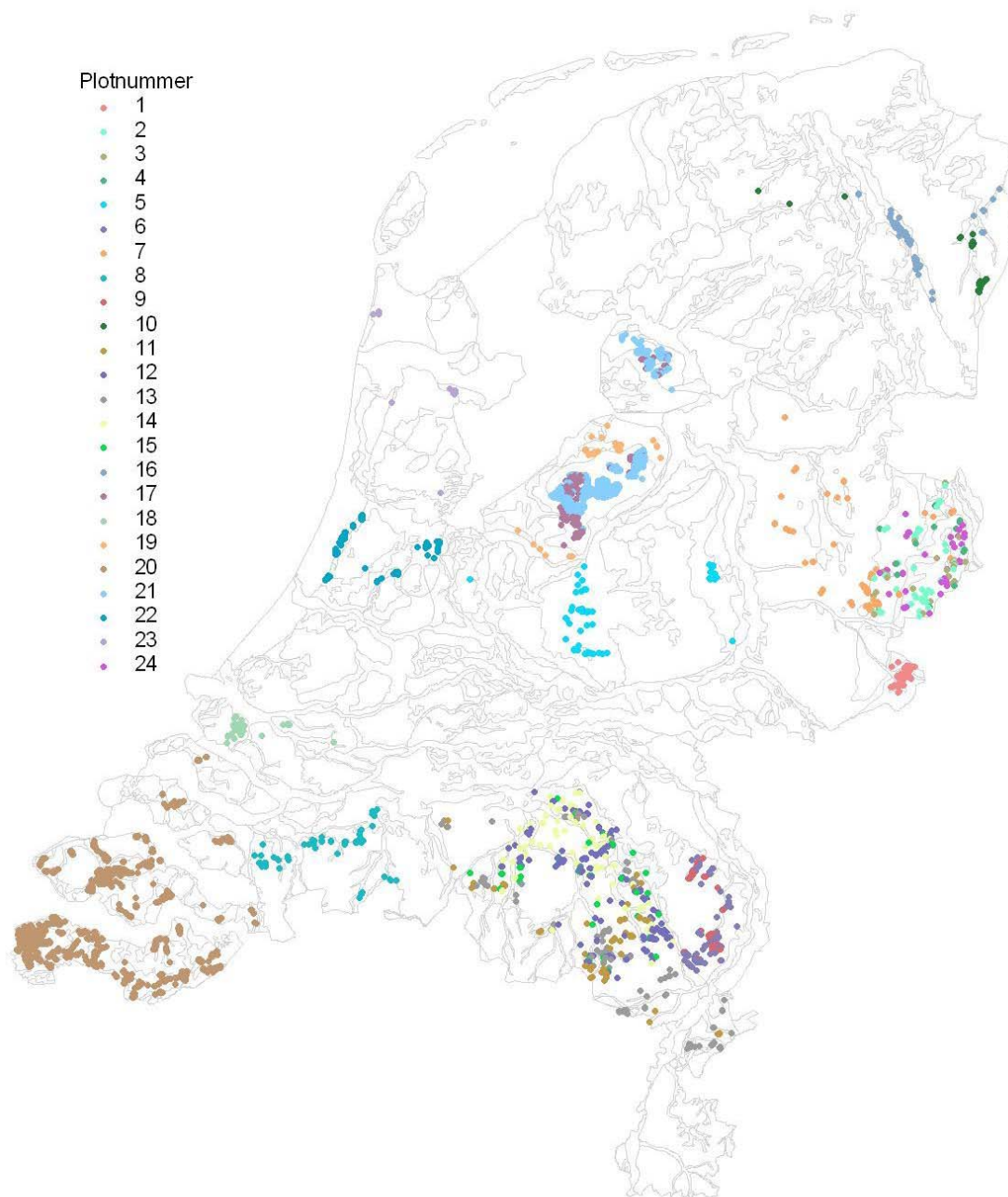
Tabel 5.4: overzicht van de gekozen omstandigheden en bedrijfstypen

Grond- soort	Geohy- drotype	Veldlocatie bufferproject	Regio	Bedrijfstype	Gewas	Drainage	Plotnummer		
			figuur 5.2				STONE	hier	
Zand	a)	Woold	Winterswijk	melkvee	gras	Nee	4294	1	
			Twenthe	onbekend	maïs	Nee	3176	2	
			Dinkel	akker NON	rotatie	Nee	3150	3	
			Dinkel	akker NON	rotatie	nee	3355	4	
	a, klei		Dinkel	akker NON	rotatie	Ja	3420	24 ⁶	
	b)	Beltrum	ZW Veluwe	melkvee	gras	Nee	3752	5	
			De Peel	melkvee	gras	Nee	6063	6	
			Achterhoek	melkvee	maïs	Nee	2773	7	
			NW Brabant	akker ZON	rotatie	Nee	5558	8	
			De Peel	akker ZON	rotatie	Ja	6070	9	
			Westwold	akker NON	rotatie	Ja	1013	10	
		e)	Loon-op-Zand	Dommel	melkvee	gras	Nee	5724	11
				Aa	melkvee	gras	Ja	5344	12
				Dommel	melkvee	maïs	Nee	5626	13
				Aa	melkvee	maïs	Ja	5346	14
				Aa	akker ZON	rotatie	Nee	5428	15
				NW Drenthe	akker NON	rotatie	Ja	1000	16
klei				f)	Lelystad	Flevoland	melkvee	gras	Nee
	Voorne Putten	melkvee	gras			Ja	4566	18	
	Flevoland	onbekend	maïs			Ja	2832	19	
	Zuidwest zeeklei	akker ZWK	rotatie			Ja	4879	20	
	Zeeuws Vlaanderen	akker CZK	rotatie			Ja	2082	21	
	veen	d)	Zegveld			Rijnland, veenweide	melkvee	gras	Nee
Westelijk Friesland				melkvee	maïs	Nee	1888	23	

Voor ieder van deze geohydrotypen zijn met behulp van de schematisatie van STONE (Wolf et al., 2003) relevante omstandigheden geselecteerd (tabel 5.4). In deze schematisatie komen 6405 rekeneenheden of 'plots' voor (waarvan meer dan 4300 landbouw) met unieke eigenschappen voor bodem, hydrologie, gewas, bemesting, etc. Er is gestreefd naar een zo goed mogelijke spreiding over grondsoorten, hydrologie (buisdrainage), gewas en bedrijfstypen om uitspraken te kunnen doen over verschillen in (kosten)effectiviteit bij verschillende omstandigheden. Ook is geprobeerd om de combinaties zo samen te stellen dat zo veel mogelijk uitspraken kunnen worden gedaan over de effecten van de afzonderlijke factoren (bodem, geohydrotype, buisdrainage, gewas, bedrijfstype) die

⁶ Deze combinatie, gedraineerde situatie op geohydrotype a) was niet beschikbaar op zandgrond.

mogelijk invloed hebben op de effectiviteit. Wanneer naast deze twee criteria (onderstreept) nog ruimte voor keuze was, is gekozen voor de plots met het grootste areaal. Daarmee zijn we uitgekomen op 24 plots, waarvan een groot deel van de noodzakelijke invoer voor de modellen ANIMO en SWAP is overgenomen. Met name de bemesting wijkt af, omdat deze is overgenomen van de bedrijfsmodellen.



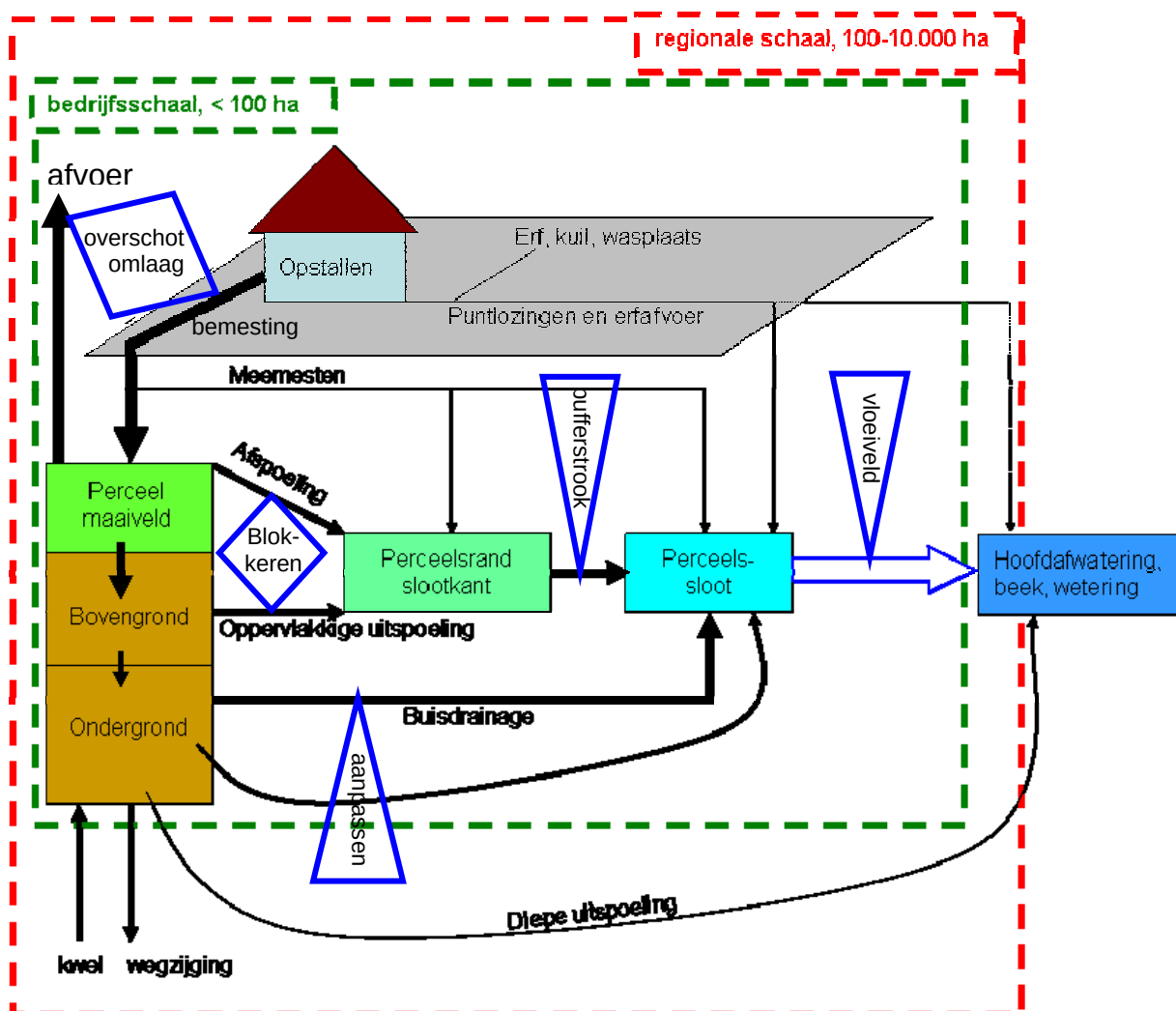
Figuur 5.2: geografische spreiding van de gekozen omstandigheden (plots)

5.3 Keuze van alternatieve maatregelen

De auteurs hebben maatregelen gekozen die perspectief bieden op verbetering van de waterkwaliteit en mogelijk effectieve alternatieven voor bufferstroken kunnen zijn. Deels zijn dit dezelfde maatregelen als beschreven in het rapport 'Maatregelen voor fosfaat lekkende gronden' (Corré et al., in voorb.). Door Van Os (in voorb.; zie ook figuur 5.3) zijn 74 realistische maatregelen bijeen gebracht in een database. De maatregelen zijn gegroepeerd naar de plaats waarop ze aangrijpen (puntbronnen, verhard oppervlak, perceel en waterlopen), naar de transportroutes (afspoeling, uitspoeling, directe belasting) en naar de mogelijke bronnen (afvalwater, nutriëntenoverschotten, bovengrond, ondergrond, bagger). De maatregelen zijn met beschikbare kennis beoordeeld op effect, kosten, duurzaamheid, inpasbaarheid, haalbaarheid en controleerbaarheid. Tevens is ingeschat onder welke omstandigheden (bedrijfstype, bodemtype, hydrologie) maatregelen meer of minder effectief zullen zijn. Bij de keuze van maatregelen is rekening gehouden met de verwachte effecten en kosten, en is spreiding over de bron-effectketen nagestreefd (figuur 5.3). Er zijn uiteindelijk drie groepen maatregelen gekozen:

1. Brongerichte maatregelen (paragraaf 5.3.1):
 - verlagen van het stikstof- en fosfaatoverschot, inclusief het uitmijnen van fosfaat⁷
2. Routegerichte of hydrologische maatregelen (paragraaf 5.3.2):
 - remmen of blokkeren van de oppervlakkige afspoeling (ondiepe routes)
 - verbetering van de drainage (diepere routes)
3. Zuiveringsystemen of 'end-of-pipe' maatregelen (5.3.3):
 - vloeiveld (in het oppervlaktewater op de overgang van bedrijfsloot naar waterschapsloot)
 - moerasbufferstroken

⁷ Het effect van uitmijnen op fosfaatlekkende gronden is in 5.3.1. overgenomen uit Corré et al. (in voorb.).



Figuur 5.3: Bron-effectketen als basis voor indeling van maatregelen in het landelijk gebied.

5.3.1 Verlagen overschot

Voor het verlagen van het stikstof- en/of het fosfaatoverschot op bedrijfsniveau zijn een aantal basismaatregelen gekozen. Deze basismaatregelen zijn uitgewerkt voor de situatie op representatieve modelbedrijven om modelberekeningen mogelijk te maken. Kosten en effecten van maatregelen worden beoordeeld ten opzichte van een referentiesituatie waarin de maatregelen niet zijn genomen. Als referentie voor melkveebedrijven is gekozen voor 'Goede Landbouw Praktijk'⁸ in 2009 (voorgenomen beleid), voor akkerbouw zijn de normen van 2006 gehanteerd, omdat de gebruiksnormen van 2009 bij de start van deze studie nog niet bekend waren. Eventuele maatregelen zullen niet eerder dan 2009 worden geïntroduceerd en alleen

⁸ In Nederland wordt het fosfaatbestedingsadvies op veel (veehouderij)bedrijven als gevolg van mestoverschotten overschreden; op deze bedrijven kan beter gesproken worden over ‘Gangbare LandbouwPraktijk’.

een vergelijking met het beleid op het moment van introductie geeft een goed beeld van de werkelijke effecten en kosten van de maatregelen. Maatregelen gericht op minder uitspoeling naar het oppervlaktewater zijn om dezelfde reden niet gecombineerd met eventuele technologische vernieuwingen, die immers ook op een referentiebedrijf zouden kunnen worden toegepast.

Omdat voor akkerbouw en melkveehouderij andere gebruiksnormen gelden en met een verschillend model gerekend is zijn de maatregelen voor deze bedrijfstakken afzonderlijk beschreven (akkerbouw paragraaf 5.3.1.1 en melkveehouderij 5.3.1.2).

5.3.1.1 Akkerbouw

In tabel 5.5 zijn de doorgerekende brongerichte maatregelen in de akkerbouw weergegeven. Alleen voor de vetgedrukte maatregelen zijn ook vrachten berekend (zie verder paragraaf 5.4.1), van de maatregel ‘extra’ zijn alleen de vrachten berekend, niet de kosten.

Tabel 5.5: Brongerichte maatregelen op akkerbouwbedrijven

Nr	Omschrijving	Klei	Zand
1	Gebruiksnorm 2006 (referentie)	+	+
2	Voorjaarstoediening dierlijke mest	+	
3	Toepassing N-bijmeststelsel (NBS)	+	+
4	Inzet vanggewassen	+	+
5	Geen dierlijke mest	+	
6	Afvoeren bietenblad	+	+
7	Reductie gebruiksnorm (10 en 20%)	+	+
8a	P-evenwichtbemesting (P-overschot = 0)	+	+
8b	Uitmijnen		+
extra	Reductie bemesting met 20%	+	+

Referentie (gebruiksnorm 2006)

In de referentie wordt uitgegaan van bemesting volgens GLP⁸ met als randvoorwaarde de N/P-gebruiksnormen zoals die gelden voor 2006. Onder GLP wordt verstaan bemesting volgens de gewas- en bodemgerichte bemestingsadviezen. De inzet van dierlijke mest is weergegeven in tabel 5.6. Er is uitgegaan van varkensdrijfmest met een standaardsamenstelling zoals vermeld in de Adviesbasis (Van Dijk, 2003). Op kleigrond is de mest in de nazomer (vóór 1/9) toegediend op de graanstoppel in combinatie met een groenbemester.

Tabel 5.6: Inzet van varkensdrijfmest op de akkerbouwmodelbedrijven (kg N,P₂O₅ per ha bedrijf per jaar).

	CZK	ZWK	ZON	NON
N	63	75	131	102
P ₂ O ₅	37	44	76	60

Voorjaarstoediening dierlijke mest

Op kleigrond is het gebruikelijk om dierlijke mest in de nazomer/herfst toe te dienen. Voor de twee kleibedrijven is daarom nagegaan wat de effecten van voorjaarstoediening zijn. Uitgangspunt hierbij was om in principe dezelfde mestinzet op bedrijfsniveau te handhaven als bij herfsttoediening. Randvoorwaarde was wel, dat er voldoende ruimte overblijft voor bijsturing met kunstmest en dat het gewas zich qua zaai/poot/plantijdstip (niet te vroeg met het oog op voldoende werkbare

dagen) leent voor toediening van mest in het voorjaar. Besloten is om de mest alleen bij wintertarwe toe te dienen omdat in de praktijk voor deze toepassing het meeste draagvlak bestaat. Hierdoor daalde de mestinzet op bedrijfsniveau naar 45 en 55 kg N per ha voor respectievelijk CZK en ZWK.

Toepassing N-bijmeststelsel

Deze maatregel is toegepast voor het gewas consumptieaardappelen. Voor de andere gewassen op de modelbedrijven zijn geen bijmeststelsels beschikbaar. Bij aardappel is uitgegaan van een besparing van 10% (circa 25 kg N per ha) t.o.v. van een vaste N-gift.

Inzet vanggewassen

Dit betreft onbemeste groenbemesters die vooral worden gezaaid na gewassen die veel N in de bodem achterlaten en die relatief vroeg worden geoogst. De N-opname hangt af van het zaaitijdstip. Bij zaai vóór 1 en 15 september is uitgegaan van een N-opname van respectievelijk 80 en 40 kg N per ha. Vanggewassen zijn alleen ingezet wanneer een gewas vóór half september wordt geoogst.

Voor de N-nawerking van de in de vanggewassen opgenomen N is conform de huidige bemestingsrichtlijnen uitgegaan van 40 en 50% bij inwerken in respectievelijk het na- en voorjaar (Van Dijk, 2003).

Geen dierlijke mest

Het niet meer gebruiken van dierlijke mest is een maatregel die alleen is doorgerekend voor bedrijven op kleigrond. Door het toekomstige verbod op herfsttoediening zal een deel van de kleibedrijven er mogelijk voor kiezen geen dierlijke mest meer te gebruiken vanwege de huiver voor voorjaarstoediening (structuurschade, verlating zaai/poottijdstip).

Voor zandgrond is dit naar verwachting geen reële maatregel. Er is volop aanbod van mest en de toepassing geeft veel minder problemen dan op kleigrond.

Afvoeren van bietenblad

Gewasresten blijven m.u.v. graanstro, doorgaans op het veld achter. Wanneer deze veel N bevatten verhoogt dit de risico's van uitspoeling. Op akkerbouwbedrijven gaat het dan vooral om bietenblad, waarin zich ruim 100 kg N per ha bevindt. Nagegaan is wat de effecten zijn wanneer het bietenblad van het bedrijf wordt afgevoerd.

Reductie van de N-gebruiksnorm

Er zijn berekeningen uitgevoerd met een reductie van de N-gebruiksnorm met respectievelijk 10 en 20%. De reductie is toegepast op het gebruiksnormniveau dat overeenstemt met adviesbemesting (voor zand 2006 en voor klei 2009). Wanneer er een tekort is aan N wordt de N-bemesting van het graan verlaagd. Dit is doorgaans het gewas met het laagste saldo.

P-evenwichtbemesting

Bij deze maatregel is uitgegaan van een P-overschot van 0 kg P_2O_5 per ha. Bij de P-afvoer met geoogst product is uitgegaan van de werkelijke opbrengst op bedrijfsniveau (opbrengst * forfaitair P-gehalte).

Overige uitgangspunten

Bij de N/P/K-bemesting is uitgegaan van de adviezen zoals vermeld in de Adviesbasis (Van Dijk, 2003). Verder gelden de gebruiksnormen bij de verschillende scenario's uiteraard als maximum. Als hierdoor bemestingsadviezen worden onderschreden wordt een opbrengstderving ingerekend.

Bij de fosfaattoestand is uitgegaan van een Pw van 45 (bovenkant landbouwkundig streeftraject).

Er is gerekend met een prijs van varkensdrijfmest van € 0,- per ha (op het land gebracht en toegediend).

De kunstmestprijzen waarmee is gerekend bedragen €0.83, €0.57 en €0.40 per kg zuivere N, P_2O_5 en K_2O .

5.3.1.2 Melkveehouderij

Voor de hoogte van de N- en P_2O_5 -bemesting wordt uitgegaan van het bemestingsadvies met de gebruiksnormen van 2009 als maximum, en van de wettelijk vastgestelde werkingscoëfficiënten en uitscheidingsnormen voor de maximale aanvoer van N-kunstmest. Dit betekent dat de berekende N- en P_2O_5 -bemesting meestal afwijkt van de toegestane werkzame bemesting omdat de landbouwkundige werkingscoëfficiënt en de uitscheiding van het vee, die in het model berekend worden op basis van het rantsoen, afwijken van de forfaits voor werkingscoëfficiënt en uitscheiding.

Er is vanuit gegaan dat het stikstofleverend vermogen (NLV) van het grasland niet verandert door het toepassen van de maatregelen, en dat er bij uitmijnen geen productieverlies is door fosfaatgebrek. Dit is aannemelijk voor de eerste jaren, op langere termijn is dit echter niet reëel. De aanvoer van (organische) mest wordt lager en daarmee de nalevering van N en P_2O_5 . Hierdoor zullen NLV en fosfaattoestand (P-AL getal) op termijn dalen. Met het dalende P-AL getal kan in BBPR nog geen rekening worden gehouden worden. Het is echter de vraag of dit zo erg is want het heeft weinig zin om verder te gaan met uitmijnen als de fosfaattoestand tot voldoende is gedaald. In een verfijndere benadering zou wel met dalende NLV rekening moeten kunnen worden gehouden. Dit punt komt terug bij de bespreking van de resultaten.

Tabel 5.7: Berekende scenario's voor melkveebedrijven met de indeling van het bedrijf in ha.

Scenario	beweid grasland	beweid, niet buffer	beweid buffer	maïs	onbeweid grasland	omschrijving
Zand						
Z-Stdrrd	22.50	22.50	0	9.6	0	standaard bedrijf, wetgeving 2009
Z-Buf5%	22.47	21.35	1.12	9.15	0.48	standaard + bufferstrook, 5% grondbeslag, bufferstrook van gras beweid, bufferstrook van maïs niet beweid. Maïs 30% opp van bedr excl bufferstrook
Z-Buf10%	22.44	20.20	2.24	8.70	0.96	standaard + bufferstrook, 10% grondbeslag, bufferstrook van gras beweid, bufferstrook van maïs niet beweid. Maïs 30% opp bedr excl bufferstrook
Z-Buf10% -nbew	20.20	20.20	0	8.70	3.20	standaard + bufferstrook, 10% grondbeslag, bufferstrook van gras en maïs niet beweid. Maïs 30% opp bedr excl bufferstrook
Z-Buf10% -maf	22.44	20.20	2.24	8.70	0.96	standaard + bufferstrook, 10% grondbeslag, bufferstrook van gras beweid, bufferstrook van maïs niet beweid. Maïs 30% opp bedr excl bufferstrook. Mest voor bufferstrook (10% van 250 kg N per ha) afvoeren
Z-aug-SF	22.5	22.5	0	9.6	0	standaard bedrijf + opstallen alle vee per 1 augustus
Z-SF	0	0	0	9.6	22.5	standaard bedrijf + opstallen alle vee hele jaar (summerfeeding ⁹)
Z-UM15%	17.7	17.7	0	9.6	4.8	standaard bedrijf + 15% oppervlakte uitmijnen op grasland (alleen N-bemesting, geen organische mest, geen beweiding)
Z-UM15% -SF	0	0	0	9.6	22.5	standaard bedrijf + 15% oppervlakte uitmijnen op grasland (alleen N-bemesting, geen organische mest, geen beweiding) + opstallen alle vee hele jaar (summerfeeding)
Z-UM30% -SF	0	0	0	9.6	22.5	standaard bedrijf + 30% oppervlakte uitmijnen op grasland (alleen N-bemesting, geen organische mest, geen beweiding) + opstallen alle vee hele jaar (summerfeeding)
Z-UM30% -ms	22.5	22.5	0	9.6	0	standaard bedrijf + 30% oppervlakte uitmijnen op maïsland (alleen N-bemesting, geen organische mest)
Klei						
K-Stdrrd	37.40	37.4	0	4.40	0	standaard bedrijf, wetgeving 2009
K-Buf5%	37.17	35.31	1.86	4.40	0.23	standaard + bufferstrook, 5% grondbeslag, bufferstrook van gras beweid, bufferstrook van maïs niet beweid. Oppervlakte maïs als standaard
K-Buf10%	36.91	33.22	3.69	4.40	0.49	standaard + bufferstrook, 10% grondbeslag, bufferstrook van gras beweid, bufferstrook van maïs niet beweid. Oppervlakte maïs als standaard
K-aug-SF	37.40	37.40	0	4.40	0	standaard bedrijf + opstallen alle vee per 1 augustus
K-SF	0	0	0	4.40	37.40	standaard bedrijf + opstallen alle vee hele jaar (summerfeeding)
Veen						
V-Stdrrd	37.0	37.0	0	2.3	0	standaard bedrijf, wetgeving 2009
V-Buf10%	37.0	33.07	3.67	2.3	0.26	standaard + bufferstrook, 10% grondbeslag, bufferstrook van gras beweid, bufferstrook van maïs niet beweid. Oppervlakte maïs als standaard
V-Buf20%	37.0	29.14	7.28	2.3	0.58	standaard + bufferstrook, 20% grondbeslag, bufferstrook van gras beweid, bufferstrook van maïs niet beweid. Oppervlakte maïs als standaard
V-aug-SF	37.0	37.0	0	2.3	0	standaard bedrijf + opstallen alle vee per 1 augustus
V-SF	0	0	0	2.3	37.0	standaard bedrijf + opstallen alle vee hele jaar (summerfeeding)

Voor de melkveehouderij is gerekend met een representatief bedrijf voor zandgrond met 70% gras en 30% maïs en met beperkte beweiding. De referentie heeft volgens

⁹ De ruwvoervoorziening bij summerfeeding bestaat grotendeels uit graskuil, in tegenstelling tot zomerstalvoeding waarbij gemaaid vers gras wordt gevoerd.

beleid 2009 al een fosfaatoverschot nul voor grasland en $20 \text{ kg P}_2\text{O}_5\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ voor maïs. Dat is zo dicht bij evenwichtbemesting dat hiervoor geen aparte variant is opgenomen. Bij de varianten met uitmijnen vindt geen P-aanvoer plaats op 15% of op 30% van het bedrijfsoppervlak. Bij 15% wordt alleen uitgemijnd op gras en wordt de beweiding voor zover nodig beperkt, bij 30% wordt ofwel alleen uitgemijnd op gras in combinatie met volledig opstallen van het vee, ofwel er wordt alleen uitgemijnd op maïs in combinatie met handhaven van de beweiding.

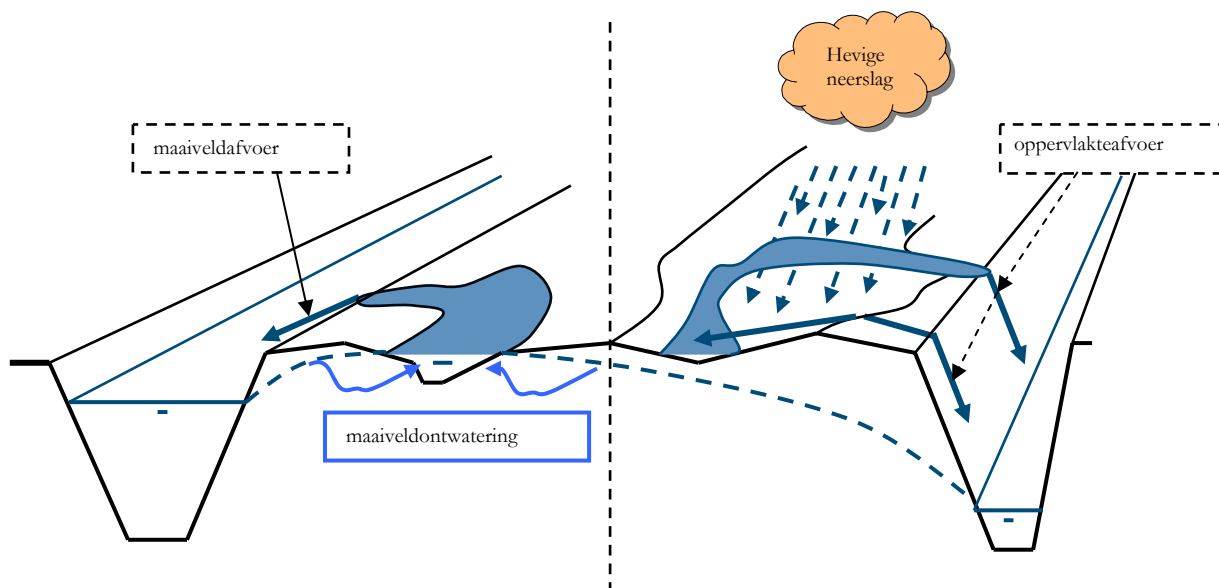
De extra arbeid die voor bufferstroken nodig is, is slechts gedeeltelijk ingerekend. In de loonwerkkosten worden enkele extra kosten opgevoerd (zoals bijvoorbeeld extra onkruidbeheersing). Er is nog geen rekening gehouden met eventuele extra tijd van de ondernemer voor het onderhouden van bufferstroken, omdat er nog te weinig ervaring mee is om daarvoor normbedragen te kunnen gebruiken.

In aanvulling op tabel 5.7 met een korte omschrijving van de verschillende scenario's met de bijbehorende codes kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

- Scenario Z-Std, K-Std en V-Std zijn de standaard bedrijven. De bedrijven houden zich aan de mestwetgeving van 2009. In de volgende scenario's is steeds de afwijking ten opzichte van het standaard scenario aangegeven.
- Scenario Z-Buf5%. 5% bufferstroken op zand: 5% van de bedrijfsoppervlakte wordt bufferstrook en daarom niet meer bemest. Van de 95% van het bedrijf dat niet bufferstrook is, is 30% maïsland en 70% grasland. Van de bufferstroken is het deel dat hoort bij maïsland (5% van de oorspronkelijke hoeveelheid maïsland) grasland en niet beweid en wordt behandeld als beheersgrasland. Van de bufferstroken is het deel dat hoort bij grasland (5% van de oorspronkelijke hoeveelheid grasland) wel beweid, tegelijkertijd met het bijbehorende perceel. In de berekening met BBPR kan een graslandperceel echter niet in twee delen worden bemest. Om de situatie zo dicht mogelijk te benaderen is in de berekening op het beweidde grasland het N-niveau 5% verlaagd ten opzichte van de standaard. In de resultaten zijn deze twee delen weer uit elkaar getrokken. Er wordt daarbij verondersteld dat de hoeveelheid weidemest (mest uitgescheiden tijdens beweiding) gelijkelijk verdeeld wordt over de bufferstroken en het beweidde grasland en dat de opbrengst van de bufferstroken gelijk is aan de opbrengst van het onbemeste, niet beweidde grasland (de bufferstrook behorende bij maïsland).
- Scenario K-Buf5%. 5% bufferstroken op klei: uitvoering zoals Z-Buf-5%. Het aandeel maïs wordt echter volledig gehandhaafd (dat blijft ruim onder de 30% van het niet-bufferstroken deel).
- Scenario Z-Buf10%, K-Buf10%. 10% bufferstroken op zand, klei en veen. Uitvoering zoals Buf5%.
- Scenario V-Buf10%. 10% bufferstroken op veen: uitvoering zoals K-Buf-5%.
- Scenario Z-Buf-10%-nbew. Zoals Z-Buf10% maar ook bufferstroken bij grasland worden niet beweid. Dit scenario is berekend om na te gaan wat het verschil is als je op een dergelijk bedrijf de bufferstroken niet mag laten beweidde.
- Scenario Z-Buf-10%-maf. Zoals Z-Buf10% maar de mest die bij de bufferstroken zou horen, wordt afgevoerd (25 kg N per ha). Dit scenario is berekend om na te gaan wat het kost als 250 kg N per ha dierlijke mest alleen geldt voor de niet-bufferstroken.

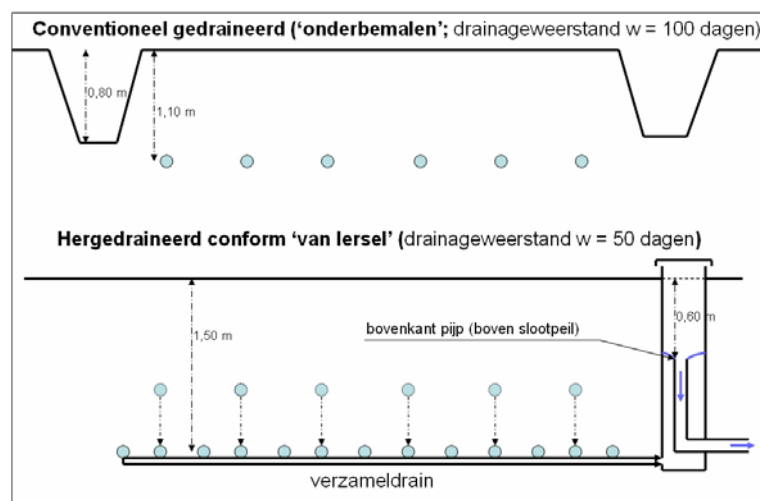
- Scenario V-Buf20%. 20% bufferstroken op veen. Uitvoering zoals V-Buf10%.
- Scenario Z-aug-SF, K-aug-SF, V-aug-SF: Opstallen per 1 augustus en dan summerfeeding (voeren met geconserveerd ruwvoer).
- Scenario Z-SF, K-SF, V-SF: Zomer en winter opstallen en summerfeeding (voeren met geconserveerd ruwvoer).
- Scenario Z-UM15%. 15% uitmijnen: 15% van de bedrijfsoppervlakte wordt niet meer bemest met fosfaat. Dit vindt plaats op grasland. Dit deel van het grasland wordt dus ook niet meer beweid. Het P_2O_5 van het uitmijn deel uit dunne rundermest wordt afgevoerd.
- Scenario Z-UM15%-SF. 15% uitmijnen met opstallen: vee wordt het hele jaar opgestald en wordt graskuil gevoerd (= summerfeeding). Het P_2O_5 van het uitmijn deel uit dunne rundermest wordt afgevoerd.
- Scenario Z-UM30%-SF. 30% uitmijnen met opstallen: 30% van de bedrijfsoppervlakte wordt uitgemijnd, alleen op gras. Het vee wordt het hele jaar opgestald (= summerfeeding). Het P_2O_5 van het uitmijn deel uit dunne rundermest wordt afgevoerd.
- Scenario Z-UM30%-ms. 30% uitmijnen op maïs: 30% van de bedrijfsoppervlakte wordt uitgemijnd op maïs. Dat is het hele areaal maïs van het bedrijf. Het vee wordt het hele zomerseizoen overdag geweid. Het P_2O_5 van het uitmijn deel uit dunne rundermest wordt afgevoerd.

Voor alle scenario's zijn de inkomsten gelijk: de melkproductie en de omzet en aanwas (dus de inkomsten voor afgevoerde dieren) zijn gelijk gehouden. Als een bedrijf ruwvoer verkoopt wordt dat van de voerkosten afgetrokken waardoor de verschillen in arbeidsopbrengst makkelijker te begrijpen zijn. Door de standaard scenario's te vergelijken met de andere scenario's zijn kosten van maatregelen te benaderen.



Figuur 5.5: Maaiveldafvoer kan het gevolg zijn van maaiveldontwatering bij hoge grondwaterstanden (links) of van ontoereikende infiltratie bij hevige neerslag (rechts). Toelichting:

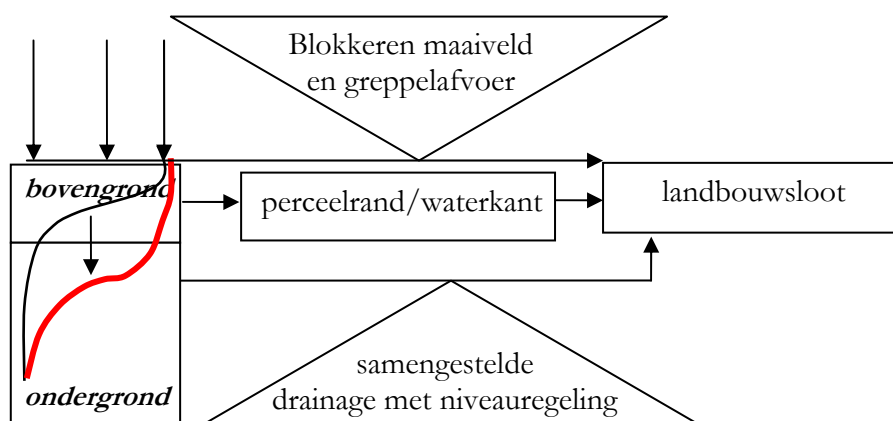
- Links: de freatische grondwaterstand komt op delen van het perceel hoger dan het maaiveld waardoor er water op het land komt te staan dat over het maaiveld naar greppels en sloten **kan** stromen. Het maaiveld fungeert als bergings- en ontwateringsmiddel en de beschrijving van dit proces is mogelijk op basis van de gedetailleerde maaiveldhoogteverdeling.
- Rechts: in perioden met hevige neerslag kan de infiltratiecapaciteit van de bodem onvoldoende zijn en treedt oppervlakteafvoer op naar lagere plekken of naar het oppervlaktewater. In de lage plekken wordt water geborgen en kan alsnog infiltreren of het water komt tot afvoer als de berging onvoldoende is. De beschrijving van dit proces is door de hoge ruimtelijke en temporele variabiliteit van de infiltratiecapaciteit problematisch (denk aan invloed van grondbewerking en verslemping).



Figuur 5.6: Het verschil tussen conventionele drainage en verdiept aangelegde drainage volgens het systeem Van Iersel (samengesteld met peilregeling).

5.3.2 Hydrologische maatregelen

Een juiste keuze van hydrologische maatregelen voor het verminderen van de uitspoeling naar het oppervlaktewater hangt af van de verdeling over de diepte van de (water)afvoer en van de verdeling van stikstof en fosfaat over het bodemprofiel (figuur 5.4). Ondiepe afvoer veroorzaakt in principe het meeste risico op uitspoeling naar het oppervlaktewater omdat in de bouwvoor boven in het profiel de meeste nutriënten aanwezig zijn. Het effect van de maatregel op de grondwaterstand (GHG) speelt hier echter doorheen. Een maatregel die meer ondiepe afvoer veroorzaakt veroorzaakt meestal ook een hogere grondwaterstand en dus meer mobiel P, maar voor stikstof geldt meestal het omgekeerde omdat een hogere grondwaterstand denitrificatie veroorzaakt. Per saldo zal vernatting altijd meer P afvoer veroorzaken (én meer oppervlakkige afvoer én een hogere GHG), maar voor stikstof kan de balans soms de andere kant opslaan. Daarom moet ook bij de keuze van hydrologische maatregelen ook rekening gehouden worden met de prioriteit van stikstof of fosfaat.



Figuur 5.4: Keuze hydrologische maatregelen

De volgende hydrologische maatregelen zijn beschouwd:

Ondiepe route:

- blokkeren van maaiveld- en greppelafvoer (runoff and interflow or subsurface flow)

Diepe routes:

- conventionele drainage
- verdiept aangelegde samengestelde drainage met niveauregeling
- stoppen van drainage.

Het remmen of blokkeren van de oppervlakkige afspoeling (figuur 5.5) is kansrijk omdat de ondiepe route een belangrijk aandeel kan hebben in de nutriëntenbelasting en omdat deze route relatief eenvoudig is te reduceren met een greppel of dammetje, al dan niet in combinatie met een bezinksplek.

In Nederland is de afgelopen decennia bijna 1 miljoen ha buisdrainage aangelegd, waardoor de waterhuishouding drastisch is veranderd. Drainage is na ongeveer 30 jaar aan vervanging toe en daarom is het van belang om nu na te gaan of nieuwe ideeën over drainage een bijdrage kunnen leveren aan de reductie van de

nutriëntenbelasting. Hierbij kan worden gedacht aan ondieper en nauwer draineren (drainage nieuwe stijl), dieper draineren met de buizen onder water, intensiever draineren, samengestelde drainage en drainage met een flexibele peilregeling. Het systeem van Van Iersel (samengesteld met peilregeling) biedt de mogelijkheid om een aantal vernieuwingen tegelijk door te voeren (figuur 5.6): dieper, nauwer, intensiever, samengesteld en met peilregeling.

5.3.3 Zuiveringsystemen

Onder zuiveringsystemen kunnen verschillende varianten van helofytenfilters worden verstaan. Wij gaan uit van riet als meest geschikte helofyt. Wij maken onderscheid in horizontaal en verticaal doorstroomde systemen, vloeivelden en moerasbufferstroken of natte bufferstroken. Bij de doorstroomde systemen stroomt het water dóór het substraat van de helofyten, bij vloeivelden stroomt het water óver het substraat. In het geval van moerasbufferstroken stroomt het meeste water ook over het substraat maar bij laag slootpeil kan een deel ook door de bodem worden afgevoerd (figuur 5.7). De doorstroomde systemen zijn naar ons oordeel te duur voor zuivering van slootwater en meer geschikt voor het zuiveren van afvalwater. Daarom zijn alleen vloeivelden en moerasbufferstroken nader onderzocht als middel om de fosfaat- en stikstofbelasting vanuit landbouwsloten te verlagen. Vloeivelden zullen worden aangelegd op de overgang van landbouwsloot naar waterschapsloot en hebben dus geen invloed op de kwaliteit van het landbouwslootwater zelf, bij moerasbufferstroken is dat wel het geval want die liggen op de overgang van perceel naar landbouwsloot.

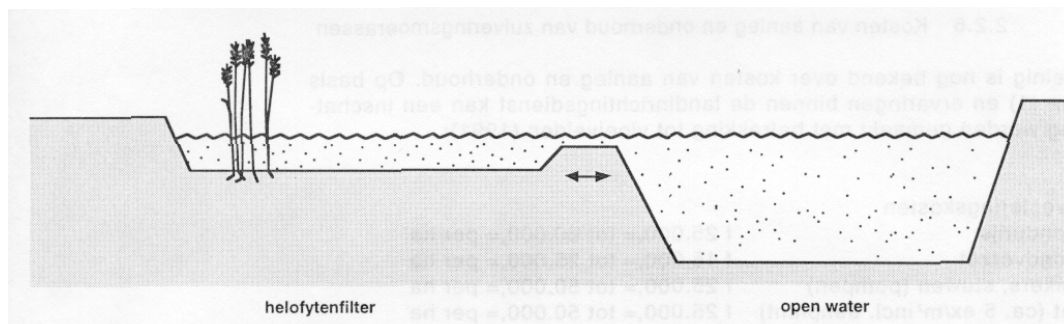
Moerasbufferstroken

Moerasbufferstroken kunnen op verschillende manieren worden ingericht. Meestal wordt naast de sloot een flauw aflopend talud of een horizontale plas- of drasberm aangelegd in ondiep water. In een plasberm heeft een natte strook een diepte van 1,5 tot 0,5 m. Een drasberm is zeer ondiep of ligt net onder de waterlijn. In een dergelijke strook kunnen de moerasplanten tot ontwikkeling komen, waaraan dit systeem zijn naam ontleent.

Uit de internationale literatuur is veel bekend over de werking van moeras- of natte bufferstroken. Echter ook voor moerasbufferstroken geldt dat de resultaten van het buitenlandse onderzoek niet zonder meer te vertalen zijn naar Nederlandse omstandigheden. In het buitenland worden moerasbufferstroken vaak aangelegd in hellend terrein, waar veel bodemerosie optreedt (afspoeling) en/of waar ondiepe uitspoeling plaatsvindt. In het vlakke Nederland hebben wij vaak te maken met gedraineerde percelen, is vaak onbekend wat het aandeel van afspoeling in de totale nutriëntenemissie is, en treedt een deel van de nutriënten uit via de slootbodem i.p.v. de slootwand.

In deze studie maken wij een inschatting van de hoeveelheid nutriënten die via afspoeling, via greppels en drainagebuizen (dus van bovenaf) in de moerasbufferstrook terechtkomen. Hierbij gaan wij uit van de situatie waarbij de bufferstrook met een drempel wordt gescheiden van de waterloop. Er kan maximaal

20 cm water worden geborgen (Figuur 5.7). In de afwijkende situatie waarbij nutriënten grotendeels via (deels diepe) bodempassage in bufferstroken terechtkomen is het zinvoller om plas- of drasbermen of helofytenfilters aan te leggen.



Figuur 5.7: Een moerasbufferstrook met een drempel langs een sloot, overgenomen van de Ridder (1996).

Vloevelden

Binnen de mogelijkheden van helofytenfilters wordt uitgegaan van vloevelden (surface flow) omdat de aanlegkosten hiervan het laagst zijn, en omdat vloevelden goed inpasbaar zijn in het landschap. Vloevelden kunnen op verschillende manieren in de ruimte worden ingepast. Als vlak op de kaart bij de overgang van landbouwsloot naar waterschapsloot, maar het is bijvoorbeeld ook mogelijk om vloevelden als lijnelement in te plannen als beekbegeleidende (nood)waterberging. Wij gaan voor de vloevelden uit van een gemiddelde waterdiepte van 45 cm.

Grondbeslag

We gaan zowel voor de moerasbufferstroken als helofytenfilters uit van een grondbeslag van 5%, met 70% effectief zuiveringsoppervlak (Hey et al., 2005).

Beheer

Met name voor fosfaatverwijdering is het van belang dat gewasafvoer wordt bevorderd, daarom is het belangrijk dat jaarlijks vroeg in het najaar wordt gemaaid (vóór de reallocatie van nutriënten naar de wortelstokken van het riet). De effectiviteit kan nog verder worden verhoogd door het zuiveringsysteem iedere zes jaar te baggeren, dit voorkomt fosfaatverzadiging van de bovengrond van het zuiveringsysteem. Dit baggeren is goed te combineren met vernieuwing van het riet.

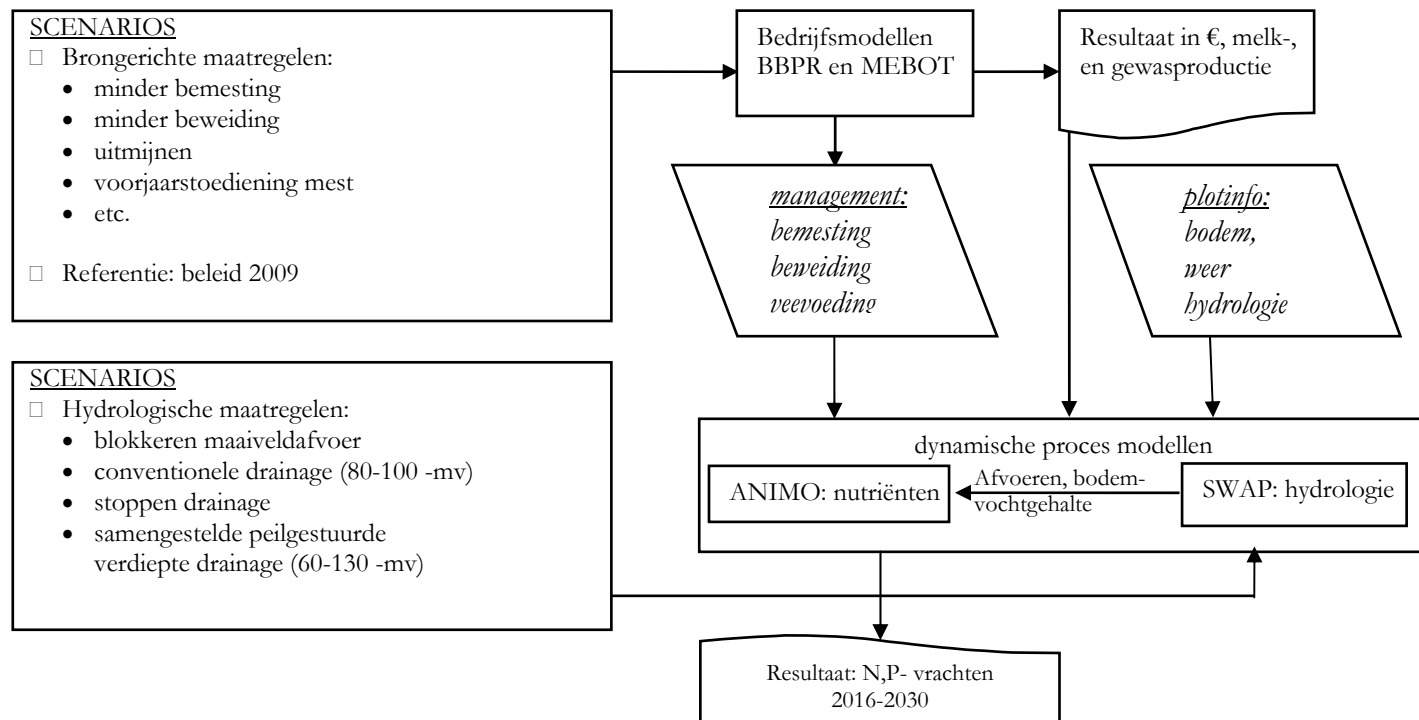
5.4 Modelaanpak

Voor een gedetailleerde beschrijving van de gebruikte modellen verwijzen we naar Groenendijk et al. (2005: ANIMO), Kroes et al. (2008: SWAP), Schreuder et al. (2007: MEBOT) en Schils et al. (2007:BBPR). Figuur 5.8 geeft een schematisch overzicht van de modelaanpak met de datastromen tussen de verschillende modellen. De brongerichte scenario's, inclusief het referentiescenario, worden uitgewerkt met de bedrijfsmodellen. Dit levert gegevens op over de fysieke productie en over het

bedrijfseconomische resultaat waarmee de kosten van de maatregelen kunnen worden berekend. Daarnaast leveren de bedrijfsmodellen tal van landbouwkundige gegevens, waarvan een deel als invoer benut wordt door de dynamische procesmodellen. Dit betreft met name de hoogte van de uitgevoerde bemesting en in het geval van melkveehouderij ook gegevens over de beweiding, de veevoeding en de daarmee samenhangende mestproductie. De dynamische procesmodellen worden daarnaast gevoed met informatie over de plots (locatiekenmerken bodem, water, weer). De uitvoer van het hydrologische model SWAP (afvoeren en bodemvochtgehalte) wordt door ANIMO als invoer gebruikt voor het berekenen van de uitspoeling. De effecten van de hydrologische maatregelen worden eerst met SWAP doorerekend (paragraaf 5.4.2) en vervolgens worden de consequenties van de veranderde hydrologie met ANIMO vertaald naar nutriëntenvrachten. Bij het doorrekenen van hydrologische scenario's wordt de bemesting volgens het referentiescenario gebruikt.

ANIMO en SWAP zijn dynamische modellen met een tijdstap in de orde van uren tot dagen, gebaseerd op mathematische beschrijving van fysische en (bio)chemische processen. De bedrijfsmodellen MEBOT en BBPR rekenen in principe voor een gemiddeld jaar en maken gebruik van empirische agronomische en economische verbanden. Dit is een belangrijk onderscheid tussen de bedrijfsmodellen en de andere twee modellen. Er vinden daarom geen directe terugkoppelingen plaats tussen dynamisch berekende systeemveranderingen en de bedrijfsmodellen. Een mooi voorbeeld daarvan is de afname van de netto stikstofmineralisatie van de bodem bij lagere bemesting, die wel door ANIMO wordt gesimuleerd, maar waarmee de bedrijfsmodellen geen rekening houden. De afname van de netto stikstofmineralisatie impliceert een lager stikstofleverend vermogen (NLV) dat als vast bodemkenmerk gebruikt wordt door het bedrijfsmodel BBPR om de graslandproductie te berekenen bij een bepaalde bemesting.

In deze benadering hebben we het gevaar dat schuilt in deze 'koppeling op afstand' zo veel mogelijk bestreden door controles op consistentie, waarbij vooral overeenkomst in perceel- of bodemoverschot als criterium is gehanteerd. In geval van een te grote afwijking zijn herberekeningen uitgevoerd met een aangepaste parametrisatie of op een andere manier correctie uitgevoerd. Deze 'trial and error' aanpak is in de desbetreffende paragrafen beschreven.



Figuur 5.8: overzicht van de modelaanpak

5.4.1 Brongerichte maatregelen en bufferstroken

Algemeen

Voor het doorrekenen van brongerichte maatregelen is gebruik gemaakt van de bedrijfsmodellen BBPR (melkvee; Schils et al., 2007) en MEBOT (akkerbouw; Schreuder et al., 2007), die ook voor andere beleidsonderbouwende studies in het kader van het mestbeleid worden gebruikt (o.a. BBPR in Schröder et al., 2004; beide in MNP, 2007). Deze modellen leveren voor de verschillende bedrijfsystemen en varianten informatie op over de nutriëntenkringloop, inclusief de bemesting, de afvoer met het gewas en daarmee het perceeloverschot. Deze bemesting is gebruikt als invoer voor het model ANIMO, dat de uitspoeling van stikstof en fosfaat berekent. De gewasopname en –afvoer vormen onderdeel van die berekening. De gewasopname en de gewasafvoer uit ANIMO kunnen dus met die van de bedrijfsmodellen worden vergeleken en hetzelfde geldt voor de perceeloverschotten die immers worden berekend als bemesting min gewasafvoer. Uit deze vergelijking kan worden opgemaakt of de te verwachten uitspoeling volgens beide soorten modellen gelijk is. Daarbij wordt er dus impliciet van uitgegaan dat het perceeloverschot een goede voorspeller is voor de uitspoeling. Dat is slechts ten dele het geval, omdat het overschot geen rekening houdt met het moment van aanvoer en afvoer en ook niet met de nutriëntenbeschikbaarheid voor gewasopname en uitspoeling in de aangevoerde meststoffen of gewasresten. Organische stikstof die aan het begin van het groeiseizoen wordt toegediend zal grotendeels benut kunnen worden terwijl gewasresten pas na het groeiseizoen beschikbaar komen en dus tot relatief veel uitspoeling leiden. Toch tellen beide posten even zwaar mee in het overschot. Hetzelfde geldt voor organische stikstof en kunstmeststikstof. Beide tellen even zwaar mee terwijl kunstmeststikstof vrijwel volledig en vrijwel direct beschikbaar komt voor opname en uitspoeling, terwijl organische stikstof slechts gedeeltelijk en op termijn beschikbaar komt. De verschillen in uitspoelingsrisico die hierdoor bestaan bij gelijk overschot worden in de praktijk gelukkig weer deels te niet gedaan doordat de geringere benutting van organische materialen wordt gecompenseerd met extra kunstmest. Hierdoor wordt toch een hoger perceeloverschot berekend bij gebruik van organische mest en bij latere toediening van organisch materiaal. Er blijft echter gereede twijfel over de voorspellende waarde van het perceeloverschot en daarom zou het vanuit inhoudelijk oogpunt beter zijn om de beide modelsystemen SWAP/ANIMO en BBPR/MEBOT te koppelen en conceptueel af te stemmen (Dijkstra et al., 1996; Schreuder et al., 2007).

Het effect van bufferstroken kan uiteraard pas worden berekend aan het eind van het bufferstrokenonderzoek (2010). Toch willen we met het berekenen van de kosten niet zo lang wachten omdat die gemakkelijk konden worden meegenomen in de bedrijfsmodellen bij het berekenen van de kosten van alternatieve maatregelen. Er wordt bovendien vast een voorlopige berekening uitgevoerd van het lineaire bemestingseffect van de bufferstroken. Dat is het effect van de geringere bemesting als gevolg van de oppervlaktegemiddeld lagere bemesting bij invoering van een onbemeste bufferstrook. Daarvoor vinden twee berekeningen plaats, één voor het perceel zonder bufferstrook en één voor de bufferstrook zelf. Voor de bufferstrook

wordt dan gerekend met onbemest natuurlijk beheerd grasland. De uitspoeling wordt vervolgens areaal gewogen gemiddeld.

5.4.1.1 Akkerbouw

Op dit moment is er dus nog geen gekoppeld instrumentarium beschikbaar voor het doorrekenen van de uitspoeling van akkerbouwrotaties. Idealiter zouden voor de verschillende scenario's (tabel 5.8) rotaties met SWAP en ANIMO moeten worden doorgerekend, waarbij de gewassen volgens schema jaarlijks worden aangepast en gewasspecifieke maatregelen (bijvoorbeeld -10% bemesting bij graan, een wintergewas na graan of verwijderen bietenblad) in het betreffende jaar op het betreffende gewas worden toegepast. Het parameteriseren van de modellen voor uitspoeling was op deze manier binnen het tijdbestek van deze studie echter niet mogelijk.

Tabel 5.8: doorgerekende akkerbouwvarianten met MEBOT (X) en ANIMO (Y).

Scenario		Type akkerbouwbedrijf			
Nr.	Naam	CZK	ZWK	ZON	NON
		aantal plots→	1	1	3
1	Referentie: gebruiksnorm 2006, mesttoediening vj zand	XY	XY	XY	XY
2	voorjaarstoediening wintertarwe klei	XY	XY	=1	=1
3	2 + NBS (alleen consumptieaardappelen)	X	X	X	X
4	2 + Vanggewas	X	X	X	X
5	geen dierlijke mest	XY	XY		
6a	2 + afvoeren bietenblad	X	X	X	X
6b	composterende bietenloof				X
7a	2 + gebruiksnorm -10% → bemesting graan	X	X	X	X
7b	2 + gebruiksnorm -20% → bemesting graan	XY	XY	XY	XY
8a	2 + P-overschot 0			XY	XY
8b	Uitmijnen			XY	
Extra	alle gewassen -20% bemesting (N en P)	Y	Y	Y	Y

Op dit moment is wel de aanpak van STONE (Wolf et al., 2003) operationeel, waarbij akkerbouwrotaties zijn vertaald naar een virtueel gemiddeld bouwlandgewas. Het probleem hierbij is dat de gewasspecifieke maatregelen als het ware uitgesmeerd worden over de tijd, terwijl dat niet gebeurt met het weer. De voorjaarstoediening van mest op graan leidt tot een over de rotatie gemiddelde verschuiving van mest van najaar naar voorjaar. Het afvoeren van bietenblad scheelt over een hele rotatie maximaal $30 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1} \text{ N}$, maar in een enkel jaar kan dat oplopen tot boven de $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1} \text{ N}$. Het effect op de uitspoeling in het betreffende jaar is naar verwachting groter dan het gemiddelde effect over de hele rotatie, omdat uitspoeling over het algemeen niet lineair reageert op vermindering van overschot en bemesting.

We hebben ons daarom noodgedwongen beperkt tot het doorrekenen van die maatregelen die binnen de thans operationele aanpak nagebootst kunnen worden (zie tabel 5.8: Y). Wintergewassen kunnen in STONE nu alleen nog voor maïs worden doorgerekend. In hoofdstuk 6 zal worden gelet op de overeenkomst en eventuele verschillen in perceelsoverschotten tussen de modelresultaten van ANIMO en MEBOT.

5.4.1.2 Melkveehouderij

Ook voor grasland en snijmaïs op melkveebedrijven is er nog geen gekoppeld instrumentarium beschikbaar voor het doorrekenen van de effecten van management op de uitspoeling naar het oppervlaktewater. Daarom is ook hier, net als bij akkerbouw, teruggegrepen op de operationele versie van STONE. Voor de melkveesector zijn brongerichte maatregelen gekozen die behalve de hoogte van de bemesting, het graslandgebruik betreffen (tabel 5.9). Het nabootsen van verlaagde bemesting met ANIMO is hier een minder groot probleem dan bij akkerbouw, omdat het gewas en de bemesting over de jaren in principe constant zijn (afgezien van de verschillen in het weer waar het bedrijfsmodel geen rekening mee houdt). Wel zal ook hier in hoofdstuk 6 moeten worden gelet op de overeenkomst en verschillen in afvoer en perceelsoverschotten.

Het geheel of gedeeltelijk (vanaf 1 augustus) opstallen van het vee (summer feeding⁹) resulteert door afname van de beweiding in een toename van de beschikbare hoeveelheid drijfmest en in een toename van de graslandproductie. Omdat drijfmest efficiënter wordt benut dan weidemest, wordt er minder kunstmest toegepast op het grasland en blijft er eventueel meer dierlijke mest over voor de maïs. Per saldo wordt er dus minder dierlijke mest en ook minder totaal stikstof gebruikt. In ANIMO kan deze verschuiving in de bemesting in iedere variant gewoon gevolgd worden. Anders zit het met de toegenomen productie. Deze verschuift van benutting door het vee (weiden; 20% verlies) in een productiestadium van 1500-2000 kg.ha⁻¹ drogestof naar maaien (6% verlies) in een stadium van 2000-3500 kg.ha⁻¹ drogestof. Hierdoor nemen de totale afvoer en de stikstofbenutting toe en nemen het aantal sneden en het overschot af. In STONE wordt standaard met 60% maaien en 40% weiden gerekend. Alleen bij summerfeeding is hier met 100% maaien gerekend. Hierop komen we terug in het volgende hoofdstuk

Tabel 5.9: aandeel maaien en weiden in de drogestof productie en N-afvoer volgens BBPR.

Variant (tabel 5.7)	ds kg.ha ⁻¹			% ds		% N-afvoer	
	maaien	weiden	Totaal	weiden	maaien	maaien	
Zand							
Standaard	3426	5218	8644	60	40		36
Z-aug-SF	6886	2971	9857	30	70		67
Z-SF	12621	0	12621	0	100		100
Klei							
Standaard	7434	4682	12117	39	61		58
K-aug-SF	9937	2373	12310	19	81		78
K-SF	13216	0	13216	0	100		100
Veen							
Standaard	4303	4804	9107	53	47		45
V-aug-SF	7264	2492	9756	25	75		72
V-SF	1205	0	1205	0	100		100

Tabel 5.10 geeft een overzicht van alle bedrijfsvarianten voor melkvee. Binnen iedere variant zijn de percelen met verschillend management en gebruik onderscheiden. Per

soort management en gebruik zijn op basis van verschil in bemesting en overschot één of meerdere situaties geselecteerd voor het doorrekenen van SWAP en ANIMO (X). De uitspoeling in de overige situaties, die nauwelijks verschillen qua bemesting en/of overschot is door middel van interpolatie geschat (i).

Tabel 5.10: Vertaling van de varianten uit BBPR naar uitspoelingsberekeningen met ANIMO (HOOFDLETTERS). De BBPR varianten met 'i' zijn niet apart doorgerekend maar geschat door interpolatie o.b.v. bemesting en overschot. Resultaten voor de varianten met FLG zijn overgenomen uit Corré et al. (i.v.).

Scenario	Areaal Maïs	Areaal gras (ha)					N-bemesting en –overschot (kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹)														
		Onbemest &onbeweid	Bemest &onbeweid	beweid grasland	Bemest &beweid	Onbemest &beweid	Maïs			Totaal grasland ¹⁰ (gem. wel/niet buffer)			Grasland niet buffer			Grasland Buffer			Onbemeste & onbeweide Grasbuffer naast maïs		
Zand							totN	Nover	ANIMO	tot N	Nover	ANIMO	totN	Nover	ANIMO	weiN	Nover	ANIMO	totN	Nover	ANIMO
Z-Stdrrd	9.60	0	0	22.50	22.50	0	199	26	i	333	93	i	333	93	i	nvt	Nvt	nvt			
Z-Buf5%	9.15	0.48	0	22.47	21.35	1.12	200	26	i	324	87	i	337	93	i	74	-20	V	0	-95	X
Z-Buf10%	8.70	0.96	0	22.44	20.20	2.24	202	29	i	316	85	i	343	96	i	72	-23	V	0	-95	X
Z-Buf10%-nbew	8.70	3.20 ¹¹	0	20.20	20.20	0	204	31	A	305	83	H	339	103	i	0	-95	X	0	-95	X
Z-Buf10%-mafi ¹²	8.70	0.96	0	22.44	20.20	2.24	188	14	B	306	75	I	333	86	S	72	-23	V	0	-95	X
Z-aug-SF	9.60	0	0	22.50	22.50	0	204	30	i	374	95	J	374	95	J	nvt	nvt	nvt			
Z-SF	9.60	0	22.5	0	22.50	0	203	30	C	456	97	K	456	97	K	nvt	nvt	nvt			
Z-UM15%	9.60	0	4.8	17.70	17.70	0	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG			
Z-UM15%-SF	9.60	0	22.5	0	0	0	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG			
Z-UM30%-SF	9.60	0	22.5	0	0	0	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG			
Z-UM30%-ms	9.60	0	0	22.50	22.50	0	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG	FLG			Zand
K-Stdrrd	4.40	0	0	37.40	37.40	0	188	14	D	488	139	L	488	139	L	nvt	nvt	nvt			Klei
K-Buf5%	4.40	0.23	0	37.17	35.31	1.86	185	11	D	461	117	i	481	124	i	73	-21	W	0	-95	Y
K-Buf10%	4.40	0.49	0	36.91	33.22	3.69	190	16	D	449	115	M	491	130	T	74	-21	W	0	-95	Y
K-aug-SF	4.40	0	0	37.40	37.40	0	239	65	i	508	146	i	508	146	i	nvt	nvt	nvt			
K-SF	4.40	0	37.40	0	37.40	0	245	71	E	528	135	N	528	135	N	nvt	nvt	nvt			Klei
V-Stdrrd	2.30	0	0	37.00	37.00	0	199	68	F	415	135	P	415	135	P	nvt	nvt	nvt			Veen
V-Buf10%	2.30	0.26	0	36.74	33.07	3.67	194	63	F	400	115	i	415	134	i	115	-61	AA	0	-176	Z
V-Buf20%	2.30	0.58	0	36.42	29.14	7.28	197	66	F	358	102	Q	419	143	U	114	-61	AA	0	-176	Z
V-aug-SF	2.30	0	0	37.00	37.00	0	244	118	i	425	122	i	425	122	i	nvt	nvt	nvt			
V-SF	2.30	0	37.0	0	0	0	247	116	G	470	91	R	470	91	R	nvt	nvt	nvt			Veen

¹⁰ Aanvankelijk is ook gerekend met de gemiddelde bemesting, maar later is gekozen voor areaalgewogen uitspoeling van wel en niet bemest grasland.

¹¹ Waarvan 0,96 naast de maïs en 2.24 naast normaal gebruikt gras

¹² Afgevoerde mest wordt gecompenseerd met kunstmest tot dezelfde effectieve N-gift

5.4.2 Hydrologische maatregelen

Om de effecten van hydrologische maatregelen op de nutriëntenbelasting te bepalen zijn met behulp van simulatie van de hydrologie met SWAP en vervolgens de nutriëntendynamiek met ANIMO voor plots 1-23 de effecten van de verschillende maatregelen doorgerekend. In tabel 5.11 staan de verschillende scenario's beschreven.

Tabel. 5.11: Hydrologische maatregelen

Scenario	
REF	Uitgangssituatie (met of zonder drainage)
REF+BMV	Blokkeren maaiveldafvoer
TD	Traditionele drainage met maaiveldafvoer
TD+BMV	Traditionele drainage met blokkeren maaiveldafvoer
DSD+BMV	Diep samengestelde peilgestuurde drainage met blokkeren maaiveldafvoer
ONT	Verwijderen huidige drainagesysteem met maaiveldafvoer
ONT+BMV	Verwijderen huidige drainagesysteem met blokkeren maaiveldafvoer

SWAP

Om bovenstaande hydrologische maatregelen in SWAP te implementeren worden per maatregel de belangrijkste modelparameters beschreven.

Blokkeren maaiveldafvoer

De maatregel 'blokkeren maaiveldafvoer' is modelmatig geïmplementeerd door de greppels te verwijderen. Daarnaast wordt de oppervlakkige afvoer vrijwel opgeheven door de berging op het maaiveld te vergroten van 3 naar 100 mm.

Draineren

Van de geselecteerde plots zijn er in de uitgangssituatie al een aantal gedraineerd. In tabel 5.12 staan de belangrijkste drainagekenmerken van deze plots weergegeven.

Tabel. 5.12: Belangrijkste drainagekenmerken voor de gedraineerde plots in de uitgangssituatie.

Geohydrotype	Afstand	Diepte	Weerstand	Winterpeil	Zomerpeil
Plot	(m)	(cm -mv)	(d)	(cm -mv)	(cm -mv)
a) 'Winterswijk'					
3355	10	100	100	140	110
b) 'Beltrum'					
1013	10	100	100	140	110
6070	10	100	100	140	110
c) 'Loon op Zand'					
1000	10	100	100	160	130
5344	10	80	100	160	130
5346	10	100	100	160	130
f) 'Lelystad'					
2082	10	120	100	185	185
2832	10	100	100	150	150
4566	10	110	100	110	110
4879	10	120	100	150	150

Ongedraineerde plots in de uitgangssituatie worden gedraineerd op de traditionele manier (TD) met of zonder blokkeren maaiveldafvoer of volgens het systeem van dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage (DSD). Draineren volgens dit systeem gaat altijd in combinatie met blokkeren maaiveldafvoer. In tabel 5.13 t/m

tabel 5.15 staan per grondsoort de belangrijkste drainagekenmerken voor beide drainagesystemen weergegeven.

Voor het implementeren van een drainagesysteem in SWAP is een optie ingebouwd die het mogelijk maakt om de laterale flux naar een bepaald type ontwateringsmiddel tot een bepaalde diepte te blokkeren. Daarmee kunnen effecten van het dieper aanleggen van drains op de grondwaterstroming worden gesimuleerd en vervolgens op de nutriëntenhuishouding. Voor een uitgebreidere beschrijving van de modelaanpak van drainage- en andere hydrologische varianten wordt verwezen naar de studie van Van Bakel et al., (2008) die gelijktijdig is uitgevoerd.

Het dempen van de sloten (drainagesysteem 3) vindt alleen plaats bij dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage en wordt bewerkstelligd door zowel de slootafstand als de slootweerstand t.o.v. de uitgangssituatie te verdubbelen.

Tabel 5.13: Belangrijkste drainagekenmerken voor beide drainagesystemen op zandgrond.

Modelparameter	TD + (BMV)	DSD + BMV
Afstand (m)	10	6
Diepte (cm-mv)	100	120
Weerstand (d)	100	50
Winterpeil (cm -mv)	110	60
Zomerpeil (cm -mv)	110	40
Dempen van sloten	-	+
Blokken laterale flux	+	+

Tab 5.14: Belangrijkste drainagekenmerken voor beide drainagesystemen op kleigrond.

Modelparameter	TD + (BMV)	DSD + BMV
Afstand (m)	10	6
Diepte (cm-mv)	100	110
Weerstand (d)	100	50
Winterpeil (cm -mv)	110	80
Zomerpeil (cm -mv)	110	60
Dempen van sloten	-	+
Blokken laterale flux	+	+

Tab.3.15: Belangrijkste drainagekenmerken voor beide drainagesystemen op veengrond.

Modelparameter	TD + (BMV)
Afstand (m)	6
Diepte (cm-mv)	80
Weerstand (d)	50
Winterpeil (cm -mv)	40
Zomerpeil (cm -mv)	20
Dempen van sloten	-
Blokken laterale flux	+

ANIMO

Vervolgens is met ANIMO uitgerekend hoe de N- en P-belasting naar de verschillende ontwateringsmiddelen per plot verandert als gevolg van bovenstaande maatregelen. De invoerparameters zijn (met uitzondering van de hydrologische parameters) gelijk aan die van de referentie 'beleid 2009' (figuur 5.8). Er worden 60 jaren doorgerekend (periode 1971-2030), waarbij vanaf 2001 een hydrologische

maatregel wordt doorgevoerd. Voor de periode 2001-2030 wordt 2 maal gebruik gemaakt van de weerreeks 1986-2000.

5.4.3 Opschalen naar bedrijfsniveau

Voor alle maatregelen, behalve uitmijnen, geldt dat zowel de kosten als het effect berekend zijn voor hetzelfde schaalniveau: perceel, bedrijf of in het geval van vloeivelden, het areaal dat op een bepaalde waterloop afwatert. Alleen voor uitmijnen geldt dat de kosten berekend zijn voor het hele bedrijf, terwijl de effecten van uitmijnen alleen gelden op het deel van het bedrijf, waar de maatregel wordt toegepast. Voor de akkerbouw geldt dat de kosten van uitmijnen lineair toenemen met het areaal dat wordt uitgemijnd. Voor de melkveehouderij worden de kosten van uitmijnen sterk bepaald door een drempelwaarde (% areaal uitmijnen) waarboven aanvullende kosten gemaakt moeten worden voor het opstellen van vee of het afvoeren van mest. Voor de melkveehouderij moeten dan ook aparte berekeningen gemaakt worden in bedrijfsverband voor verschillen percentages oppervlak uitmijnen, voor de akkerbouw is dit niet nodig.

6 Resultaten effectiviteit

6.1 Effect van ploteigenschappen

Om de resultaten van de diverse maatregelen goed te kunnen interpreteren is het nodig om de effecten van de ploteigenschappen te kennen (Tabel 6.1). Deze N- en P-vrachten zijn berekend met het referentiescenario.

Uit het overzicht blijkt dat kwel op een aantal plots een overheersende invloed heeft op de totale vracht. Dit is met name het geval op de ongedraineerde kleiplot 4566 en de gedraineerde zandplots. De hogere N- en P- kwelvrachten van deze plots hangen samen met de mariene oorsprong en/of de aanwezigheid van organische stof in de ondergrond. De gedraineerde plots trekken kwel aan door de verlaagde grondwaterstand.

Als de kwelvracht wordt afgetrokken van de totale vracht, dan blijkt er veel minder variatie te bestaan in de 'netto' vrachten tussen de plots. De netto N-vrachten van de zandplots variëren dan van 12-20 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ (gemiddeld 15). De netto P-vrachten van 0,4-1,7 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ (gemiddeld 1,0). Op de gedraineerde kleigronden zijn deze cijfers 10-15 (13) voor N en 0-0,5 (0,2) $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ voor P. De grasplots op ongedraineerde kleigrond en veengrond wijken wel duidelijk af met netto N-vrachten van 5 en 7,5, en netto P-vrachten van 5 en 2 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$. Deze lagere netto N-vrachten kunnen worden verklaard door een hogere denitrificatie op ongedraineerde klei- en veengronden. De hogere netto P-vrachten van deze plots hangen samen met de hoge kwelvrachten, die het profiel als het ware hebben 'opgeladen'.

De extra hoge vrachten van plot 23 zijn daarnaast ook het gevolg van maïsteelt op een veenplot. Veengrond is in het algemeen minder geschikt voor maïsteelt omdat deze gronden daarvoor te nat en te weinig draagkrachtig zijn. In de praktijk zullen hiervoor specifiek gronden gezocht worden met een relatief dik kleidek, terwijl hier gerekend is met een 'gewone' veengrond.

Het relatief grote aandeel kwel in de totaalvrachten moet consequenties hebben voor de uitwerking van de effecten van de maatregelen in de volgende paragrafen. Het is hierdoor minder zinvol om reductiepercentages te berekenen op basis van de totale vracht. Vooral brongerichte maatregelen, die alleen invloed hebben op de vracht 'van boven', lijken op kwelplots op basis van relatieve reductie minder effectief, terwijl dat op basis van absolute reductie niet zo hoeft te zijn. Ook voor het berekenen van kosteneffectiviteit in € per kg vrachtreductie (Hoofdstuk 2) is absolute reductie een handiger maat dan relatieve reductie. Bij de hydrologische maatregelen ligt dat anders omdat die maatregelen ook invloed kunnen uitoefenen op de aanvoer via kwel en de diepere afvoercomponenten. Daar zullen we voor de kosteneffectiviteit toch ook uitgaan van absolute verschillen tussen vrachten, omdat deze maatregelen moeten kunnen worden vergeleken met de andere maatregelen.

Tabel 6.1: Effect van de ploteigenschappen bodem, hydrologie en gewas op de gemiddelde N- en P-vracht ($\text{kg ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$; periode 2016-2030) bij toepassing van het referentiescenario.

Grondsoort	Geohydrotype	Drainage	Veldlocatie bufferproject	Regio	Bedrijfstype	Gewas	Plotnummer		Totaalvrucht		Kwelvrucht		Netto	
				Zie figuur 5.2			STONE	hier	N	P	N	P	N	P
Zand	a)	Nee	Woold	Winterswijk	melkvee	gras	4294 ^{a13}	1	13.9	1.3	0.4	0.1	13.5	1.2
		Nee		Twenthe	Onbekend	maïs	3176 ^a	2	11.6	1.4	0.3	0.0	11.3	1.4
		Nee		Dinkelgebied	akker NON	rotatie	3150 ^a	3	10.4	3.6	4.1	0.4	6.3	3.2
		Nee		Dinkelgebied	akker NON	rotatie	3420	4	7.0	0.8	-8.7	-0.2	15.7	1.0
	Gemiddeld voor a)								10.7	1.8	-1.0	0.1	11.7	1.7
	a) klei	Ja		Dinkelgebied	Akker NON	rotatie	3355	24	10.0	0.7	1.8	0.2	8.2	0.5
	b)	Nee	Beltrum	Zd-West Veluwe	melkvee	gras	3752	5	25.8	2.3	11.1	0.4	14.7	1.9
		Nee		De Peel	melkvee	gras	6063 ^b	6	14.3	0.6	-0.7	-0.1	15.0	0.7
		Nee		Twenthe	melkvee	maïs	2773 ^b	7	10.8	0.6	-0.5	0.0	11.3	0.6
		Nee		Noordwest Brabant	akker ZON	rotatie	5558 ^b	8	17.2	0.6	-0.2	0.2	17.4	0.4
	Gemiddeld voor b)								17.0	1.0	2.4	0.1	14.6	0.9
		Ja		De Peel	akker ZON	rotatie	6070 ^c	9	52.1	4.9	41.4	3.6	10.7	1.2
		Ja		Westwold	akker NON	rotatie	1013 ^c	10	53.3	4.6	34.5	3.6	18.8	0.9
	Gemiddeld voor b) gedraineer								52.7	4.7	38.0	3.6	14.8	1.1
	e)	Nee	Loon-op-Zand	Dommelgebied	melkvee	gras	5724 ^e	11	12.8	0.7	-0.5	-0.1	13.3	0.8
		Nee		Dommelgebied	melkvee	maïs	5626 ^e	13	11.0	1.9	-1.7	-0.1	12.7	2.0
		Nee		Aagebied	akker ZON	rotatie	5428 ^e	15	16.0	0.4	-1.1	-0.1	17.1	0.5
	Gemiddeld voor e)								13.3	1.0	-1.1	0.1	14.4	1.1
		Ja		Aagebied	melkvee	gras	5344 ^c	12	32.3	1.9	11.9	1.5	20.4	0.4
		Ja		Aagebied	melkvee	maïs	5346 ^c	14	35.9	2.4	17.1	2.4	18.8	0.0
		Ja		Ndwest Drenthe	akker NON	rotatie	1000 ^c	16	45.7	4.5	23.9	3.5	21.8	0.9
		Gemiddeld voor e) gedraineerd								37.9	2.9	17.6	2.5	20.3
	Gemiddeld voor zand								23.1	2.0	8.2	1.0	15.2	1.0

¹³ Grasplot met zelfde letter is gebruikt voor berekening bemestingseffect bufferstrook op bouwland en maïs.

Grondsoort	Geohydratype	Drainage	Veldlocatie bufferproject	Regio	Bedrijfstype	Gewas	Plotnummer		Totaalvrucht		Kwelvrucht		Netto	
				Zie figuur 5.2			STONE	hier	N	P	N	P	N	P
Klei	f)	Ja	Lelystad	Flevoland	melkvee	Gras	2275 ^f	17	14.1	0.7	1.3	0.2	12.8	0.5
		Ja		Flevoland	onbekend	Mais	2832 ^f	19	8.4	0.2	-1.7	-0.1	10.1	0.2
		Ja		Zuidwest zeeklei	akker ZWK	Rotatie	4879 ^f	20	15.7	0.3	0.3	0.2	15.4	0.1
		Ja		Zeeuws-Vlaanderen	akker CZK	Rotatie	2082 ^f	21	19.5	0.7	5.4	0.7	14.1	-0.1
		Gemiddeld voor f) gedraineerd							14.5	0.4	1.3	0.3	13.1	0.2
			Nee		Voorne-Putten	melkvee	Gras	4566	18	19.0	17.0	11.7	11.8	7.3
Gemiddeld voor klei								15.4	3.77	3.4	2.57	11.9	1.2	
Veen	d)	Nee	Zegveld	Rijnland	melkvee	Gras	3423 ^d	22	5.2	1.0	-2.5	-1.0	7.7	2.0
		Nee	West Friesland	melkvee	Mais	1888 ^d	23	20.2	5.8	1.5	2.1	18.7	3.7	
		Gemiddeld voor veen, d)							12.7	3.4	-0.5	0.5	13.2	2.8

6.2 Brongerichte maatregelen akkerbouw

6.2.1 Afstemming uitspoelingmodel op bedrijfsmodel

Om de consistentie in de berekeningen met de beide modeltypen te bewaken is er in deze studie voor gekozen om de berekende overschotten bij identieke bemesting te vergelijken (bijlage 1.1 en 1.2). Over het algemeen is de overeenkomst redelijk. De gewasafvoer volgens ANIMO ligt gemiddeld $0-15 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$ hoger dan volgens MEBOT en diens gevolg ligt het berekende N-overschot evenzoveel lager. Voor de verschillen zijn drie mogelijke oorzaken. Allereerst komen de bouwplannen volgens ANIMO/STONE niet exact overeen met die van MEBOT. Vervolgens rekent ANIMO met verschillende plots, die niet noodzakelijkerwijs precies overeenkomen met de in MEBOT aangenomen groeiomstandigheden. Als gevolg van de verschillen tussen de plots (zie paragraaf 6.1) kan het verschil in gewasafvoer tussen de beide modellen op afzonderlijke plots oplopen tot maximaal $36 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (plot 3420, referentie). Tenslotte blijkt het verschil meestal groter naarmate meer dierlijke mest wordt gebruikt. Dit hangt samen met de nawerking van dierlijke mest. MEBOT houdt daar geen rekening mee en ANIMO wel. De zogenaamde restfractie (Nr^{14}) van de gebruikte dierlijke mest varieert van 15% voor varkensdrijfmest tot 25% voor runderdrijfmest, voor de referentie is dat $15-25 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1} \text{ Nr}$. Deze hoeveelheid komt ook na verloop van tijd niet volledig beschikbaar voor opname (orde 50-75%), en komt dus goed overeen met het gemiddelde verschil in gewasafvoer van $13 \text{ ha}^{-1}.\text{j}^{-1} \text{ N}$ bij de referentie. Het verschil in gewasafvoer tussen ANIMO en MEBOT kan hiermee dus worden verklaard en de berekende vrachten volgens ANIMO kunnen reëel zijn.

De P-opname volgt in ANIMO de N-opname, mits er voldoende beschikbaar P aanwezig is, en is dus net als de N-opname iets hoger bij ANIMO en het P-overschot wat lager. Dezelfde verklaringen als bij N gelden hier ook. Het verschil in overschot tussen MEBOT en ANIMO is dus geen reden om aan de inschatting van de P-vracht te twijfelen.

6.2.2 Resultaten op perceelniveau

In bijlagen 1 en 3 (FLG studie, Corré et al, in voorb.) wordt een overzicht gegeven van de N- en P-vrachten voor de verschillende alternatieve maatregelen. Het bemestingseffect van bufferstroken komt pas in 6.2.3 aan de orde. Hierbij kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt.

- Het ploteffect op de vrachten is veel groter dan het effect van de brongerichte maatregelen. Dit komt vooral door de kwel (zie paragraaf 6.1), maar zelfs wanneer alleen de verschillen in vrachten tussen de scenario's worden beschouwd, dan ligt het ploteffect nog in dezelfde ordegrrootte als het effect van de brongerichte maatregelen. Dit pleit voor maatwerk bij het treffen van maatregelen.

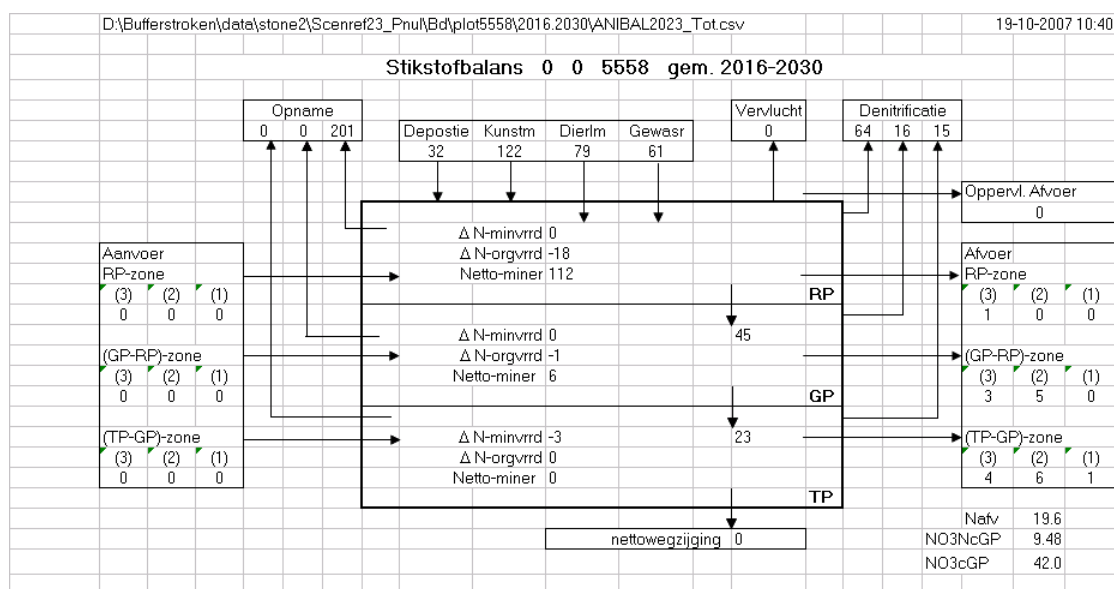
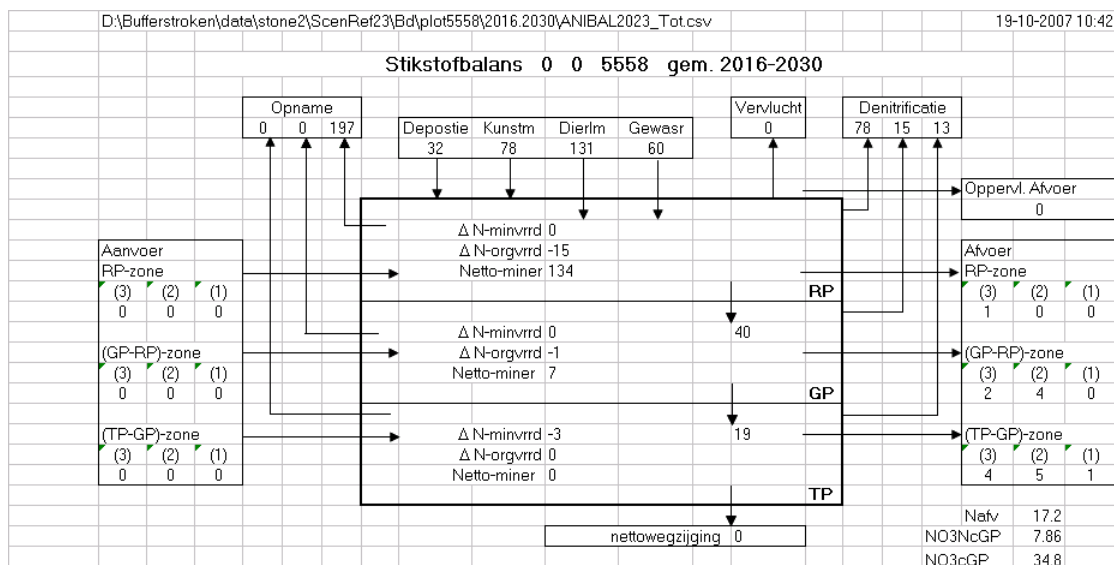
¹⁴ Het gedeelte van de mest dat na een jaar nog niet beschikbaar is gekomen

- Hierdoor is het moeilijk om op basis van deze beperkte selectie van plots (dit project 24; FLG 15) algemene uitspraken te doen over kleine genuanceerde effecten van brongerichte maatregelen. Daarvoor zou de analyse moeten worden uitgebreid naar meer of zelfs alle STONE-plots.
- De brongerichte maatregelen hebben uitgezonderd uitmijnen (ca. 20%) en in mindere mate P-evenwichtbemesting (ca. 5%) nauwelijks effect op de P-vrachten. Dit is niet verwonderlijk omdat de P-overschotten en daarmee de P-voorraad van de bodem in deze scenario's nauwelijks verminderen.
- De grootte van het effect van uitmijnen op de P-vracht hangt direct samen met het geaccumuleerde (negatieve) P-overschot en dus met de uitmijnperiode 2009-2030. Omdat de vrachten gemiddeld zijn over de periode 2016-2030 zullen de resultaten van toepassing zijn op een uitmijnperiode van ongeveer $(2016+2030)/2 - 2008 = 15$ jaren
- Uitmijnen op graan heeft zowel voor N als P een groter effect op de vrachten dan uitmijnen in rotatie door een lager N- en P-overschot. De uitspoeling van graan is relatief gering vergeleken met andere gewassen uit de rotatie.
- Effecten op de N-vracht hangen vooral samen met het gebruik van dierlijke mest en met het N-overschot.
 - Voorjaarstoediening van dierlijke mest op klei heeft een relatief groot effect (scenario 2 scheelt $3,3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ N, dat is 18%). Het effect is op klei groter dan bijvoorbeeld 20% verminderen van de bemesting (Extra¹⁵). Bij zand wordt bij de referentie al mest in het voorjaar toegediend. Het effect van voorjaarstoediening is een gecombineerd effect van een lager toegediend mestvolume in verband met het voorkómen van schade in het voorjaar, een groter aandeel kunstmest daardoor, en de geringere verliezen van de mest zelf buiten de winterperiode, waardoor de mest beter werkt en ook in totaal minder stikstof hoeft te worden toegediend.
 - Stoppen met dierlijke mest (5) heeft een nog groter effect op kleigrond. Het scheelt $1 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ extra ten opzichte van het vorige scenario 2.
 - Integraal 20% reduceren van de bemesting (Extra) levert slechts ongeveer $2 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ vermindering van de N-vracht op, op zand wat meer dan op klei. Het is opmerkelijk dat dit minder is dan 10% van de totale vracht maar ook hier speelt de relatief grote kwelvracht een rol in de akkerbouwsituaties (gemiddeld ongeveer de helft in tabel 3.1). Daarnaast neemt het gewas ook minder op door minder bemesting, waardoor minder bemesting niet volledig doorwerkt in de uitspoeling. Bij hogere bemesting in de uitgangssituatie zou het effect uiteraard groter zijn.
 - Het verlagen van de N-gebruiksnorm betekent minder gebruik van N-kunstmest (vergelijk 7b voor klei met 2!). Dit heeft een gering effect op de N-vracht, mede doordat bij de referentie de hogere gebruiksnorm niet maximaal is opgevuld. Er is bij de referentie volgens advies bemest, rekening houdend met N-nawerking van gewasresten, e.d. Verder is de gehanteerde N-werking van mest in het voorjaar doorgaans hoger dan forfaitair. Dit leidt ertoe dat de korting op de beschikbare N bij deze maatregel geringer is dan de korting op de gebruiksnorm. Andersom geredeneerd geldt dat het effect van deze

¹⁵ Tussen haakjes het nummer, de code of de naam van het scenario

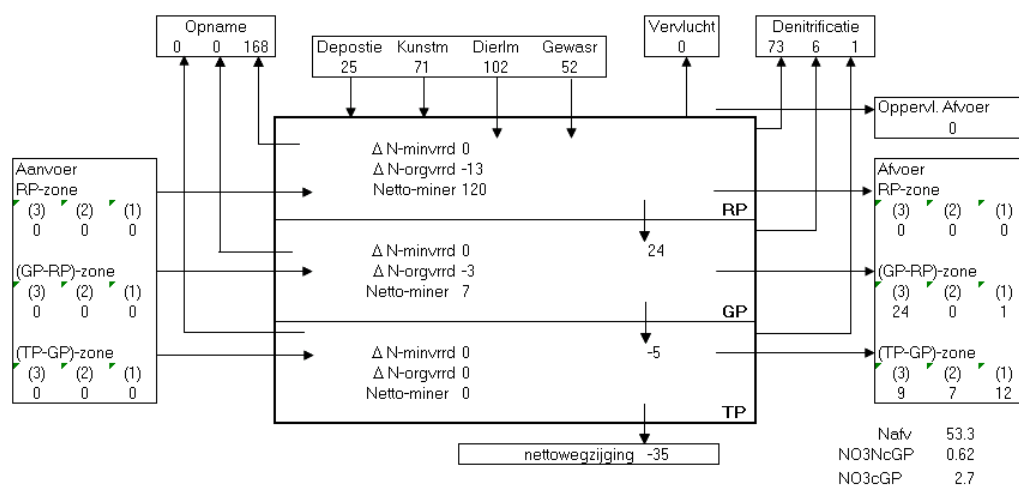
maatregel groter zou zijn wanneer een akkerbouwer in de referentiesituatie de norm zou opvullen en dus boven advies zou bemesten. Bovendien is de gekorte gebruiksruimte vooral weggehaald bij graan, dat vergeleken met de andere beter salderende gewassen in de vruchtwisseling relatief weinig uitspoeling geeft.

- P-evenwichtbemesting veroorzaakt op klei geen reductie van de N-vracht, want de N-bemesting blijft gelijk (vergelijk 8a met 2!). Dit scenario leidt hier alleen tot het gebruik van iets minder P-kunstmest en daarmee een kleine (verwaarloosbare) vermindering van de P-vracht.
- Op zandgrond leidt P-evenwichtbemesting tot een forse daling van de dierlijke mestgift, met ter compensatie een forse stijging van de N-kunstmestgift. Door de geringere toediening van niet direct werkzame reststikstof in de dierlijke mest (N_r) daalt overal het overschot, maar het effect op de N-vracht is minder éénduidig. Bij ZON neemt de N-vracht gemiddeld toe en bij NON neemt hij gemiddeld af, maar het is per plot verschillend. Hier spelen twee dingen door elkaar.
 - 1) MEBOT rekent met een hogere N-werkingscoëfficiënt van dierlijke mest (76% op zandgrond) ten opzichte van de module QUADMOD (50%) (Berge et al., 2000), die voor ANIMO wordt gebruikt. De effectieve N-gift neemt hierdoor volgens ANIMO meer toe dan volgens MEBOT tussen de referentie met veel en scenario 8a met weinig dierlijke mest. (het verschil in N-effectief tussen 1 en 8a bedraagt 13 (NON) - 19 (ZON) $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ volgens ANIMO en 5-6 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ volgens MEBOT). Hierdoor zal ondanks de afname van het overschot door minder N_r , toch meer N kunnen uitspoelen door toename van de effectieve N. Dit is dus een gevolg van een verschil in werkingscoëfficiënt tussen de modellen en daarom niet reëel.
 - 2) De afname van het gebruik van dierlijke mest en de daaraan gekoppelde toename van het N-kunstmestgebruik heeft niet alleen effect via de opname en het overschot, maar ook via denitrificatie en mineralisatie. Figuur 6.1 is een stikstofbalans over de volle rekenperiode voor een relatief droge zandplot met veel nitraatuitspoeling, waar de balans doorslaat naar meer uitspoeling bij gebruik van minder dierlijke mest. Figuur 6.2 is een relatief natte gedraineerde plot met veel kwel, waar de balans doorslaat naar minder uitspoeling bij gebruik van minder dierlijke mest. Denitrificatie neemt af door minder dierlijke mestgebruik (minder vers afbreekbaar organisch materiaal) en mineralisatie op termijn eveneens, doordat jaarlijks minder organische N wordt toegediend. Uit de geringe verschillen tussen de verschillende balansen blijkt dat er sprake is van een genuanceerd spel van de diverse factoren.
- Daarnaast is er nog een mogelijk direct effect op de uitspoeling, omdat de timing van de bemesting van kunstmest afwijkt van die van dierlijke mest, waardoor een andere interactie met het weer ontstaat (temperatuur, wel of geen bui na bemesting). Dit effect speelt echter niet in de beide gevallen van figuur 6.1 en 6.2 omdat de oppervlakkige afvoer hier geen rol speelt.
- Bij uitmijnen in rotatie neemt de berekende stikstofvracht enigszins toe (gemiddeld 2 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ N). Dit hangt, zoals toegelicht bij het vorige punt, samen met het verschil in werkingscoëfficiënt tussen ANIMO en MEBOT en is daarom niet reëel.



Figuur 6.1: Stikstofbalans voor de periode 2016-2030 ($\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) van voorbeeldplot 5558 (ZON) voor de scenario's referentie (1; boven) en P-evenwichtbemesting (8a; onder). $\Delta \text{N-minvrrd}$ en $\Delta \text{N-orgvrrd}$ staan voor het bergingsverschil van de minerale en de organische N-voorraad in de bodem. Opname is bruto-opname. Tussen haakjes de drie beschouwde afvoersystemen: 3 ondiep, 1 diep. cGP staat voor de concentratie op GLG niveau.

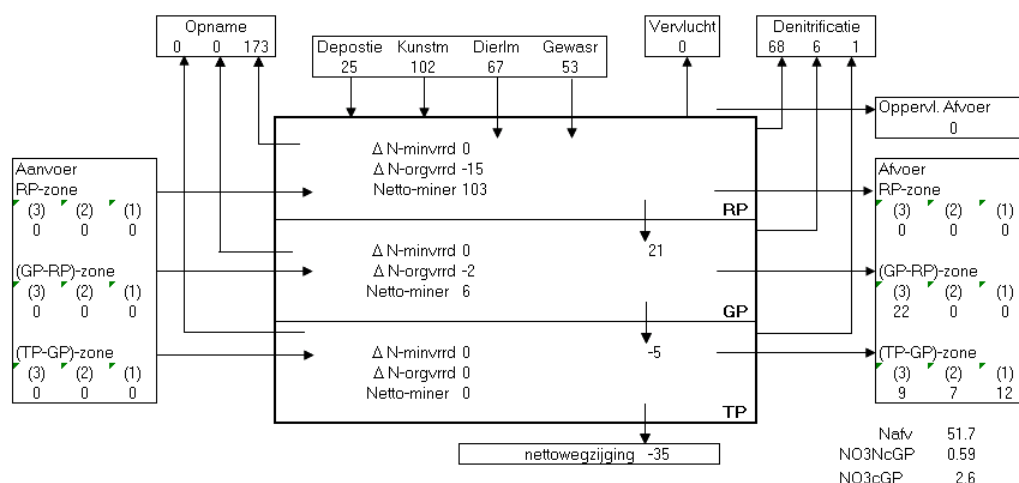
Stikstofbalans zand akkb 1013 gem. 2016-2030



d:\Bufferstroken\data\stone2\Scenref23_Pnu\Bd\plot1013\2016.2030\ANIBAL2023_Tot.csv

31-10-2007 18:37

Stikstofbalans zand akkb 1013 gem. 2016-2030



Figuur 6.2: Stikstofbalans voor de periode 2016-2030 ($\text{kgN} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$) van voorbeeldplot 1013 (NON) voor de scenario's referentie (1; boven) en P-evenwichtbemesting (8a; onder). $\Delta N\text{-minvrrd}$ en $\Delta N\text{-orgvrrd}$ staan voor het bergingsverschil van de minerale en de organische N-voorraad in de bodem. Opname is bruto-opname. Tussen haakjes de drie beschouwde afvoersystemen: 3 ondiep, 1 diep. cGP staat voor de concentratie op GLG niveau.

6.2.3 Resultaten op bedrijfsniveau (uitmijnen en bemestingseffect van bufferstroken)

Op akkerbouwbedrijven is de effectiviteit op bedrijfsniveau in principe gelijk aan die op perceelniveau, omdat hier de vruchtwisseling alleen over de jaren hoeft te worden geïntegreerd. We gaan er impliciet van uit dat de rotatie voor alle percelen geldt. Dit uitgangspunt geldt niet voor de uitmijnsen scenario 30% uitmijnen op graan. Hier worden de fosfaatlekkende percelen (30% van het bedrijf) continu met graan beteeld voor een effectievere P-onttrekking. Voor zowel uitmijnen op graan als in rotatie geldt dat de effectiviteit van de maatregel (op perceelniveau) alleen geldt voor de

30% percelen waar de maatregel wordt toegepast. Per saldo is de effectiviteit op bedrijfsniveau dus 30% van die op perceelniveau (tabel 6.2). Het effect van uitmijnen is na opschalen tot bedrijfsniveau beperkt tot een paar procent, maar ook eigenlijk alleen bedoeld voor specifieke fosfaatlekkende percelen. Daar levert het na 15 jaren ongeveer één kg P-vrachtreductie op per ha per jaar.

Ook voor het bemestingseffect van de bufferstroken is een gewogen middeling naar areaal noodzakelijk (tabel 6.2). Hierbij gaan we ervan uit dat onbemeste grasbufferstroken worden aangelegd. De inschatting van de uitspoeling vanuit die grasbufferstroken is lastig, omdat de omzetting van bouwland naar grasland niet expliciet is doorgerekend. In plaats daarvan hebben we de vrachtreductie genomen van de best overeenkomende onbemeste grasplots ten opzichte van de referentie (bemeste grasplot) uit het onderdeel melkvee (paragraaf 6.3, zie ook de lettercode in tabel 6.1, kolom STONE plot). Voordeel van deze benadering is dat hij niet wordt beïnvloed door het effect van de kwel, die sterk verschilt tussen de plots. Maar het blijft een grove benadering omdat een onbemeste grasplot na grasland natuurlijk anders reageert (aanvankelijk meer uitspoeling door naijling) dan een onbemeste grasplot op voormalig bouwland (aanvankelijk minder uitspoeling door vastlegging). Op grond hiervan mag aanvankelijk onderschatting van het bemestingseffect van de bufferstrook op bouwland worden verwacht. Na langere tijd komt de organische stofdynamiek in evenwicht met het nieuwe gebruik en zal de voorgeschiedenis weinig meer uitmaken. Aangezien in de modelberekeningen een forse periode is doorgerekend (2009-2030, waarvan 2016-2030 is gebruikt voor de gemiddelde vrachten) zal de onderschatting niet groot zijn.

De bijdrage van het bemestingseffect aan de vrachtreductie is maar heel gering voor stikstof en nihil voor fosfaat. Als lineair geëxtrapoleerd wordt naar een theoretische 100% bufferstrook dan blijkt de vrachtreductie maximaal zo'n 8 kg N per ha per jaar te bedragen. Dit theoretisch maximum bedraagt voor de bouwlandplots dus zo'n één derde van de totale vracht. De achtergrondbelasting, die bestaat uit kwel en mineralisatie is hier dus groter dan de vracht die door het landbouwkundig handelen wordt veroorzaakt. De kwel is relatief groot op de bouwlandplots omdat er veel gedraineerde plots tussen zitten (Tabel 3.1).

Geen P-bemestingseffect van grasbuffers is geen verrassing omdat de P-vracht vooral door de bodemtoestand en minder door de bemesting wordt bepaald. De introductie van een grasbuffer zal pas na langere tijd de P-toestand van de bodem verlagen en dan nog alleen in de bufferstrook zelf.

Tabel 6.2: Resultaten uitmijnen akkerbouw voor het bedrijfsysteem ZON (periode 2016-2030; Corré et al., in voorb.).

Scenario Nr.	Naam	Bedrijf systeem	Aantal Plots	Kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹					
				N-vracht	Verschil met ref	P-vracht		Verschil met ref	
8b	Referentie uitmijnen	ZON	5 (4) ¹⁶	30 ¹⁷	0	5.0 ¹⁷	1.53 ¹⁸	0 ¹⁷	0 ¹⁸
	Uitmijnen rotatie perceel	ZON	5 (4)	32	-2	4.2	1.45	0.8	0.08
	Uitmijnen graan perceel ¹⁹	ZON	5 (4)	19	11	3.9	0.80	1.1	0.73
	30% Uitmijnen rotatie bedrijf	ZON	5 (4)	31	-1	4.8	1.51	0.2	0.02
	30% Uitmijnen graan bedrijf	ZON	5 (4)	27	3	4.7	1.31	0.3	0.12
5% bufferstrook		CZK/ZWK	2	17.1	0.33	0.49		0.01	
		ZON	3	27.6	0.43	1.89		0.01	
		NON	4	28.3	0.47	3.25		0.02	
		gemiddeld	9	24.3	0.41	1.88		0.01	
10% bufferstrook		KLEI	2	16.6	0.65	0.49		0.03	
		ZON	3	26.7	0.86	1.83		0.02	
		NON	4	27.6	0.95	3.15		0.03	
		gemiddeld	9	23.6	0.82	1.82		0.03	

Tabel 6.3: Vergelijking stikstofopname (Nopn) en -verliezen van grasland (Ngwr, B=bovengronds, O=ondergronds) tussen BBPR, ANIMO en QUADMOD bij maaien (M) en gemengd gebruik (MW). MW is bij ANIMO en QUADMOD 60% M, bij BBPR is dat variabel.

gebruik Plot Nkm Ndm					BBPR	ANIMO			QUADMOD					QUADMOD, verhouding MW/M & M/MW				
					netto	bruto	netto	totaal	bruto	netto	Ngwr			bruto	netto	Ngwr		
					Nopn	Nopn	Nopn	Ngwr	Nopn	Nopn	Tot	Boven	Onder	Nopn	Nopn	Tot	Boven	Onder
Zand	MW	5344	133	200	240	468	245	223	465	242	223	89	134	0.72	0.69	0.76	0.76	0.76
	M		170	286	359	630	336	294	646	353	293	117	176	1.39	1.46	1.31	1.31	1.31
Klei	MW	2275	188	300	349	650	323	327	683	356	327	131	196	0.91	0.97	0.84	0.85	0.84
	M		195	333	393	654	310	344	754	366	388	155	233	1.10	1.03	1.19	1.18	1.19
Veen	MW	3423	151	264	280	685	354	331	691	360	331	132	199	0.86	0.82	0.90	0.90	0.90
	M		164	306	379	729	362	367	808	441	367	147	220	1.17	1.23	1.11	1.11	1.11

¹⁶ Soms is      extreme plot weggelaten

¹⁷ gemiddelde van 5 plots

¹⁸ gemiddelde van 4 plots

¹⁹ Dit scenario heeft een 6,5 (P) en 42 (N) kg.ha⁻¹.j⁻¹ lager overschot dan rotatie

6.3 Brongerichte maatregelen melkveebedrijven

6.3.1 Afstemming uitspoelingsmodel op bedrijfsmodel voor grasland

Ook bij grasland vergelijken we de berekende overschotten bij identieke bemesting (bijlage 1.3 en 1.4). Over het algemeen is de overeenkomst redelijk. Daarop zijn de volgende uitzonderingen.

- Zonder bemesting overschat BBPR de opname op zandgrasland (95 versus 75 $\text{N g} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) omdat het geen rekening houdt met het afnemende stikstofleverend vermogen (NLV) als gevolg van het ontbreken van toediening van Nr uit dierlijke mest. Bovendien onderkent BBPR geen verschillen in NLV tussen verschillende plots, alleen tussen veen en minerale grondsoorten. Dit is geen probleem voor de uitspoelingsberekeningen omdat ANIMO hier wel rekening mee houdt.
- ANIMO berekent ook een lagere NLV op veen dan BBPR (136 versus 176 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$). Dit verschil is groter dan bij zandgronden (40 versus 20 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) en kan dus niet geheel geweten worden aan het verschil in organische bemesting (Nr). Bij normale bemesting (V-Strd) berekent ANIMO daarentegen een fors hogere opname, met andere woorden de recovery is veel hoger bij ANIMO ten opzichte van BBPR. De N-vracht wordt hierdoor mogelijk onderschat bij de hogere bemestingsniveau's. Dit zou nader moeten worden onderzocht.
- De opname van gras ligt op kleigrond volgens BBPR hoger dan bij ANIMO (20-40 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$). Dit kan opnieuw worden verklaard door de hoger NLV bij klei (95 versus 55 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$). Bij maaien (SF) wordt het verschil veel groter. Kennelijk gaat BBPR uit van een hogere potentiële productie op kleigronden. De productieniveau's van grasland in BBPR zijn afgeleid van veldproeven en aangepast aan bodem en Gt op basis van de zogenaamde HELP-tabellen, die in het verleden door expert judgement zijn vastgesteld en worden gebruikt voor schadeberekeningen en waardeschattingen in het kader van ruilverkaveling. Het productieniveau van ANIMO is hier berekend met QUADMODO, dat deels is gebaseerd op praktijkproductiestatistieken. Waarschijnlijk zijn de N-vrachten hier dus wat overschat voor relatief ideale omstandigheden (BBPR/HELP) en reëler voor minder ideale praktijkomstandigheden (QUADMODO/ANIMO).
- Het verschil in opname tussen 100% maaien (SF) en de overige scenario's met gemengd gebruik is in ANIMO te klein vergeleken met BBPR, vooral op klei en veen. Op de kleiplot 2275 (tabel 6.3) is de netto opname zelfs geringer bij maaien dan bij gemengd gebruik! ANIMO rekent in deze studie bij gemengd gebruik met 60% maaien. De waarden voor potentiële productie en gewasverliezen worden gevonden door lineaire interpolatie tussen de waarden van de module QUADMODO bij 100% en 0% maaien (tabel 6.3). Vervolgens wordt de actuele opname in ANIMO berekend op basis van de beschikbare stikstof in de bodem. Daarom is de ANIMO opname soms lager dan bij QUADMODO, vooral bij 100% maaien op de plots op klei en veen, die de hogere stikstofvraag kennelijk niet aankunnen. Het verschil tussen actuele en potentiële opname verklaart echter slechts ten dele het geringe verschil tussen maaien en gemengd gebruik. In het geval van kleiplot 2275 wordt de extra potentiële productie volgens QUADMODO door alleen te maaien (M) in plaats van gemengd gebruiken (MW) (754-683 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1} \text{N}$) volgens ANIMO vrijwel helemaal niet

gerealiseerd door stikstofgebrek ($654\text{--}650 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1} \text{ N}$). Ondanks de vrijwel gelijke netto opname tussen M en MW, zijn de berekende gewasverliezen van M groter dan MW ($344 > 327 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1} \text{ N}$) en is de berekende netto opname van M dus kleiner dan bij MW ($310 < 323 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1} \text{ N}$).

- De aanvullende verklaring zit in de (potentiële) gewasverliezen van QUADMODO. Die gaan zowel bovengronds als ondergronds ongeveer even sterk omhoog als de bruto opname, waardoor de netto opname te weinig toeneemt. ANIMO neemt de gewasverliezen van QUADMODO bovendien over zonder correctie voor de geringere bruto opname als gevolg van te weinig beschikbare stikstof, alleen bij 100% maaien op klei is dat wel het geval (NgwrT 344 ten opzichte van $388 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1} \text{ N}$).
- In BBPR zijn de bovengrondse gewasverliezen ongeveer 20% van de bruto bovengrondse productie bij weiden en 6% bij maaien, in QUADMODO is dat 27% bij gemengd gebruik en 25-30% bij maaien. Dit is een aanzienlijk verschil van ongeveer 20% bij 100% maaien (ordegrootte $100 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1} \text{ N}$!). In alle gevallen blijven de potentiële (niet door N beperkte) bovengrondse gewasverliezen bij ANIMO/QUADMODO meer dan 26%²⁰ van de totale potentiële bovengrondse productie, ongeacht het gebruik. Dat is niet juist. Het gevolg van deze onderschatting van de netto productie bij maaien is een onderschatting van het effect van opstallen in de uitspoelingsberekeningen. Op kleiplot 2275 (figuur 6.3) leidt dit zelfs tot een toename van de N-vracht bij opstallen en dat is niet reëel.

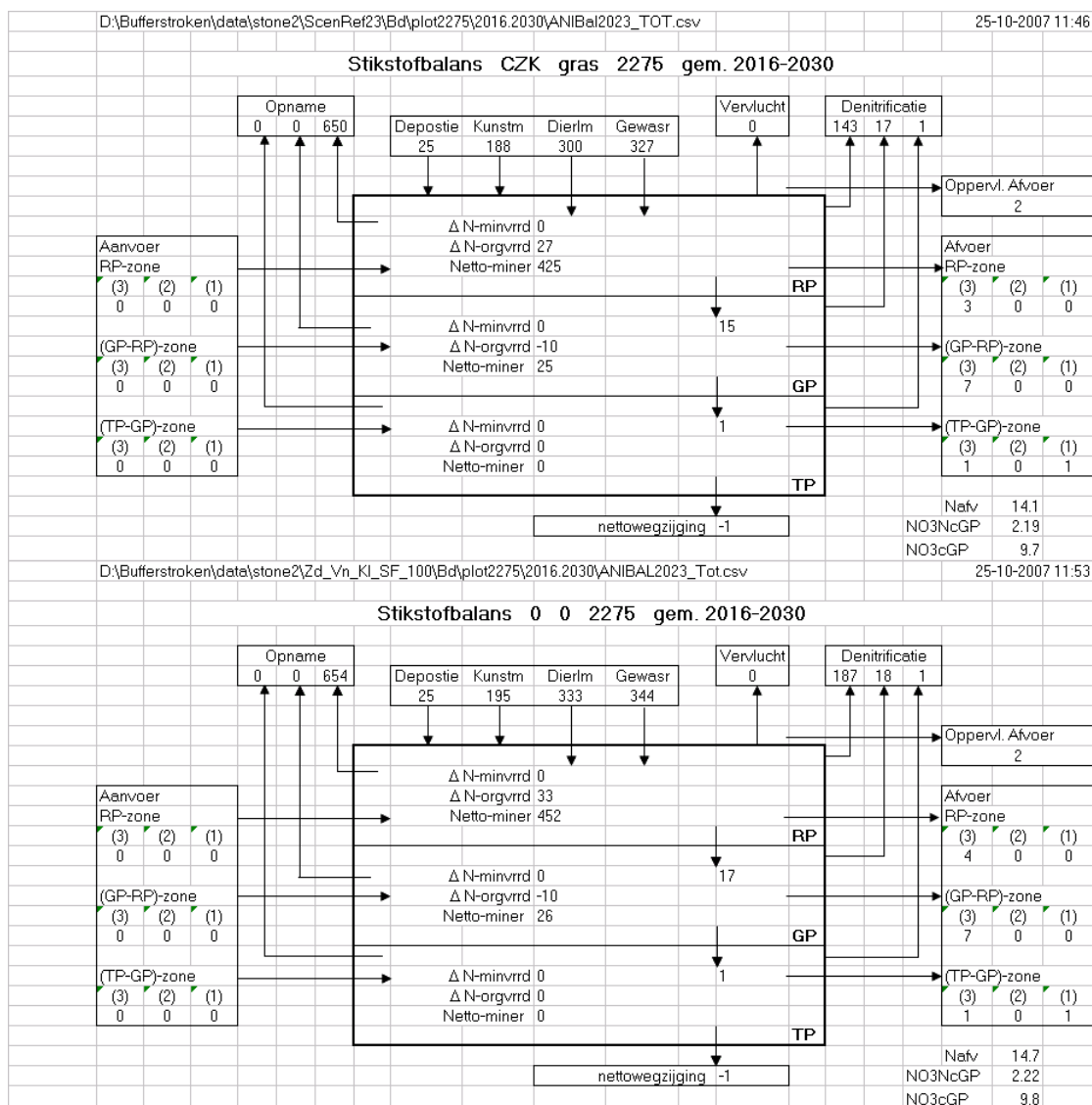
6.3.2 Afstemming uitspoelingmodel op bedrijfsmodel voor maïs

De afvoer van snijmaïs volgens ANIMO ligt op zandgrond structureel een kleine $20 \text{ kg N per ha per jaar}$ lager dan volgens BBPR (Bijlage 1.5 en 1.6). Dit was ook al zo bij de uitmijnsenario's in de studie van Corré et al. (in voorb.; Bijlage 3). De lagere N-opname hangt samen met het gebruik van dierlijke mest. Naarmate minder mest wordt gebruikt, wordt er minder Nr toegediend en zal op termijn het stikstofleverend vermogen (NLV) dalen. ANIMO houdt hier wel, en BBPR geen rekening mee. De jaarlijkse hoeveelheid Nr ligt in de orde van $25\text{--}35 \text{ kg N per ha per jaar}$. Op termijn komt het grootste deel daarvan beschikbaar voor opname, ongeveer $15\text{--}25 \text{ kg N per ha per jaar}$. Dit bedrag komt goed overeen met het verschil in gewasafvoer tussen ANIMO en BBPR. Voor de inschatting van de N-vracht is dit geen probleem omdat de afnemende NLV reëel is.

Daarnaast is de potentiële netto-opname van maïs in ANIMO door de module QUADMODO begrensd op $169 \text{ kg N per ha per jaar}$. Alleen wanneer er constant voldoende stikstof beschikbaar is wordt dat maximum gehaald (zoals bijna bij klei-SF). Meestal blijft de actuele netto opname daar dus onder. Dit levert verder geen probleem op bij de inschatting van de N-vracht omdat de opname al begrensd is door de stikstofbeschikbaarheid.

Ook op kleigrond ligt de opname lager in ANIMO, behalve wanneer extra dierlijke mest is toegediend (bij SF). Op veengrond ligt de N-opname lager dan op de andere

²⁰ $100\% * \text{NgwrB} / (\text{netto Nopn} + \text{NgwrB})$ volgens QUADMODO in tabel 6.3



Figuur 6.3: Stikstofbalans voor 60% maaien (boven) en 100% maaien (beneden) voor kleigrasland, plot 2275.

grondsoorten maar bij ANIMO wel 10 kg per ha per jaar hoger dan bij BBPR. Bij SF nog wat meer door de extra dierlijke mest. De inschatting van de productie en het N-opname niveau van snijmaïs op veengrond is een hachelijke zaak omdat er geen proeven van bekend zijn. Het is daarom niet mogelijk om aan te geven of hier van over- of onderschatting sprake is. Het verschil SF - Strd komt bij zandgrond minder sterk tot uitdrukking dan bij klei en veen omdat op zand het verschil in dierlijke mestgebruik minder groot is dan bij klei en veen.

De P-opname is bij ANIMO op zandgrond één kg per ha per jaar lager dan volgens BBPR, en net als bij stikstof ligt de opname op klei wat hoger en op veen wat lager. Dat is logisch want de P-opname volgt in principe de N-opname zolang die niet beperkt wordt door P toestand van de bodem. Inschattingen van de P-vracht lijken dus reëel.

6.3.3 Resultaten op perceelniveau: grasland

Ook voor grasland geldt dat de verschillen in N-vrachten tussen de plots van dezelfde ordegrootte zijn als de verschillen tussen de brongerichte maatregelen. De verschillen in de P-vrachten tussen de plots zijn veel groter dan tussen de maatregelen, omdat de P-vracht vooral door de bodemvoorraad wordt bepaald. Het effect van bemesting op de N-vracht is duidelijk aanwezig (bijlage 1.3, 3.3). De N-vracht daalt met 2,1 (veen) – 4,7 (klei) kg per ha per jaar als er alleen nog wordt beweide, en met 3,4 (veen) – 8,7 (zand) kg per ha per jaar als er helemaal niet meer wordt bemest. Voor P ziet het er hetzelfde uit (Bijlage 1.4, 3.4), maar de effecten zijn veel geringer (bodemvoorraad). Het effect van geen bemesting kan niet zonder meer aan een bufferstrook worden toegekend omdat daarvoor eerst areaalgewogen moet worden gemiddeld (volgende paragraaf).

Het effect van opstallen (SF) op het N-overschot van de beide modellen komt bij zandgrond redelijk overeen. ANIMO onderschat het effect van opstallen op N-overschot en -vracht. Het berekende effect is gemiddeld een vrachtreductie van 2,9 kg N per ha per jaar. Op basis van een balans van uitspoelbare N mag na correctie voor de hogere opname in BBPR een vrachtreductie van iets minder dan 5 kg N per ha per jaar verwacht worden.

Op kleigrond leidt de onderschatting van het effect van opstallen op het overschot, zoals besproken in de vorige paragraaf, zelfs tot een irreële geringe toename van de N-vracht, een artefact veroorzaakt door de modellen. Ook de geringe afname op veen van 0,2 kg N per ha per jaar is niet reëel, omdat ook hier het effect op het N-overschot is onderschat (in BBPR neemt het overschot met meer dan 40 kg N per ha per jaar af, terwijl volgens ANIMO er een toename is van meer dan 40 kg N per ha per jaar). Als we uitgaan van het effect op zandgrond en er rekening mee houden dat de effecten op klei- en veengrond matiger zijn dan op zandgrond, dan is een vrachtreductie van ongeveer 2 kg per ha per jaar een redelijke schatting.

Ook in het geval van uitmijnen wordt er alleen gemaaid, omdat er ook geen P met weidemest mag worden toegediend. Dit betekent net als bij de SF scenario's een onderschatting van het effect van uitmijnen op het N-overschot (bijlage 3.3, 70-80 kg N per ha per jaar). Desondanks is de N-vrachtreductie aanzienlijk en bedraagt afhankelijk van het scenario 5-8 kg N per ha per jaar. In werkelijkheid zal het effect dus groter zijn omdat ANIMO het effect van alleen maaien onderschat. Op basis van de berekende overschotten schatten we een vrachtreductie van 9-13 kg N per ha per jaar. Dit effect is veel groter dan bij de SF scenario's omdat daar wel en hier geen dierlijke mest wordt toegediend. Dit scheelt zo'n 75 kg per ha per jaar aan Nr, die op termijn vrijkomt.

De effecten van de maatregelen op de P-vrachten (bijlage 1.4, 3.4) zijn grotendeels hetzelfde als bij de N-vrachten, zij het dat het effect op P veel kleiner is, omdat P-vrachten vooral door de bodemvoorraad worden bepaald. De gevallen waar er geen reductie optreedt maar een geringe toename van de P-vracht hangen dan ook samen met een geringe toename van het overschot ten opzichte van de referentie. Ook de afwijkingen van de trends bij stikstof hangen daarmee samen.

Ook in het geval van uitmijnen (bijlage 3.4) hangt de reductie van de P-vracht direct samen met het gerealiseerde P-overschot. Deze is afhankelijk van de uitmijnperiode, in

dit geval 15 jaren. De vrachtreductie op grasland bedraagt ongeveer $0,25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ P voor deze periode.

6.3.4 Resultaten op perceelniveau: maïs

Het effect van de verschillende maatregelen op de bemesting en het overschot van maïs op zandgrond zijn gering (Bijlagen 3.5 en 3.6). Door bufferstroken en opstallen neemt de bemesting op de maïs iets toe. Alleen bij het scenario mestafvoer (maf) neemt de bemesting wat af. Bij uitmijnen van grasland neemt de bemesting op maïs flink toe. De gevolgen voor opname en vracht zijn marginaal of in het geval van uitmijnen gering (bijlage 3.5 en 3.6).

Op klei- en veengrond neemt door opstallen de dierlijke mestgift van de maïs sterk toe (Bijlage 3.5. en 3.6). In vergelijking met zandgrond is hier immers veel minder maïsareaal beschikbaar (10 klei en 6 veen versus 30% op zand). De stikstofopname van maïs neemt hierdoor op kleigrond met 13 en op veengrond met 6 kg N per ha per jaar toe, als gevolg van de mineralisatie op langere termijn van de extra reststikstof uit de mest. Het effect van Nr op het overschot is groter, iets meer dan 40 kg N per ha per jaar. Op kleigrond leidt de extra dierlijke mest op perceelniveau tot een toename van de vracht met één kg N per ha per jaar, maar op veengrond gaat het echt mis, de N-vracht neemt met meer dan 10 en de P-vracht met meer dan 1 kg per ha per jaar toe. Zoals al aangegeven in paragraaf 6.3.2 is het rekenen met snijmaïs op veengrond hachelijk, omdat het ontbreekt aan toetsgegevens. Veengrond is bovendien minder geschikt (te nat) voor bouwland. In de praktijk zullen de minst ongeschikte percelen met een behoorlijk kleidek worden geselecteerd, wij hebben echter met slechts één veenplot gerekend. In het model wordt met vaste mesttoedieningstijdstippen gewerkt. Hierdoor zal soms ook in te natte perioden (voorjaar) mest zijn toegediend, wat in de praktijk op veengrond niet mogelijk is. In de praktijk zal onder dergelijke omstandigheden de toediening worden uitgesteld, waardoor het negatieve effect van de mest kan meevallen. Met het oog op nawerking buiten het groeiseizoen is echter ook uitstel van mesttoediening niet wenselijk. De combinatie van veengrond, bouwland en dierlijke mest is vanuit milieuoogpunt dus überhaupt niet aan te bevelen.

6.3.5 Effectiviteit op bedrijfsniveau

De scenario's resulteren op de melkveebedrijven in verschillende grondgebruikstypen, verdeeld over het bedrijf (tabel 5.10: maïs, onbemeste grasbuffer, beweide gras met beweide of onbeweide buffer, onbeweid gras met onbeweide buffer, uitmijnen gras en uitmijnen maïs). Ieder grondgebruikstype heeft zijn eigen berekende bemesting, overschot en vracht. In tabel 6.4 zijn deze resultaten areaalgewogen gemiddeld over het bedrijf.

Als gevolg van de areaalgewogen middeling van de verschillende grondgebruikstypen worden de berekende effecten op bedrijfsniveau nog veel kleiner dan de effecten op perceelniveau (6.3.3 en 6.3.4). Dit komt natuurlijk in de eerste plaats doordat de

Tabel 6.4: Bedrijfsgemiddelde (areaalgewogen) N- en P-vrachtreductie in $\text{kg ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ per melkveehouderij scenario.

Scenario	Gemiddelde		minimum plot		maximum plot	
	N	P	N	P	N	P
Z-Stdrrd (vracht)	19,1	1,42				
Z-Stdrrd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Z-Buf5%	0.21	0.01	0.15	0.00	0.20	0.01
Z-Buf10%	0.43	0.02	0.31	0.01	0.39	0.03
Z-Buf10%-nbew	0.98	0.01	0.68	-0.03	1.41	0.03
Z-Buf10%-maf	0.54	0.05	0.50	0.03	0.57	0.07
Z-aug-SF	1.54	-0.06	1.06	-0.07	3.00	-0.03
Z-SF	2.03	-0.09	1.27	0.09	4.34	-0.04
Referentie uitmijnen (vracht)	15,6	1,17				
Z-UM15%	1.06	0.00	-0.46	-0.07	2.56	0.07
Z-UM15%-SF	0.75	0.00	-0.81	-0.07	2.35	0.06
Z-UM30%-SF	1.60	0.03	-0.48	-0.06	4.05	0.14
Z-UM30%-ms	0.13	0.05	-0.44	0.01	0.52	0.09
K-Stdrrd (vracht)	15,7	7,9 ²¹				
K-Stdrrd	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K-Buf5%	0.24	0.00	0.18	-0.01	0.30	0.00
K-Buf10%	0.48	0.01	0.36	0.00	0.60	0.02
K-aug-SF	-0.37	-0.01	-0.64	-0.02	-0.19	-0.01
K-SF	-0.37	0.03	-0.64	0.03	-0.19	0.03
V-Stdrrd (vracht)	6,1	1,3				
V-Stdrrd	0.00	0.00	Slechts één plot doorgerekend voor gras en één voor maïs			
V-Buf10%	0.21	-0.02				
V-Buf20%	0.43	-0.01				
V-aug-SF	-0.64	-0.11				
V-SF	-0.46	-0.03				

maatregelen maar op een beperkt deel van het bedrijf worden toegepast. In het geval van bufferstroken waarvoor alleen het bemestingseffect is berekend, betreft het 5-20%, en in het geval van uitmijnen maximaal 30% van het bedrijfsareaal Alleen opstallen (SF) betreft het volledige graslandareaal (zand 70, klei 90, veen 94%). Maar ook hier vallen de effecten nog tegen. Op klei en veen is er zelfs een klein negatief effect berekend van opstallen, maar dat komt vooral door de onderschatting van de opname door gras bij volledig maaien door ANIMO/QUADMOD (6.3.1). Daarnaast geldt een klein effect van compensatie door de extra bemesting op maïs. De onderschatting van het effect van opstallen speelt ook bij het verschil tussen uitmijnen op gras met en zonder opstallen (Z-UM15% -SF en Z-UM15%). Er is geen andere reden waarom uitmijnen met opstallen een geringere reductie zou hebben dan zonder opstallen, eerder het omgekeerde mag worden verwacht omdat zowel de graslandproductie als de mestbenutting stijgen.

Het bemestingseffect van bufferstroken is klein ($< 0,5 \text{ kg N per ha per jaar}$, $< 4\%$ bij 10% bufferstrook), maar het verschil tussen beweide en onbeweide bufferstroken komt er op zandgrond wel uit. Interessant is dat het afvoeren van de mest die overeenkomt met de gebruiksnorm voor de bufferstroken (Z-Buf10%-maf) op bedrijfsschaal minder reductie oplevert dan het stoppen met het beweiden van bufferstroken en de mest vervolgens verdelen over de rest van het bedrijf (Z-Buf10%-nbew).

²¹ Dit bedrijfs-gemiddelde is berekend met twee totaal verschillende grasplots met 17 en 0,7 kg per ha per jaar P-vracht.

De gekozen benadering met absolute vrachtreducties (in plaats van procentueel) brengt de variabiliteit tussen de plots flink terug. Het verschil in absolute reductie tussen minimum en maximum plot is altijd minder dan 4 x de gemiddelde waarde en de trends die zichtbaar zijn bij het gemiddelde zijn er ook bij de minimum en maximum plot.

6.4 Effectiviteit van hydrologische maatregelen per locatie

In deze en de volgende paragraaf worden de resultaten van de hydrologische maatregelen besproken, eerst voor een vijftal voorbeeldlocaties (6.4) en vervolgens per afzonderlijke maatregel (6.5). In deze paragraaf 6.4 zijn bij wijze van voorbeeld de locaties gekozen waar de veldexperimenten van het onderzoek naar de effectiviteit van bufferstroken plaats vindt (zie tabel 5.4). De resultaten van de overige locaties of plots zijn in een aparte bijlage 4 ondergebracht, die kan worden opgevraagd.

De resultaten van de verschillende maatregelen kunnen worden opgesplitst in hydrologische effecten en effecten op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. De hydrologische effecten worden steeds besproken aan de hand van grondwaterstand en afvoeren. Aangezien de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) over het algemeen het sterkst reageert op maatregelen is in de diverse figuren niet de gemiddelde grondwaterstand over de periode 2016-2030 weergegeven, maar de GHG. Wanneer ook een effect op GLG is waargenomen is dit eveneens aangegeven. De afvoer via de verschillende ontwateringsmiddelen is de **bruto afvoer**, tenzij anders aangegeven. Wanneer de aanvoer meer dan 5% bedraagt van de netto afvoer is dit ook weergegeven.

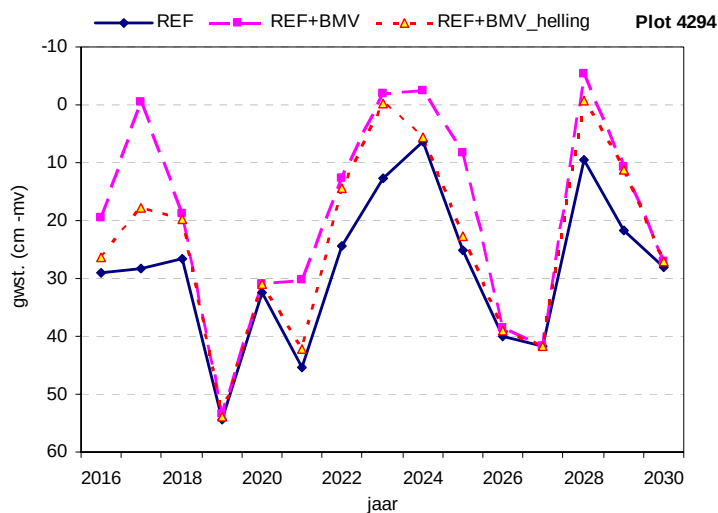
De doorgerekende hydrologische scenario's zijn referentie (REF), blokkeren maaiveldafvoer (BMV), traditionele drainage (TD), verdiepte samengestelde drainage (DSD), stoppen van drainage (ONT) en combinaties.

6.4.1 Woold, geohydrotype a

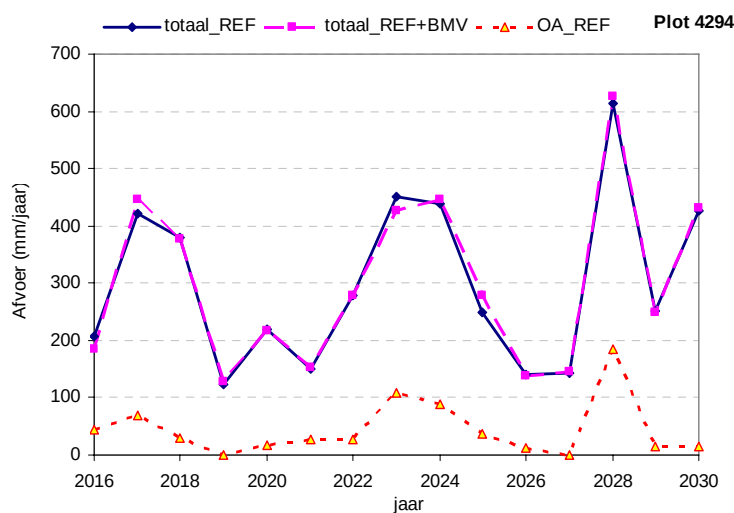
Voor de bufferlocatie (plot 4294) is alleen de maatregel 'blokkeren maaiveldafvoer' (BMV) doorgerekend, waarvan de resultaten hieronder beschreven worden. De maatregel BMV is ook doorgerekend met een hellend oppervlak (2%) zoals op de bufferlocatie. De helling is modelmatig nagebootst door de maaiveldberging (normaal 100 mm) met een factor 20 te verkleinen (5 mm).

Tabel 6.5: Doorgerekende hydrologische maatregelen en plots van geohydrotype a.

Plot	REF	REF + BMV	TD	ONT	ONT + BMV
3150	X	X	X		
3176	X	X			
3555	X	X		X	X
4294 Woold	X	X			



Figuur 6.4: Gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm -mv) in Woold in de periode 2016-2030.



Figuur 6.5: Totale afvoer en oppervlakteafvoer (OA) in Woold voor de uitgangssituatie REF en 'blokkeren maainveldafvoer' BMV.

Tabel 6.6: De meest relevante kenmerken van plot 4294.

Kenmerk	
Grondsoort	Zand
Geohydtype	A
Bedrijfstype	Melkvee
Gewas	Gras
Fosfaatverzadigingsgraad	0.41
Drainage	Nee
Gt-klasse	V*
Wegzijging (mm/jaar)	12
Helling (%)	2.0

Hydrologie

Doordat de GLG tussen de scenario's gelijk blijft, wordt het verschil in gemiddelde grondwaterstand voornamelijk bepaald door de verschillen in GHG (tabel 6.7). In

Figuur 6.4 is het verloop van de gemiddeld hoogste grondwaterstand weergegeven voor de periode 2016-2030 voor de scenario's. Uit deze figuur blijkt dat het verschil in GHG tussen beide scenario's door de jaren heen sterk varieert.

Tabel 6.7: Grondwaterkarakteristieken in Woold voor de uitgangssituatie, BMV en BMV+helling.

Gwst. Karakteristiek	REF	REF+BMV	BMV+Helling
GHG (cm -mv)	28	19	23
GLG (cm -mv)	127	127	127
GVG (cm -mv)	71	70	70
(GHG + GLG) / 2 (cm -mv)	78	73	75
Gemiddelde grondwaterstand (cm -mv)	83	80	82

Tabel 6.8: Gemiddelde jaarlijkse bruto waterafvoer (mm/jaar) in Woold naar de onderscheiden ontwateringsmiddelen per scenario voor de periode 2016-2030.

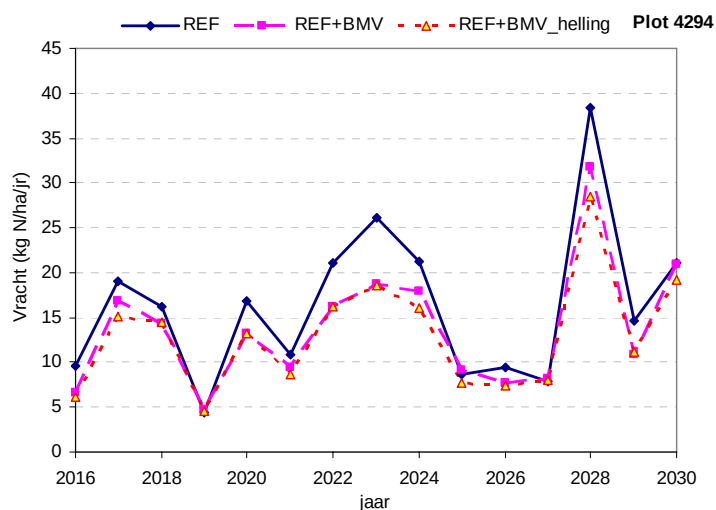
Scenario	Afvoeren						Wegzijing
	Runoff	maaienveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal ¹
REF	9	36	0	151	95	9	299
REF + BMV	0	0	0	186	106	10	302
Helling (2%)	26	0	0	166	99	9	300

¹: netto afvoer (bruto afvoer minus aanvoer) van oppervlaktewater

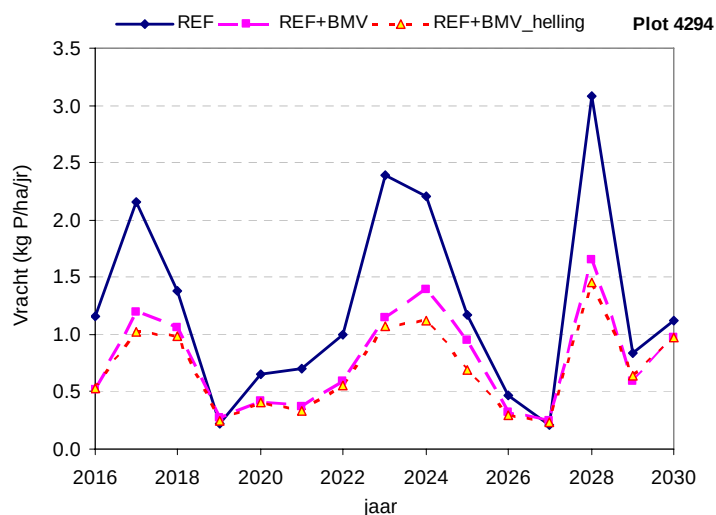
In tabel 6.8 en figuur 6.5 staat de jaarlijkse bruto waterafvoer weergegeven per scenario voor de periode 2016-2030. Tevens is de oppervlakteafvoer (runoff + maaiveldafvoer) in de uitgangssituatie gegeven. Door 'blokkeren maaiveldafvoer' is er in de periode 2016-2030 onder vlakke omstandigheden geen runoff, waardoor er geen oppervlakteafvoer plaatsvindt. Doorhelling neemt de oppervlakteafvoer toe.

Opmerkingen bij hydrologie

- Door het blokkeren van de maaiveldafvoer wordt de gemiddeld hoogste grondwaterstand over de periode 2016-2030 bijna 10 cm hoger. Uit figuur 6.4 blijkt dat dit per jaar sterk varieert. De variatie is o.a. 'gekoppeld' aan de hoeveelheid neerslag. In natte jaren zijn de verschillen in GHG tussen beide scenario's groot, terwijl in drogere jaren de verschillen minimaal zijn. 'Blokkeren maaiveldafvoer' heeft geen effect op de GLG.
- Uit tabel 6.8 blijkt dat het neerslagoverschot in de uitgangssituatie voor het grootste gedeelte ($\pm 50\%$) wordt afgevoerd via het tertiaire systeem (ondiepe sloten). Ook de gemiddelde bijdrage van de oppervlakteafvoer (runoff + maaiveldafvoer) is relatief groot (15%). Ook deze bijdrage varieert door de jaren heen (Figuur 6.5).
- Bij het blokkeren van de maaiveldafvoer blijft de totale afvoer ongeveer gelijk. Er is geen afvoer via runoff of via het maaiveld. De oppervlakteafvoer wordt voor het grootste gedeelte 'overgenomen' door de ondiepe sloten. De afvoer via deze sloten neemt toe met meer dan 20%. Ook de afvoer via het secundaire systeem (diepere sloten) neemt met ongeveer 10% toe.
- De hoeveelheid water die via de drainagesystemen infiltreert is $<1\%$.
- Wanneer rekening wordt gehouden met een helling van 2%, waardoor de maaiveldberging afneemt van 100 naar 5 mm, wordt een deel van het neerslagoverschot via runoff afgevoerd (9%). De GHG is hierdoor lager dan bij de maatregel BMV zonder helling.



Figuur 6.6: Totale jaarlijkse netto N-belasting naar het oppervlaktewater in Woold in de periode 2016-2030 voor de uitgangssituatie REF en 'blokkeren maaiveldafvoer' BMV met en zonder helling.



Figuur 6.7: Totale jaarlijkse netto P-belasting naar het oppervlaktewater in Woold in de periode 2016-2030 voor de uitgangssituatie REF en 'blokkeren maaiveldafvoer' BMV met en zonder helling.

Nutriëntenbelasting

Hiervoor is bij hydrologie gebleken dat de jaarlijkse variatie in afvoeren vrij groot kan zijn. Daarom is naast de gemiddelde vracht in tabel 6.9, in figuur 6.6 en 6.7 ook het verloop in de tijd gegeven van de totale jaarlijkse netto N- en P-belasting van het oppervlaktewater.

Tabel 6.9: Door ANIMO berekende bruto N en P-vracht ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) naar de verschillende ontwateringsmiddelen in Woold, gemiddeld over de periode 2016-2030.

Scenario	Afvoeren							Reductie	Wegzijing
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal ¹		
N-belasting									
REF	0.10	4.79		8.12	3.40	0.18	16.38		0.31
REF+BMV	0.00			9.90	3.69	0.21	13.78	16%	0.30
Helling (2%)	0.29			9.06	3.46	0.20	13.01	21%	0.31
P-belasting									
REF	0.02	0.72		0.34	0.16	0.01	1.25		0.18
REF+BMV	0.00			0.55	0.22	0.01	0.78	38%	0.18
Helling (2%)	0.06			0.44	0.19	0.01	0.70	44%	0.18

¹: netto N- en P-afvoer (bruto afvoer minus aanvoer)

Om inzicht te krijgen in de oorzaak van de verschillen van de vrachten tussen de scenario's zijn in tabel 6.10 de bijbehorende N en P-concentraties (mg/l) per afvoersysteem en per scenario weergegeven. De concentraties zijn bepaald met de bruto afvoeren.

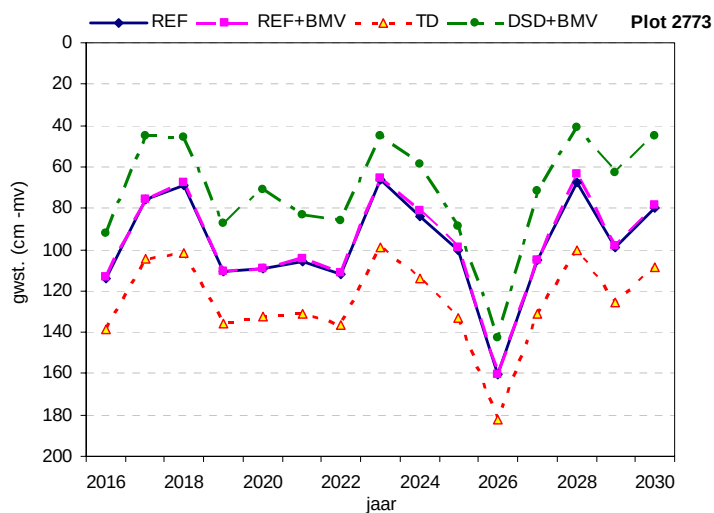
Tabel 6.10: Gemiddelde N- en P-concentraties (mg/l) van de waterflux via de verschillende afwateringsystemen op basis van de bruto afvoer.

Scenario	Afvoeren							Reductie
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal	
N-concentratie								
REF	1.08	13.36		5.38	3.38	2.09	5.48	
REF+BMV				5.31	3.48	2.18	4.57	17%
Helling	1.12			5.47	3.49	2.19	4.34	
P-concentratie								
REF	0.22	2.02		0.22	0.17	0.12	0.42	
REF + BMV				0.29	0.21	0.14	0.26	38%
Helling	0.22			0.27	0.19	0.14	0.24	43%

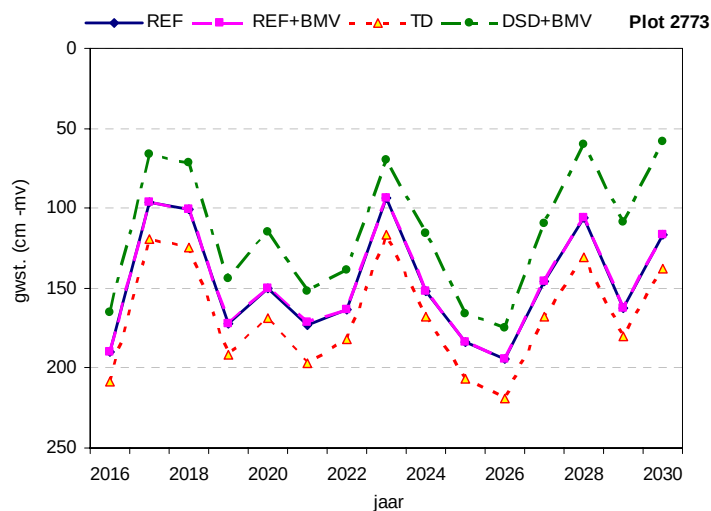
Op basis van bovenstaande resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- 'Blokkeren maaiveldafvoer' resulteert in een totale afname van de N-belasting met gemiddeld 16%. De totale P-belasting neemt gemiddeld zelfs af met 38%. Uit de figuren blijkt dat in droge jaren het effect van blokkeren van de maaiveldafvoer zeer gering is.
- Het water dat via het maaiveld wordt afgevoerd heeft een significant hogere N- en P-concentratie dan het water dat via de overige drainagesystemen wordt afgevoerd. Uit de waterbalans van de uitgangssituatie blijkt dat 12% van het neerslagoverschot via het maaiveld wordt afgevoerd. Door de hoge N- en P-concentratie wordt in de uitgangssituatie ongeveer 30% van de totale N-vracht en 60% van de totale P-vracht via het maaiveld afgevoerd. Blokkeren van deze afvoer heeft mede hierdoor een sterk positief effect op de totale nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater.
- De N- en P-aanvoer via infiltratie van oppervlaktewater is verwaarloosbaar.

Wanneer rekening gehouden wordt met een hellend oppervlak wordt een grotere reductie van de N- en P-vracht verkregen. De sterkere reductie is het gevolg van het feit dat de N- en P-concentratie van het water dat via runoff het systeem verlaat lager is dan de N- en P-concentratie van het water dat via de drainbuizen wordt afgevoerd.



Figuur 6.8: Gemiddelde hoogste grondwaterstand (cm -mv) in Beltrum in de periode 2016-2030.



Figuur 6.9: Gemiddelde laagste grondwaterstand (cm -mv) Beltrum in de periode 2016-2030..

6.4.2 Beltrum, geohydrotype b

Tabel 6.11: Doorgerekende hydrologische maatregelen en plots van geohydrotype b.

Plot	REF	REF + BMV	TD	DSD+BMV	ONT	ONT + BMV
1013	X	X			X	X
2773 Beltrum	X	X	X	X		
3752	X	X	X	X		
5558	X	X	X	X		
6063	X	X	X	X		
6070	X	X			X	X

Tabel 6.12: De meest relevante kenmerken van plot 2773.

Kenmerk	
Grondsoort	Zand
Geohydrotype	B
Bedrijfstype	Melkvee
Gewas	Maïs
Fosfaatverzadigingsgraad	0.47
Drainage	Nee
Gt-klasse	VI
Wegzijing (mm/jaar)	98
Helling (%)	1.0

Hydrologie

Voor Beltrum zijn 2 maatregelen met drainagesystemen doorgerekend (tabel 6.13).

Tabel 6.13: Kenmerken van de geïmplementeerde drainagesystemen in Beltrum.

Kenmerken	TD	DSD + BMV
Diepte (cm)	110	120
Afstand (m)	10	6
Weerstand (dagen)	100	50
Zomerpeil (cm -mv)	110	40
Winterpeil (cm -mv)	110	60

De grondwaterkarakteristieken bij de maatregel BMV onder vlakke omstandigheden veranderen niet door een helling van 1% zoals op de bufferlocatie (tabel 6.14, figuur 6.8). Alleen de GHG wordt iets hoger (42 in plaats van 41 cm -mv). De gemiddeld laagste grondwaterstand voor de uitgangssituatie en 'blokkeren maaiveldafvoer' zijn praktisch gelijk (tabel 6.14, figuur 6.9). Het implementeren van beide drainagesystemen heeft niet alleen effect op de GHG (tabel 6.14, figuur 6.8), maar ook op de GLG (tabel 6.14, figuur 6.9). Tabel 6.15 geeft een overzicht van het effect op gemiddelde afvoeren.

Tabel 6.14: Grondwaterkarakteristieken voor de uitgangssituatie, BMV, TD en DSD+BMV in Beltrum

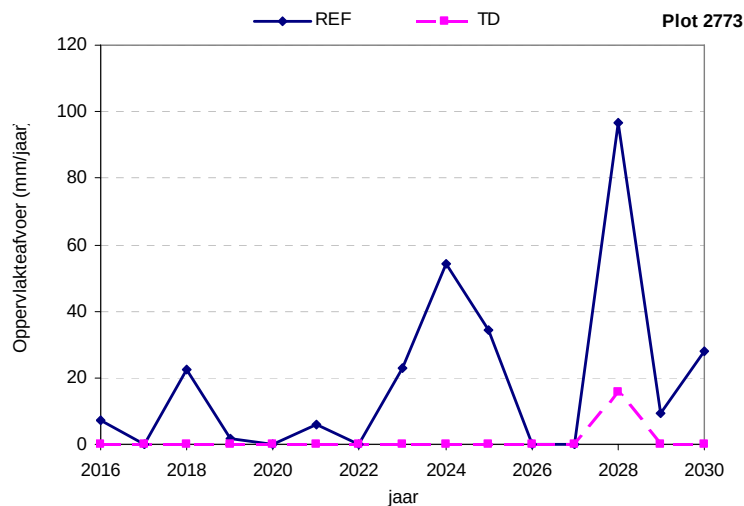
Gwst. Karakteristiek	REF	REF + BMV	TD	DSD + BMV
GHG (cm -mv)	45	41 (42 met 1% helling)	87	26
GLG (cm -mv)	147	147	168	114
GVG (cm -mv)	61	57	96	48
(GHG + GLG)/2 (cm -mv)	96	94	127	70
Gemiddelde grondwaterstand (cm -mv)	97	96	125	71

Figuur 6.10 gaat speciaal in op de oppervlakteafvoer, in figuur 6.11 zijn vervolgens voor alle scenario's de jaarlijkse totale bruto waterafvoeren voor 2016-2030 uitgezet.

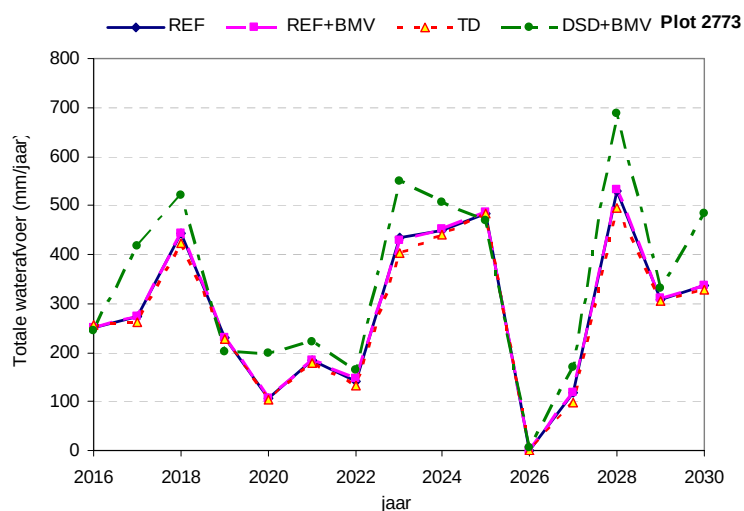
Tabel 6.15 Gemiddelde bruto waterafvoer (mm/jaar) naar de onderscheiden ontwateringsmiddelen in Beltrum per scenario voor de periode 2016-2030.

Scenario	Afvoeren						Wegzijing
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	
REF	4	15		191	58	18	285
REF+BMV	0			208	60	18	286
Helling (1%)	4			205	60	18	286
TD	1	0	132	122	17	4	274
DSD+BMV	0		295	38	10	2	336

¹⁾ netto afvoer (bruto afvoer minus aanvoer) van oppervlaktewater



Figuur 6.10: Jaarlijkse oppervlakteafvoer (runoff + maaiveldafvoer) in Beltrum voor de uitgangssituatie (REF) en traditionele drainage (TD). Bij de scenario's BMV en DSD+BMV is er geen oppervlakteafvoer.



Figuur 6.11: Totale bruto waterafvoer (mm/jaar) in Beltrum voor de periode 2016-2030 per scenario.

Opmerkingen bij hydrologie.

Uitgangssituatie

- De gemiddelde grondwaterstand in de uitgangssituatie varieert tussen ± 70 cm – mv in natte jaren tot 160 cm –mv in zeer droge jaren. Het neerslagoverschot wordt voor bijna 70% via de ondiepe sloten afgevoerd. De bijdrage van oppervlakteafvoer (6%) is beduidend lager dan voor de bufferlocatie Woold.

'Blokken maaiveldafvoer'

- Door het kleinere aandeel van de oppervlakteafvoer is het effect van BMV op de gemiddelde grondwaterstand gering. De GHG is gemiddeld 4 cm hoger.

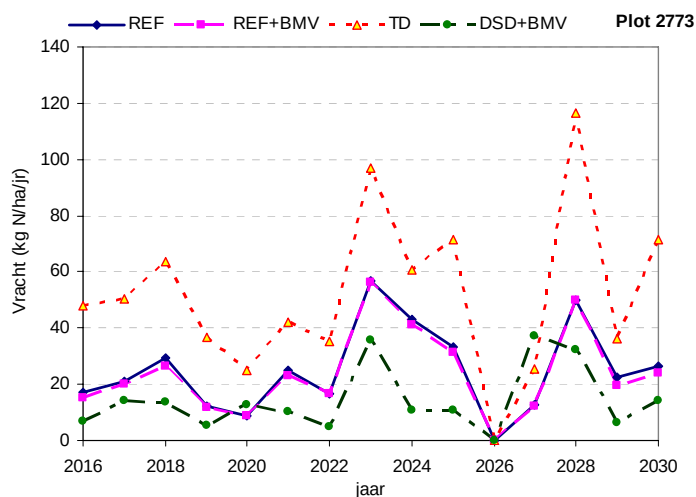
- De afvoer via runoff en het maaiveld wordt door de ingreep bijna volledig door het tertiaire systeem overgenomen, waardoor de afvoer via dit drainagesysteem met 8% toeneemt. De totale **netto** waterafvoer blijft ongeveer gelijk.
- BMV met een hellend oppervlak van 1% heeft een kleine verschuiving in de waterbalans tot gevolg. Door de lagere maaiveldberging (17 mm in plaats van 100 mm) vindt er nu 4 mm per jaar runoff plaats. De totale afvoer blijft gelijk.

Traditionele drainage

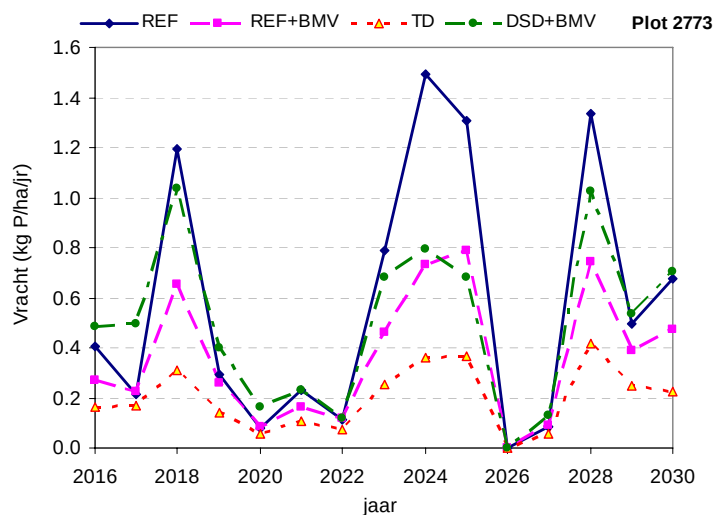
- Door het implementeren van traditionele drainage met een streefpeil van 110 cm-mv wordt de gemiddelde grondwaterstand verlaagd met bijna 30 cm, voor de GHG is het verschil zelfs meer dan 40 cm.
- Traditionele drainage heeft een groot effect op de verdeling van het neerslagoverschot over de verschillende drainagesystemen. De grootste afvoer vindt nu niet meer via het tertiaire systeem plaats, maar via de drainbuizen (48% van de totale afvoer). De bijdrage van het tertiaire systeem is echter nog steeds vrij groot (44%). De waterafvoer via het secundaire en primaire systeem neemt flink af met respectievelijk 72% en 78%.
- De totale **netto** waterafvoer neemt af met 4%.
- Bij het implementeren van traditionele drainage neemt de jaarlijkse wateraanvoer toe van 0.4 mm/jaar in de uitgangssituatie naar 1.2 mm/jaar bij TD. Dit is echter een verwaarloosbare hoeveelheid.

Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage

- Door het streefpeil van 60 cm-mv in de winter en 40 cm-mv in de zomer wordt een forse verhoging van de grondwaterstand gerealiseerd. De hogere grondwaterstand leidt tot een toename van de totale waterafvoer met bijna 20%. Dit is het gevolg van een lagere verdamping door het gewas, hetgeen duidt op natschade. Kennelijk is het systeem a priori niet optimaal afgesteld. In de praktijk zal natschade niet voorkomen omdat met de instelling van het drainagesysteem zal worden ingespeeld op de actuele grondwaterstand en de weersverwachting.
- De verdeling van het neerslagoverschot verandert aanzienlijk door DSD+BMV. Het neerslagoverschot wordt voor 86% via de drainbuizen afgevoerd. Door verdubbeling van de slootafstand en slootweerstand is de bijdrage van de ondiepe sloten afgenomen van 67% in de uitgangssituatie tot 11% met DSD+BMV.
- De jaarlijkse wateraanvoer neemt toe van 0.4 mm/jaar naar 8.9 mm/jaar, wat verwaarloosbaar is.



Figuur 6.12: Totale jaarlijkse netto N-belasting van het oppervlaktewater in Beltrum in de periode 2016-2030 voor de uitgangssituatie REF, BMV, TD en DSD+BMV.



Figuur 6.13: Totale jaarlijkse netto P-belasting van het oppervlaktewater in Beltrum in de periode 2016-2030 voor de uitgangssituatie REF, BMV, TD en DSD+BMV.

Nutriëntenbelasting

Opmerkingen nutriënten

Uitgangssituatie

- Uit de waterbalans kan worden afgeleid dat bijna 70% van het neerslagoverschot via het tertiaire systeem wordt afgevoerd. De N-vracht via dit systeem bedraagt 77% van de totale N-vracht. Voor fosfaat is deze bijdrage echter niet meer dan 44%. Dit wordt veroorzaakt doordat het water dat via het maaiveld wordt afgevoerd een hoge P-concentratie heeft vergeleken met de P-concentratie van de overige drainagesystemen. De bijdrage van de maaiveldafvoer is hierdoor groter.

'Blokken maaiveldafvoer'

- Het blokkeren van de maaiveldafvoer heeft een positief effect op de N-belasting (5%). Door de hoge P-concentratie in het water dat via het maaiveld wordt afgevoerd, wordt een sterkere reductie van de P-belasting gerealiseerd (38%).

Tabel 6.16 Door ANIMO berekende bruto N- en P-vracht ($\text{kg ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$) via de verschillende ontwateringsmiddelen in Beltrum, gemiddeld over de periode 2016-2030. Voor het verloop zie figuur 6.12 en 6.13

Scenario	Afvoeren							Reductie %	Wegzijing
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal ¹⁾		
N-belasting									
REF	0.01	1.70		19.23	3.42	0.66	25.00		0.65
REF+BMV	0.00			19.70	3.37	0.65	23.71	5	0.65
Helling (1%)	0.00			19.63	3.38	0.64	23.66	5	0.65
TD	0.00	0.06	32.82	17.22	1.72	0.29	51.99	-108	1.72
DSD+BMV	0.00		13.59	0.90	0.21	0.04	14.39	41	0.94
P-belasting									
REF	0.00	0.28		0.23	0.05	0.02	0.58		-0.04 ²⁾
REF+BMV	0.00			0.29	0.06	0.02	0.36	37	-0.04 ²⁾
Helling	0.00			0.28	0.06	0.02	0.36	37	-0.04 ²⁾
TD	0.00	0.01	0.10	0.07	0.01	0.00	0.20	66	-0.04 ²⁾
DSD+BMV	0.00		0.43	0.06	0.01	0.00	0.50	12	-0.03 ²⁾

¹⁾ netto afvoer (bruto afvoer minus aanvoer)

²⁾ negatieve waarden worden verkregen doordat de P-concentratie van het water dat vanuit de ondergrond infiltreert (kwelwater) een hogere P-concentratie heeft dan het water dat via wegzijing wordt afgevoerd.

Tabel 6.17: Gemiddelde N- en P-concentraties (mg/l) van de waterflux via de verschillende afwateringsystemen in Beltrum op basis van de bruto afvoer in de periode 2016-2030.

Scenario	Afvoeren							Reductie
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal	
N-concentratie								
REF	0.20	11.63		10.05	5.91	3.69	8.75	
REF + BMV				9.46	5.60	3.55	8.27	5%
TD	0.05	13.47	24.89	14.10	10.39	8.08	18.94	-116%
DSD + BMV			4.60	2.40	2.04	1.90	4.27	51%
P-concentratie								
REF	0.04	1.93		0.12	0.09	0.09	0.20	
REF + BMV				0.14	0.10	0.09	0.13	38%
TD	0.04	1.37	0.08	0.06	0.06	0.07	0.07	65%
DSD + BMV			0.15	0.16	0.14	0.13	0.15	27%

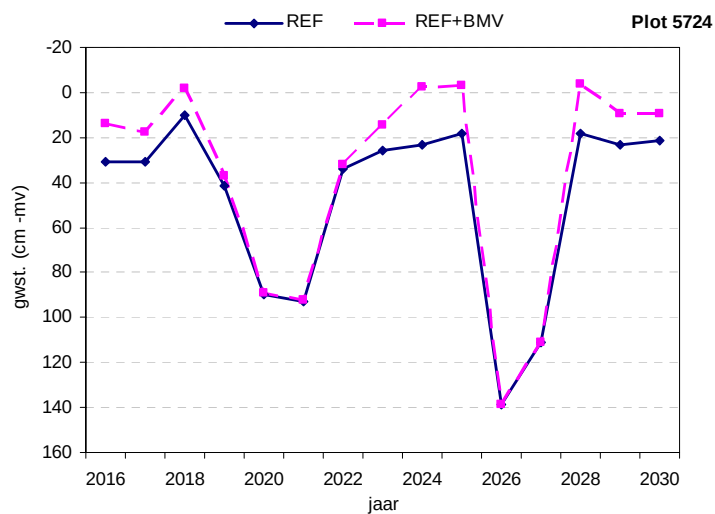
Traditionele drainage

- Het implementeren van traditionele drainage heeft voor stikstof en fosfaat een verschillend effect. De N-belasting neemt toe met meer dan 100%, terwijl de P-belasting juist afneemt met 66%. Uit tabel 6.17 blijkt dat de gemiddelde N-concentratie in het afgevoerde water is toegenomen met ongeveer 10 mg/l. Oorzaak hiervan is de N-concentratie van 25 mg/l in de drainafvoer. Traditioneel draineren heeft een verlaging van de grondwaterstand tot gevolg, waardoor denitrificatie afneemt. Hierdoor wordt meer stikstof afgevoerd. Voor P geldt juist het omgekeerde. Door een lagere grondwaterstand, wordt P dieper in het profiel afgevoerd, waardoor het afgevoerde water een lagere P-concentratie heeft. De totale P-afvoer neemt daardoor af.

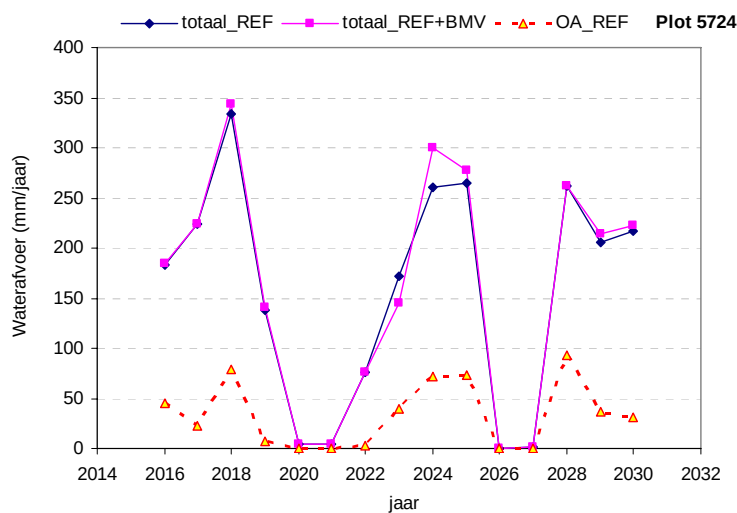
Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage

- Ondanks de berekende toegenomen totale waterafvoer (zie hydrologie), nemen de N-belasting (41%) en de P-belasting (12%) van het oppervlaktewater af. De grootste 'winst' zit in de toegenomen denitrificatie door de hogere grondwaterstand, waardoor de gemiddelde N-concentratie in het drainwater laag is. Door het blokkeren van de maaiveldafvoer neemt de gemiddelde P-concentratie in de totale afvoer af, ondanks

de hogere P-concentratie in de afvoer van de overige ontwateringsmiddelen ten opzichte van de uitgangssituatie.



Figuur 6.14: Gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm -mv) in Loon op Zand, periode 2016-2030.



Figuur 6.15: Totale bruto waterafvoer en oppervlakteafvoer (OA) (mm/jaar) in Loon op Zand voor de uitgangssituatie REF en 'blokkeren maaiveldafvoer' BMV. Bij BMV vindt geen oppervlakteafvoer plaats ($y=0$).

6.4.3 Loon op Zand, geohydrotype e

Tabel 6.18: Doorgerekende hydrologische maatregelen en plots voor geohydrotype e.

Plot	REF	REF + BMV	TD	DSD+BMV	ONT	ONT + BMV
1000	X	X			X	X
5344	X	X			X	X
5346	X	X			X	X
5428	X	X	X	X		
5626	X	X	X	X		
5724 Loon op Zand	X	X				

Tabel 6.19: De meest relevante kenmerken van plot 5724.

Kenmerk	
Grondsoort	Zand
Geohydrotype	e
Bedrijfstype	Melkvee
Gewas	Gras
Fosfaatverzadigingsgraad	0.50
Drainage	Nee
Gt-klasse	VI
Wegzijging (mm/jaar)	88
Helling (%)	< 0.5

Hydrologie

Het blokkeren van de maaiveldafvoer heeft in Loon op Zand vooral effect op de GHG (tabel 6.20, figuur 6.14).

Tabel 6.20: Grondwaterkarakteristieken in Loon op Zand: uitgangssituatie REF en 'blokkeren maaiveldafvoer' BMV.

Grondwaterkarakteristieken	REF	REF + BMV
GHG (cm -mv)	47	37
GLG (cm -mv)	148	147
GVC (cm -mv)	71	65
(GHG + GLG) / 2 (cm -mv)	97	92
Gemiddelde grondwaterstand (cm -mv)	103	100

Tabel 6.21: Gemiddelde bruto waterafvoer (mm/jaar) naar de onderscheiden ontwateringsmiddelen in Loon op Zand per scenario voor de periode 2016-2030.

Scenario	Afvoeren						Wegzijging
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal ¹
REF	5	29		83	29	11	155
REF+BMV	0			113	34	13	159

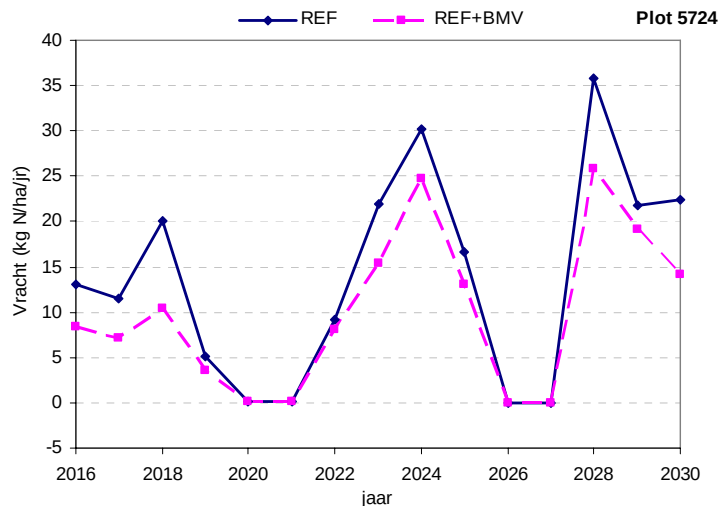
¹: netto afvoer (bruto afvoer minus aanvoer) van oppervlaktewater

Opmerkingen hydrologie:

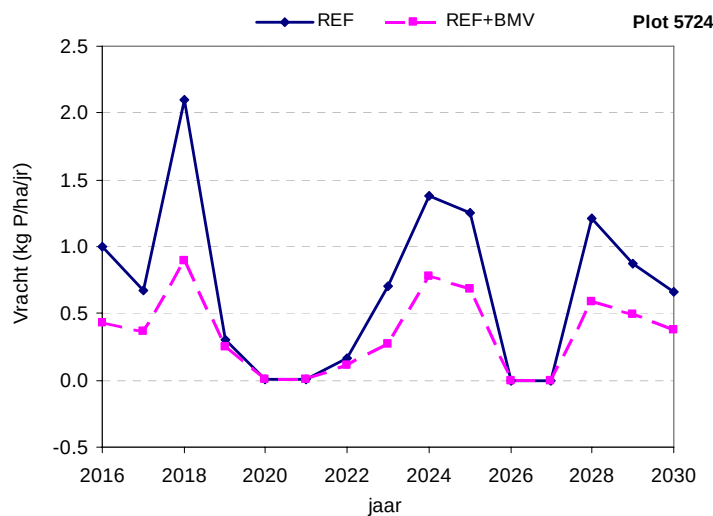
- Door het blokkeren van de maaiveldafvoer wordt een hogere grondwaterstand bereikt, wat voornamelijk tot uiting komt in de GHG. Het verschil in grondwaterstand varieert door de jaren en is het grootste in natte jaren.
- Het verschil in waterafvoer tussen de verschillende jaren is aanzienlijk. In natte jaren is de totale waterafvoer groter dan 200 mm, terwijl in droge jaren er helemaal geen waterafvoer plaats vindt. Ook de variatie voor de oppervlakteafvoer tussen de jaren is groot.
- Oppervlakteafvoer heeft in de uitgangssituatie een belangrijk aandeel in de afvoer van het neerslagoverschot. 21% wordt via runoff en maaiveld afgevoerd. Ondiepe

sloten zijn het belangrijkste ontwateringsmiddel. Door het blokkeren van de maaiveldafvoer neemt de bijdrage van deze sloten toe van 53% in de uitgangssituatie tot 71% bij 'blokkeren maaiveldafvoer'. De totale afvoer neemt licht toe (2.6%). Dit is waarschijnlijk het gevolg van een lagere verdamping door het gewas.

- De hoeveelheid water dat via de drainagesystemen infiltreert is verwaarloosbaar (<1%).



Figuur 6.16: Totale jaarlijkse netto N-belasting naar het oppervlaktewater in Loon op Zand in de periode 2016-2030 voor de uitgangssituatie REF en 'blokkeren maaiveldafvoer' BMV.



Figuur 6.17: Totale jaarlijkse netto P-belasting van het oppervlaktewater in Loon op Zand in de periode 2016-2030 voor de uitgangssituatie REF en 'blokkeren maaiveldafvoer' BMV.

Nutriëntenbelasting

Tabel 6.22: Door ANIMO berekende bruto N en P-vracht ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) naar de verschillende ontwateringsmiddelen in Loon op Zand, gemiddeld over de periode 2016-2030. Voor het verloop zie figuur 6.16 en 6.17

Scenario	Afvoeren							reductie	Wegzijging
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal ¹⁾		
N-belasting									
REF	0.06	5.09	0.00	6.73	1.64	0.36	13.84		0.58
REF+BMV	0.00	0.00	0.00	7.98	1.70	0.37	10.02	28%	0.59
P-belasting									
REF	0.01	0.49	0.00	0.14	0.04	0.01	0.69		0.06
REF+BMV	0.00	0.00	0.00	0.28	0.06	0.02	0.35	49%	0.06

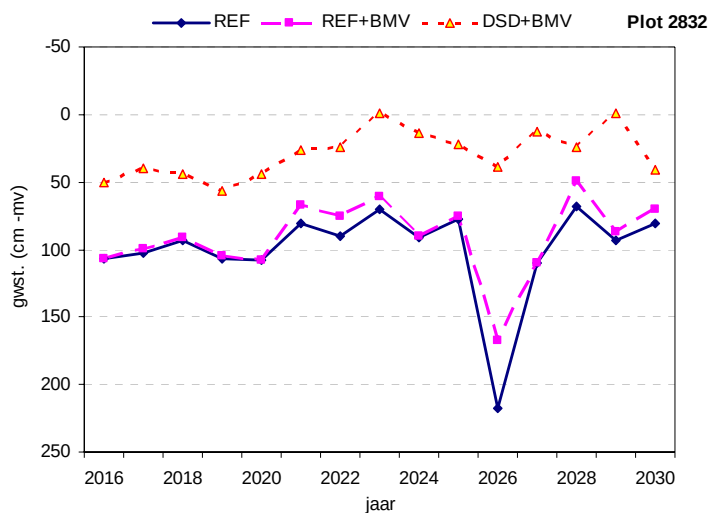
1) netto N en P-afvoer (bruto afvoer minus aanvoer)

Tabel 6.23: Gemiddelde N- en P-concentraties (mg/l) van de waterflux via de verschillende afwateringsystemen in Loon op Zand op basis van de bruto afvoer in de periode 2016-2030.

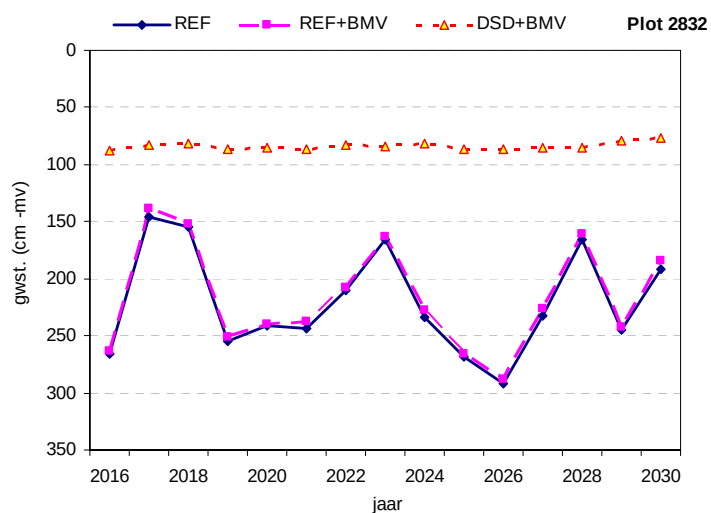
Scenario	Afvoeren							Reductie
	Runoff	maaiveld	drains	tertiair	Secundair	primair	Totaal	
N-belasting								
REF	1.28	17.65		8.10	5.73	3.16	8.87	
REF+BMV				7.04	5.00	2.93	6.28	29%
P-belasting								
REF	0.23	1.71		0.17	0.13	0.10	0.44	
REF+BMV				0.24	0.17	0.13	0.22	50%

Blokkeren van de maaiveldafvoer leidt tot de volgende resultaten:

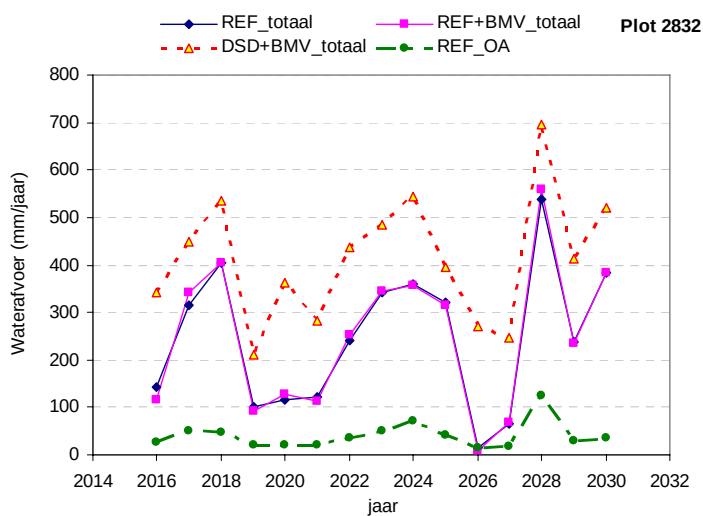
- De afvoer van het neerslagoverschot in de uitgangssituatie wordt voor ruim 20% via het maaiveld afgevoerd. Door de zeer hoge N- en P-concentratie in het afgevoerde water, is de bijdrage van de maaiveldafvoer voor de totale N-belasting bijna 40%, terwijl dit voor de P-belasting zelfs meer dan 70% bedraagt. Blokkeren van de maaiveldafvoer heeft mede hierdoor een sterk positief effect op de totale N- en P-belasting. De N-belasting van het oppervlaktewater neemt met 28% af. De P-belasting neemt af met 49%, ondanks dat de P-concentratie in de waterflux van het primaire, secundaire en tertiaire systeem toeneemt.
- Uit de figuren blijkt echter ook dat de afname van de N- en P-belasting door de jaren heen sterk varieert. In drogere jaren is het effect van blokkeren maaiveldafvoer gering.



Figuur 6.18: Gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm -mv) in Lelystad in de periode 2016-2030.



Figuur 6.19: Gemiddeld laagste grondwaterstand (cm -mv) in Lelystad in de periode 2016-2030.



Figuur 6.20: totale bruto afvoer en oppervlakteafvoer (OA) (mm/jaar) in Lelystad voor de verschillende scenario's.

6.4.4 Lelystad, geohydrotype f, gedraineerd

Naast de zandgronden zijn ook voor kleigronden een aantal maatregelen doorgerekend (tabel 6.24). Alle kleiplots, met uitzondering van plot 2275, zijn in de uitgangssituatie gedraineerd.

Tabel 6.24: Hydrologische maatregelen per plot voor geohydrotype f.

Plot	REF	REF + BMV	TD	TD + BMV	DSD + BMV
2082	X	X			X
2275 ongedraineerd	X	X	X	X	
2832 Lelystad	X	X			X
4566	X	X			X
4879	X	X			X

Tabel 6.25: De meest relevante kenmerken van plot 2832.

Kenmerk	
Grondsoort	Klei
Geohydrotype	f
Bedrijfstype	Melkvee
Gewas	Maïs
Fosfaatverzadigingsgraad	0.25
Drainage	Ja
Diepte drainbuizen (cm-mv)	120
Streefpeil zomer/winter (cm-mv)	150/150
Gt-klasse	VII
Wegzijging (mm/jaar)	136
Helling (%)	0

Hydrologie

Tabel 6.26: Grondwaterkarakteristieken 2016-2030 in Lelystad, voor het verloop zie figuur 6.18 en 6.19.

Gwst. Karakteristiek	REF	REF + BMV	DSD + BMV
GHG (cm -mv)	100	91	29
GLG (cm -mv)	221	217	84
GVG (cm -mv)	126	125	71
(GHG + GLG)/2 (cm -mv)	160	154	56
Gemiddelde grondwaterstand (cm -mv)	156	152	66

Tabel 6.27: Gemiddelde bruto waterafvoer (mm/jaar) naar de onderscheiden ontwateringsmiddelen in Lelystad per scenario voor de periode 2016-2030. Voor verloop zie figuur 6.20

Scenario	Afvoeren								Wegzijging
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Aanvoer ¹	Totaal ²	
REF	40	1	174	15	7	10		234	137
REF+BMV	0		212	18	8	11		236	137
DSD+BMV	0		400	6	4	3	-119	293	137

¹: Alleen infiltratie van oppervlaktewater (aanvoer=negatieve afvoer) > 5% wordt weergegeven.

²: netto afvoer (bruto afvoer minus aanvoer) van oppervlaktewater.

Opmerkingen hydrologie

Uitgangssituatie

- De gemiddelde grondwaterstand in de uitgangssituatie varieert tussen ± 115 cm -mv in de natte jaren en 263 cm -mv in zeer droge jaren. Het neerslagoverschot wordt voor 70% via de drainbuizen afgevoerd. Ook runoff heeft een relatief hoge bijdrage aan de afvoer (16%), wat in droge jaren zelfs 100% kan bedragen.

- Over de periode 2016-2030 wordt er gemiddelde 13 mm water aangevoerd. De infiltratie vindt volledig plaats via het primaire systeem. Via het primaire systeem is er dus een netto wateraanvoer en geen netto waterafvoer.

'Blokkeren maaiveldafvoer'

- Blokkeren van de maaiveldafvoer heeft een beperkte grondwaterstandverandering tot gevolg, ondanks de relatief hoge bijdrage van runoff. De afvoer via de drainbuizen neemt toe met ruim 20%. De totale afvoer blijft min of meer gelijk.

Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage

- Bij het scenario DSD+BMV wordt, met een streefpeil van 80 cm-mv in de winter en 60 cm-mv in de zomer, een forse verhoging van de grondwaterstand gerealiseerd. Door het relatief hoge streefpeil wordt ook in droge jaren een hoge grondwaterstand bereikt. De variatie tussen de verschillende jaren is daardoor gering (Figuur 6.19).
- De netto waterafvoer neemt toe met 25%. Het neerslagoverschot neemt toe als gevolg van een lagere verdamping en als gevolg van een hogere infiltratie. Deze extra wateraanvoer wordt volledig via de drainbuizen afgevoerd. Het neerslagoverschot wordt in de uitgangssituatie voor 70% via de drainbuizen afgevoerd. Bij het scenario DSD+BMV neemt deze bijdrage toe tot zelfs 97%. De afvoer via de kleine sloten neemt af doordat bij het implementeren van deze maatregel de helft van de ondiepe sloten gedempt worden.
- Door het implementeren van de drainbuizen neemt de totale infiltratie toe tot meer dan 100 mm/jaar. In de uitgangssituatie vindt er alleen maar infiltratie plaats via het primaire systeem, terwijl voor DSD+BMV via alle drainagesystemen water infiltreert. De hoogste infiltratie vindt plaats via de drainbuizen (116 mm/jaar).

Nutriëntenbelasting

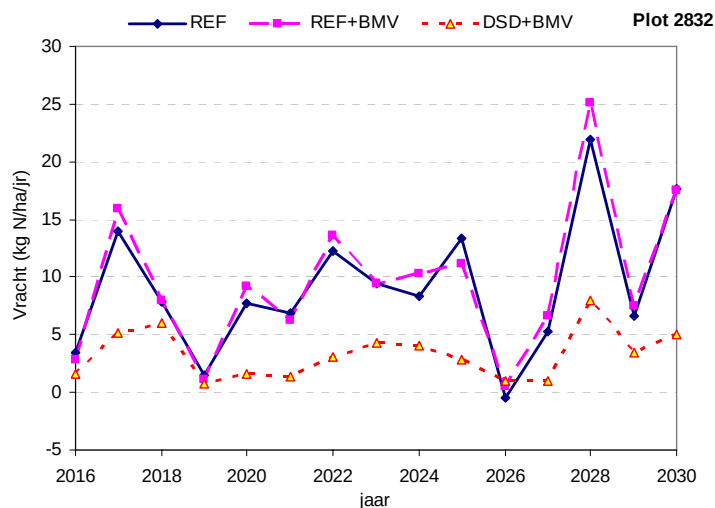
Tabel 6.28: Door ANIMO berekende bruto N en P-vracht ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) naar de verschillende ontwateringsmiddelen in Lelystad gemiddeld over de periode 2016-2030.

Scenario	Afvoeren							Reductie	Wegwijzing
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Aanvoer		
N-belasting									
REF	0.57	0.06	7.96	0.34	0.10	0.17		9.03	1.62
REF + BMV			9.16	0.37	0.12	0.18		9.68	-7%
DSD + BMV			4.23	0.07	0.05	0.04	-1.67	3.47	52%
P-belasting									
REF	0.01	0.00	0.11	0.01	0.00	0.01		0.14	0.08
REF + BMV			0.14	0.01	0.00	0.01		0.15	-8%
DSD + BMV			0.34	0.01	0.00	0.00	-0.00	0.25	-137%

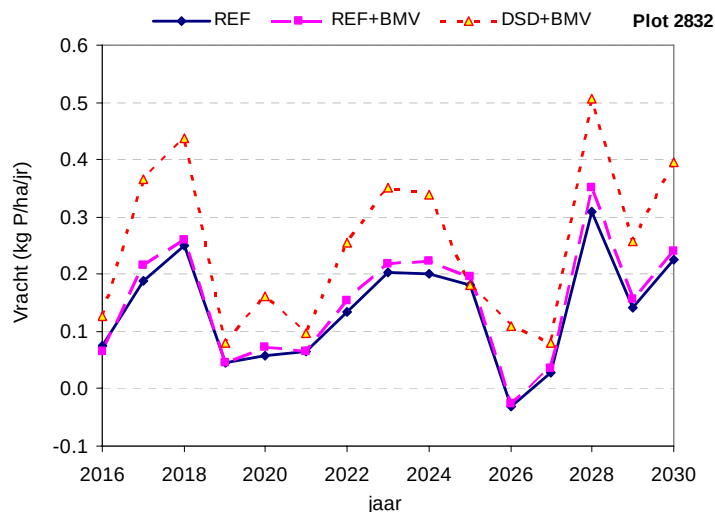
¹: netto N- en P-afvoer (bruto afvoer minus aanvoer)

Tabel 6.29: Gemiddelde N- en P-concentraties (mg/l) van de waterflux via de verschillende afwateringsystemen in Lelystad op basis van bruto afvoeren in de periode 2016-2030.

Scenario	Afvoeren							Reductie
	Runoff	maaiveld	drains	tertiair	Secundair	primair	Totaal	
N-belasting								
REF	1.44	4.84	4.57	2.22	1.56	1.67	3.72	
REF + BMV			4.33	2.12	1.54	1.63	3.96	-6%
DSD + BMV			1.06	1.18	1.24	1.21	1.06	71%
P-belasting								
REF	0.03	0.31	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	
REF + BMV			0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	-8%
DSD + BMV			0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	-42%



Figuur 6.21: Totale netto N-belasting van het oppervlaktewater in Lelystad in de periode 2016-2030. Uitgangssituatie REF, 'blokkeren maaiveldafvoer' BMV en verduinepte peilgestuurde drainage DSD.



Figuur 6.22: Totale netto P-belasting van het oppervlaktewater in Lelystad in de periode 2016-2030. Uitgangssituatie REF, 'blokkeren maaiveldafvoer' BMV en en verduinepte peilgestuurde drainage DSD.

Opmerkingen nutriënten

Uitgangssituatie

- Stikstof en fosfaat worden voornamelijk via de drainbuizen afgevoerd. Ondanks dat 16% van het neerslagoverschot via runoff wordt afgevoerd, is de bijdrage aan de totale N- en P-belasting beperkt. Oorzaak hiervan is de relatief lage N- en P-concentratie van de waterflux.

Blokkeren maaiveldafvoer

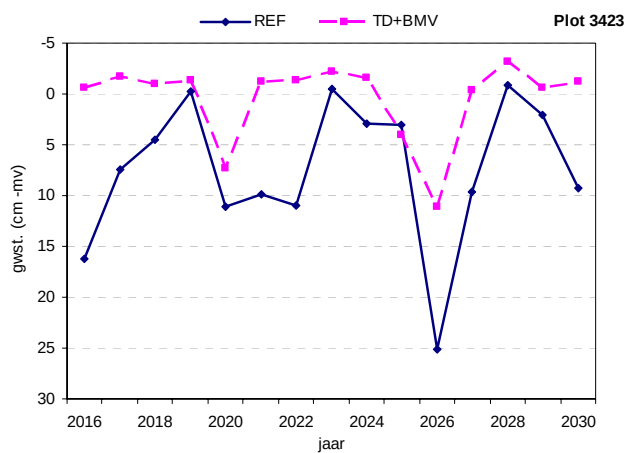
- BMV resulteert in een toename van de N-belasting met 7%, terwijl de totale waterafvoer gelijk blijft. Oorzaak hiervan is de 'nieuwe' verdeling van het neerslagoverschot over de ontwateringsmiddelen. Bij blokkeren van de maaiveldafvoer wordt de functie van runoff 'overgenomen' door de drainbuizen. De N-concentratie van runoff is echter veel lager dan de N-concentratie in het

drainwater, waardoor de totale N-vracht toeneemt, wat gedeeltelijk wordt gecompenseerd doordat nu ook de concentratie in het drainwater lager is.

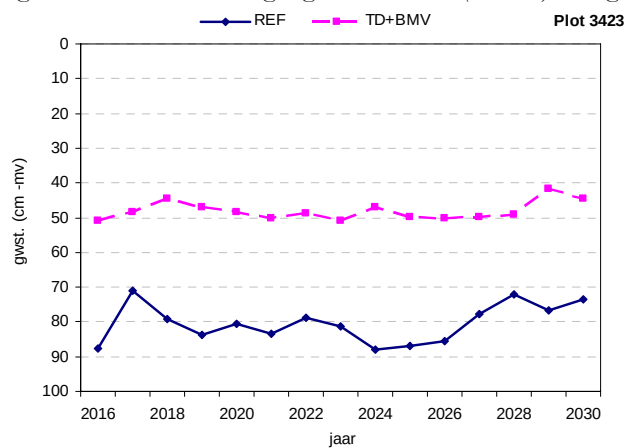
- De P-belasting naar het oppervlaktewater neemt met 8% toe. De absolute P-vracht is echter nog steeds vrij klein.

Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage

- Uit de waterbalans kan worden afgeleid dat de totale netto waterafvoer met 25% toeneemt, dat voornamelijk via de drainbuizen wordt afgevoerd. Door een hogere grondwaterstand (meer denitrificatie) en door 'onderwaterdrainage' is de N-concentratie in het drainwater flink lager. De totale N-vracht neemt hierdoor af met 52%.
- Het implementeren van dieper aangelegde samengestelde drainage leidt echter tot een P-belasting die ruim 2x zo groot is als in de uitgangssituatie. De absolute P-vracht in de uitgangssituatie is echter zeer klein, waardoor de absolute toename beperkt is.



Figuur 6.23: Gemiddeld hoogste grondwaterstand (cm -mv) in Zegveld in de periode 2016-2030.



Figuur 6.24: Gemiddeld laagste grondwaterstand (cm -mv) in Zegveld in de periode 2016-2030.

6.4.5 Zegveld, geohydrotype d

Tabel 6.30: Doorgerekende hydrologische maatregelen en plots voor geohydrotype d.

Plot	REF	TD + BMV
1888	X	X
3423 Zegveld	X	X

Tabel 6.31: De meest relevante kenmerken van plot 3423.

Kenmerk	
Grondsoort	Veen
Geohydrotype	D
Bedrijfstype	Melkvee
Gewas	Gras
Fosfaatverzadigingsgraad	0.20
Drainage	Nee
Gt-klasse	III
Wegzijging (mm/jaar)	325
Helling (%)	0

Hydrologie

In tegenstelling tot wat gebruikelijk is, veroorzaakt drainage in Zegveld een grondwaterstandsverhoging, als gevolg van infiltratie vanuit de sloten, vooral in de zomerperiode (tabel 6.32, figuur 6.23 en 6.24).

Tabel 6.32 Grondwaterkarakteristieken 2016-2030 in Zegveld voor de uitgangssituatie REF en traditionele drainage in combinatie met 'blokkeren maaiveldafvoer' TD+BMV. Voor verloop zie figuur 6.23 en 6.24.

Grondwaterkarakteristiek	REF	TD + BMV
GHG (cm -mv)	7	0
GLG (cm -mv)	80	48
GVG (cm -mv)	50	36
(GHG + GLG)/2 (cm -mv)	44	24
Gemiddelde grondwaterstand (cm -mv)	49	30

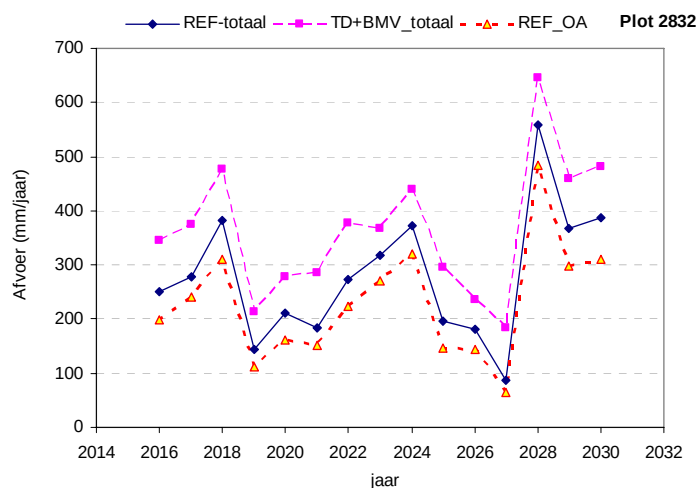
Aangezien de waterbalans voor veenplots sterk afwijkt van de zand- en kleiplots wordt in tabel 6.33 en tabel 6.34 niet alleen de gemiddelde afvoer over de periode 2016-2030 naar de onderscheiden ontwateringmiddelen weergegeven, maar ook die van de jaren afzonderlijk om een beter beeld te krijgen van de dynamiek van de waterafvoer en wateraanvoer. Tevens is er een kolom met de jaarlijkse neerslag (mm/jaar) toegevoegd. Voor alle drainagesystemen is de bruto waterafvoer gegeven. Omdat in Zegveld veel infiltratie in de zomerperiode kan plaats vinden, is ook de **netto** waterafvoer relevant. Soms is die zelfs negatief (netto wateraanvoer).

Tabel 6.33: Gemiddelde aan- en afvoeren (mm/jaar) naar de onderscheiden ontwateringsmiddelen in Zegveld in de uitgangssituatie (REF) in de periode 2016-2030. Voor verloop zie figuur 6.25

Jaar	Neerslag	Bruto afvoeren						Netto Aanvoer	Netto totale afvoer	Wegzijing
		Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair			
2016	855	39	160	0	2	24	26	-270	-19	326
2017	925	56	185	0	1	18	18	-141	137	325
2018	978	44	267	0	3	33	35	-204	178	325
2019	708	10	102	0	1	15	16	-303	-158	325
2020	776	16	145	0	2	23	25	-298	-88	326
2021	709	21	131	0	1	15	16	-296	-112	325
2022	909	35	188	0	2	24	25	-218	56	325
2023	921	78	193	0	2	21	22	-239	78	325
2024	964	113	209	0	2	25	25	-238	134	326
2025	767	13	133	0	2	23	24	-301	-106	325
2026	647	13	131	0	1	17	18	-338	-158	325
2027	674	5	59	0	1	11	11	-287	-200	325
2028	1194	172	313	0	3	34	36	-144	413	326
2029	1022	68	229	0	3	33	35	-224	143	325
2030	1017	50	260	0	3	36	39	-217	170	325
Gem.	871	49	180	0	2	23	25	-248	31	325

Tabel 6.34: Gemiddelde jaarlijkse bruto afvoeren (mm/jaar) naar de ontwateringsmiddelen in Zegveld voor traditionele drainage met blokkeren maaiveldafvoer (TD+BMV) in de periode 2016-2030.

Scenario TD+BMV	Neerslag	Bruto afvoeren						Netto aanvoer	Netto totale afvoer	Wegzijing
		Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair			
2016	855	0	0	296	2	22	25	338	7	326
2017	925	0	0	322	2	25	27	182	193	325
2018	978	0	0	408	3	31	34	259	217	325
2019	708	0	0	183	1	14	15	336	- 122	325
2020	776	0	0	239	1	18	20	330	- 52	326
2021	709	0	0	244	2	19	20	354	- 69	325
2022	909	0	0	323	2	24	27	263	113	325
2023	921	0	0	316	2	24	26	258	110	325
2024	964	0	0	376	2	29	31	281	158	326
2025	767	0	0	252	2	19	21	367	- 73	325
2026	647	0	0	202	1	15	16	369	-134	325
2027	674	0	0	157	1	12	13	342	-159	325
2028	1194	0	0	554	3	42	46	182	464	326
2029	1022	0	0	394	2	30	33	272	188	325
2030	1017	0	0	413	3	31	34	275	205	325
Gem.	871	0	0	312	2	24	26	294	70	325



Figuur 6.25: Oppervlakteafvoer (OA, runoff + maaiveldafvoer) in Zegveld voor de uitgangssituatie REF en totale bruto waterafvoer voor REF en traditionele drainage met blokkeren maaiveldafvoer TD+BMV.

Opmerkingen hydrologie.

Uitgangssituatie

- De grondwaterstand bereikt in de uitgangssituatie voor een aantal jaren het maaiveld. Uit de waterbalans voor de uitgangssituatie blijkt dat het neerslagoverschot voornamelijk wordt afgevoerd via oppervlakteafvoer. Via de overige drainagesystemen vindt er **netto** wateraanvoer plaats. Of er jaarlijks een totale netto aanvoer of netto afvoer plaatsvindt, hangt af van de hoeveelheid neerslag. Jaren waarin meer dan 900 mm neerslag hebben een netto afvoer, terwijl drogere jaren een netto aanvoer hebben. De afvoer via runoff en maaiveld neemt toe naarmate de neerslag ook toeneemt.

Traditionele drainage met blokkeren maaiveldafvoer

- Door de combinatie van draineren en blokkeren van de maaiveldafvoer wordt een hogere grondwaterstand verkregen. De gemiddeld hoogste grondwaterstand ligt voor bijna alle jaren aan het maaiveld. Door het blokkeren van de maaiveldafvoer wordt er geen water via het oppervlak afgevoerd.

De totale waterafvoer over de periode 2016-2030 is groter dan in de uitgangssituatie. Dit kan deels worden verklaard door een lagere verdamping van het gewas waardoor het neerslagoverschot toeneemt. Ook de hoeveelheid water dat via de ontwateringsmiddelen infiltreert verandert. In de uitgangssituatie vindt er via deze drainagesystemen een **netto wateraanvoer** plaats, terwijl door het implementeren van drainage er nu een **netto waterafvoer** plaats vindt. Via de drainagebuizen vindt er een netto afvoer van 60 mm/jaar plaats.

Nutriëntenbelasting

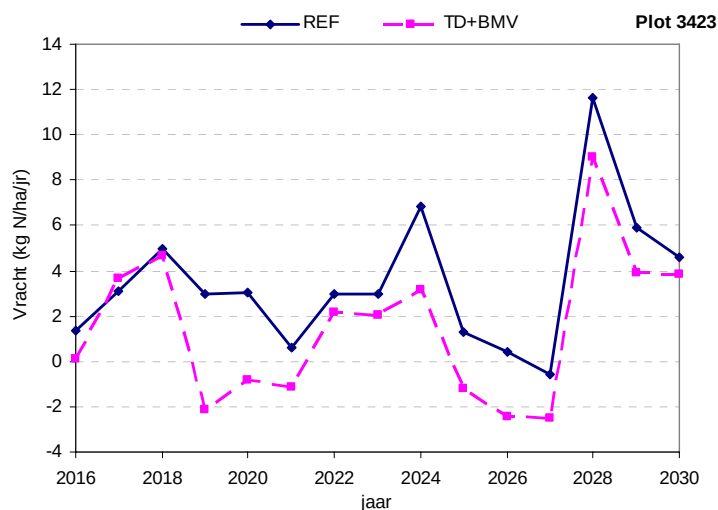
Doordat de infiltratie via de verschillende drainagesystemen niet verwaarloosd kan worden is er voor gekozen om zowel de gemiddelde **netto** als **bruto** N- en P-belasting voor 2016-2030 weer te geven (tabel 6.35 en 6.36).

Tabel 6.35: Door ANIMO berekende netto N en P-vracht ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$) naar de verschillende ontwateringsmiddelen in Zegveld, gemiddeld over de periode 2016-2030.

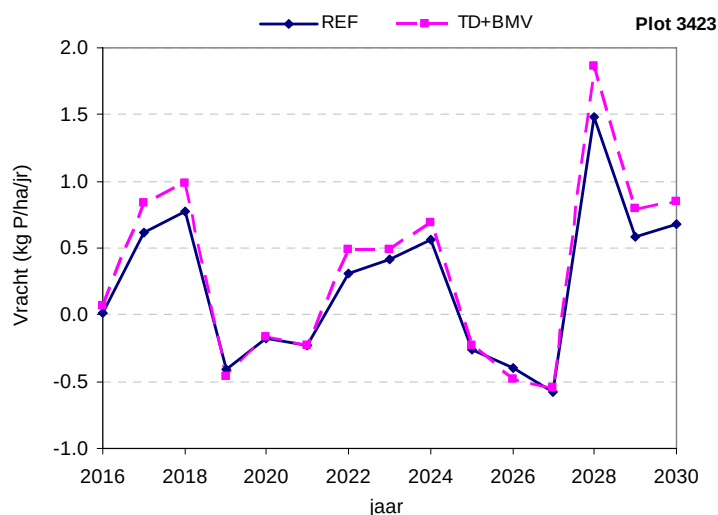
Scenario	Afvoeren									Wegzijing
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Aanvoer	Totaal	Reductie	
N-belasting										
REF	1.21	3.68		-0.05	-0.57	-0.80	7.18	3.47		2.51
TD + BMV	0.00		1.21	0.01	0.16	0.12	8.52	1.49	57%	2.91
P-belasting										
REF	0.11	0.73		-0.02	-0.26	-0.33	0.25	0.23		1.00
TD + BMV	0.00		0.28	0.00	0.03	0.02	0.29	0.33	-47%	1.04

Tabel 6.36: Door ANIMO berekende bruto N en P-vracht ($\text{kg.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$) naar de verschillende ontwateringsmiddelen in Zegveld, gemiddeld over de periode 2016-2030.

Scenario	Afvoeren								Wegzijing
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal	Reductie	
N-belasting									
REF	1.21	3.68		0.02	0.30	0.26	5.47		2.51
TD + BMV	0.00		5.85	0.03	0.46	0.40	6.74	-23%	2.91
P-belasting									
REF	0.11	0.73		0.01	0.08	0.08	1.00		1.00
TD + BMV	0.00		1.25	0.01	0.10	0.10	1.46	-46%	1.04



Figuur 6.26: Totale netto N-belasting naar oppervlaktewater in de periode 2016-2030 voor de uitgangssituatie en traditioneel drainage in combinatie met blokkeren van de maaiveldafvoer.



Figuur 6.27: Totale netto P-belasting naar oppervlaktewater in de periode 2016-2030 voor de uitgangssituatie en traditioneel drainage in combinatie met blokkeren van de maaiveldafvoer.

Tabel 6.37: Gemiddelde N- en P-concentraties (mg/l) van de waterflux via de verschillende afwateringsystemen op basis van de bruto afvoer in Zegveld in de periode 2016-2030..

Scenario	Afvoeren							Reductie
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal	
N-belasting								
REF	2.47	2.04		0.95	1.29	1.05	1.96	
TD + BMV			1.87	1.34	1.94	1.55	1.85	5%
P-belasting								
REF	0.22	0.40		0.32	0.34	0.33	0.36	
TD + BMV			0.40	0.36	0.42	0.39	0.40	-12%

Opmerkingen nutriënten:

- In de uitgangssituatie wordt er via het primaire, secundaire en tertiaire systeem stikstof en fosfaat aangevoerd, dat vervolgens via runoff en maaiveldafvoer weer wordt afgevoerd. Gemiddeld vindt er over 2016-2030 een netto afvoer van bijna 3.5 kg N en 0.23 kg P plaats. Er zijn echter ook een aantal jaren (droge jaren) waarin er een netto aanvoer van nutriënten plaatsvindt.
- Traditionele drainage met blokkeren maaiveldafvoer resulteert in een gemiddelde afname van de **netto** N-belasting met 57% (1.5 kg N) en een gemiddelde toename van 47% (0.33 kg P) voor fosfaat. De **bruto** N-belasting neemt echter toe met 23%. Het positieve effect van TD+BMV wordt voornamelijk veroorzaakt doordat de afvoer via het maaiveld, met een relatief hoge N-concentratie, wordt geblokkeerd.
- Uit tabel 6.35 blijkt dat de N-aanvoer via het oppervlaktewater toeneemt van 7.18 kg.ha⁻¹ naar 8.52 kg.ha⁻¹ en de P-afvoer van 0.25 kg.ha⁻¹ naar 0.29 kg.ha⁻¹.
- In situaties zoals in Zegveld, waar veel infiltratie plaats vindt, worden de resultaten van de vrachtberekeningen sterk beïnvloed door de aanname van de concentratie N en P in het aangevoerde water. Wij hebben getracht dit op te vangen door zowel netto als bruto vrachten te berekenen. Het zou beter zijn om de berekeningen nogmaals te doen met een aangenomen aanvoer concentratie nul, omdat dan een zuiverdere beoordeling van het effect van de maatregel mogelijk wordt.

6.5 Effectiviteit per hydrologische maatregel

In paragraaf 6.4 zijn de effecten van hydrologische maatregelen beschreven voor de 5 bufferlocaties. In deze paragraaf worden de verschillende maatregelen afzonderlijk behandeld. Per maatregel wordt bekeken of er een verband is tussen de effectiviteit van de maatregel en de plotkenmerken. De belangrijkste plotkenmerken zijn de GHG, oppervlakteafvoer en de afvoer via de drainbuizen. Tevens wordt gekeken of er verschillen zichtbaar zijn tussen geohydropotype, grondsoort, gewas en wel of geen drainage. Voordat de effectiviteit van de verschillende maatregelen behandeld wordt, wordt eerst de N- en P-belasting van het oppervlaktewater in de uitgangssituatie geanalyseerd.

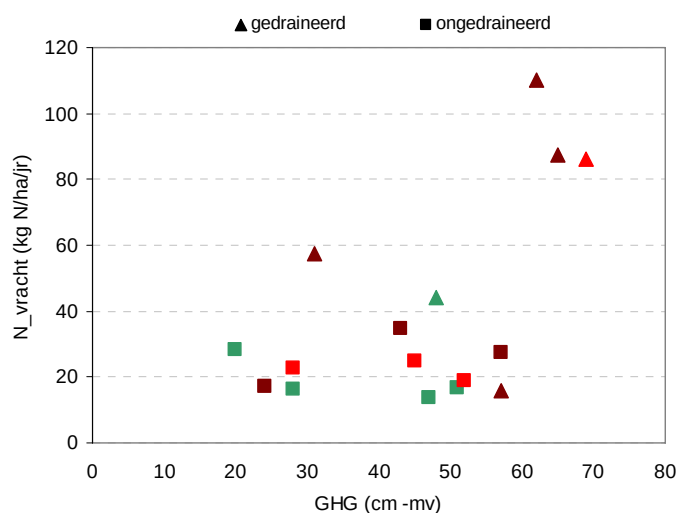
6.5.1 Uitgangssituatie

Waterbalans

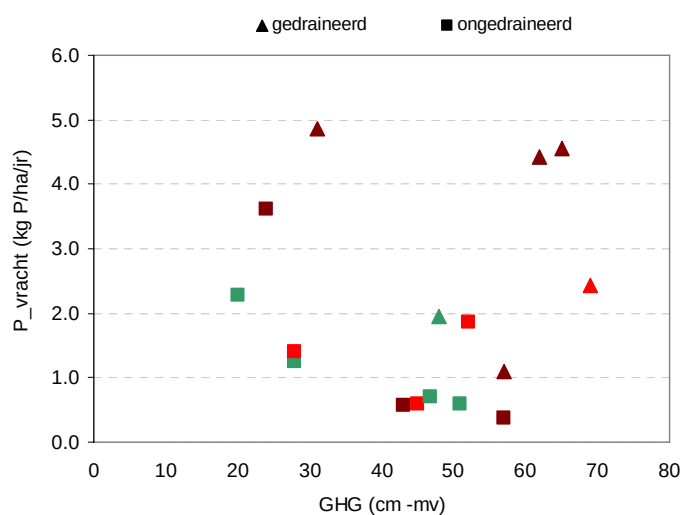
Op zandgronden wordt het neerslagoverschot voornamelijk via het tertiaire systeem (perceelsloten) afgevoerd (tabel 6.38). Oppervlakteafvoer (runoff en maaiveldafvoer) heeft bij veengronden en daarna bij kleigronden de grootste bijdrage. Bij de veen- en kleigronden vindt ook een significante aanvoer van water plaats. Bij zandgronden is deze aanvoer bijna verwaarloosbaar ten opzichte van de waterafvoer. In de ongedraineerde situatie is er duidelijk een verschil tussen enerzijds de zandgronden en anderzijds de klei- en veengronden.

Tabel 6.38: Totale bruto waterafvoer (mm/jr) en verdeling (%) over de verschillende ontwateringsystemen in de uitgangssituatie.

Grondsoort <i>drainage</i>	Runoff %	Maaiveld %	Drains %	Tertiair %	Secundair %	Primair %	Totaal mm/jaar	Wegzijging mm/jaar
Zandgronden								
Gedraineerd	0.3	0.9	55	25	10	8.8	1269	937
Ongedraineerd	2.3	10		49	25	13	279	-49
Kleigronden								
Gedraineerd	11	1.2	74	4.9	4.2	5.1	444	92
Ongedraineerd	15	38		21	10	16	334	44
Veengronden								
Ongedraineerd	18	66		0.4	7.6	8.5	398	-145



Figuur 6.28: Gemiddelde bruto N-vracht voor alle zandplots uitgezet tegen de gemiddeld hoogste grondwaterstand voor de periode 2016-2030. *Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.*



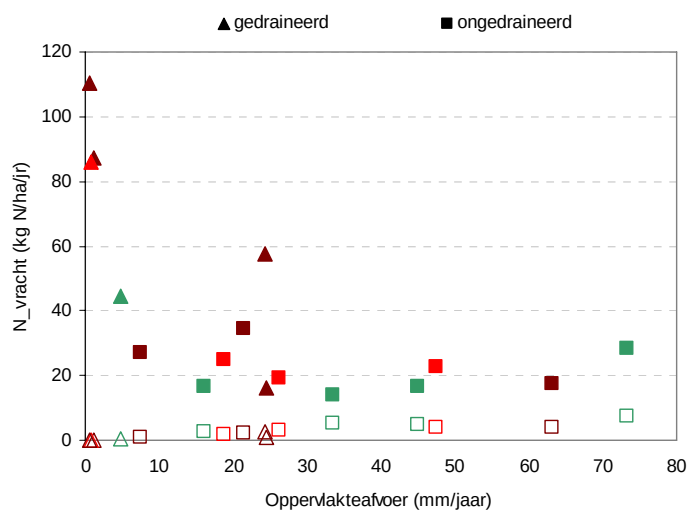
Figuur 6.29: Gemiddelde bruto P-vracht voor alle zandplots uitgezet tegen de gemiddeld hoogste grondwaterstand voor de periode 2016-2030. *Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.*

Het grootste gedeelte van het neerslagoverschot wordt op de gedraineerde zand- en kleigronden afgevoerd via de drainagebuizen. In gedraineerde zandgronden wordt toch nog een belangrijk deel via het tertiaire systeem afgevoerd. De hoge waterafvoer voor de gedraineerde zandgronden wordt veroorzaakt door een zeer hoge kwelflux. Dit geldt voornamelijk voor twee plots in geohydrotype b (Beltrum), deze plots hebben een kwelflux van meer dan 1500 mm/jaar. Opvallend is de relatief hoge bijdrage van runoff in gedraineerde kleigronden.

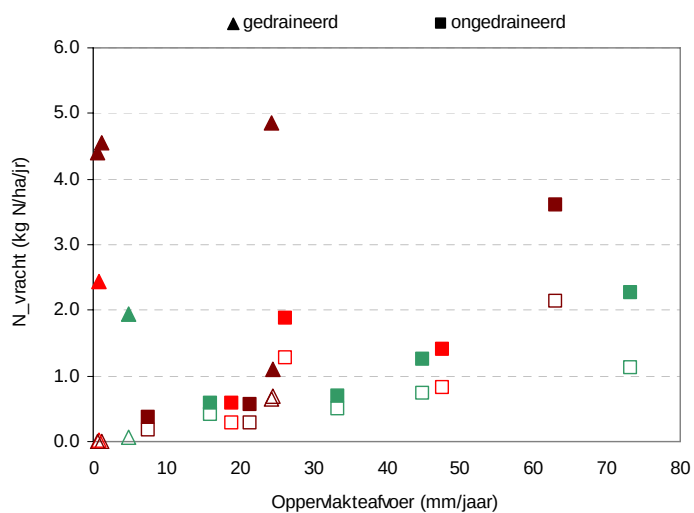
Nutriëntenbelasting

Voor het geringe aantal klei- en veenplots is geen relatie gevonden tussen GHG en N- of P-vrachten, daarom zijn deze weggelaten in de figuren 6.28 en 6.29. Uit deze figuren voor de zandgronden kan worden afgeleid dat de N-vrachten naar het oppervlaktewater voor gedraineerde zandgronden over het algemeen hoger zijn dan voor ongedraineerde zandgronden. Dit is voornamelijk het gevolg van een lagere GHG voor gedraineerde plots. Door de lagere grondwaterstand is de denitrificatie lager en wordt er meer stikstof afgevoerd. Ook voor fosfaat worden voor gedraineerde plots hogere P-vrachten berekend. De relatie tussen de GHG en de P-vrachten is bij de gedraineerde plots minder duidelijk aanwezig. De P-belasting bij ongedraineerde zandgronden is wel hoger naarmate de GHG hoger is. Er blijkt weinig effect van grondgebruik. Akkerbouw vertoont weliswaar een hogere belasting maar dit zijn ook overwegend gedraineerde plots.

Naast de GHG speelt ook de oppervlakteafoer (runoff + maaiveldafvoer) een belangrijke rol bij de N- en P-belasting (figuur 6.30 en 6.31). De oppervlakteafoer (runoff + maaiveldafvoer) voor gedraineerde plots is lager dan voor ongedraineerde plots. In figuur 6.30 lijkt de gemiddelde N-belasting daardoor af te nemen met toenemende oppervlakteafoer. Dit heeft echter meer te maken met het feit dat gronden met veel oppervlakteafoer niet gedraineerd zijn. De oppervlakkige N- en P-vracht neemt op ongedraineerde gronden uiteraard toe met toenemende oppervlakteafoer. Dit effect is voor P veel sterker dan voor N, omdat het aandeel oppervlakkige vracht in de totale vracht bij P groter is dan bij N. Op gedraineerde gronden is er geen relatie met oppervlakkige afvoer. De hogere afvoer van bouwland lijkt opnieuw samen te hangen met drainage.



Figuur 6.30: Gemiddelde bruto N-vracht (totale vracht dichte, oppervlakkige vracht open symbolen) uitgezet tegen de gemiddelde oppervlakteafvoer (runoff + maaiveldafvoer). Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.



Figuur 6.31: Gemiddelde bruto P-vracht uitgezet tegen de gemiddelde oppervlakteafvoer (runoff + maaiveldafvoer). Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.

6.5.2 Blokkeren maaiveldafvoer

Blokkeren van de maaiveldafvoer is doorgerekend voor alle plots, met uitzondering van de veenplots.

Waterbalans

Doordat er in de uitgangssituatie op gedraineerde zandgronden nagenoeg geen oppervlakteafvoer plaats vindt, heeft 'blokkeren van maaiveldafvoer' daar vrijwel geen effect op de verdeling van de afvoer (tabel 6.39). Op ongedraineerde zandgronden wordt de oppervlakkige afvoer in de uitgangssituatie door blokkeren bijna volledig 'overgenomen' door het tertiaire systeem, waarvan de afvoer met 10% toeneemt. Op gedraineerde kleigronden wordt de oppervlakteafvoer 'overgenomen' door de drainbuizen.

Tabel 6.39: Totale bruto waterafvoer (mm/jaar) en de verdeling over de verschillende ontwateringsystemen (%) in de uitgangssituatie en met 'blokkeren maaiveldafvoer'.

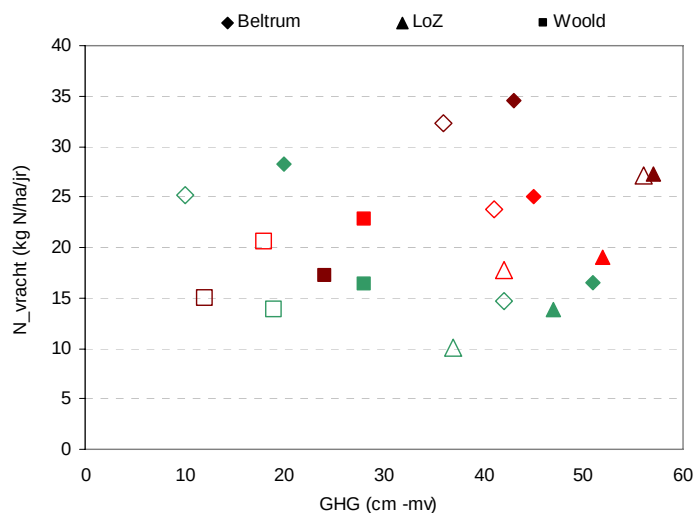
Grondsoort Drainage_SCENARIO	Runoff %	Maaiveld %	Drains %	Tertiair %	Secundair %	Primair %	Totaal mm/jaar
Zandgronden							
gedraineerd_REF	0.3	0.9	55	25	10	8.8	1269
gedraineerd_BMV	0.0		56	25	10	8.8	1269
Zandgronden							
ongedraineerd_REF	2.3	10		49	25	13	279
ongedraineerd_BMV	0.0			59	27	14	281
Kleigronden							
gedraineerd_REF	11	1.2	74	4.9	4.2	5.1	444
gedraineerd_BMV	0.0		85	5.5	4.6	5.4	446

Ook de veranderingen in grondwaterstand spelen een rol bij de effectiviteit van de maatregel (tabel 6.40). Uit de tabel kan worden afgeleid dat 'blokkeren maaiveldafvoer' voornamelijk invloed heeft op de gemiddeld hoogste grondwaterstand en niet zozeer op de GLG en GVG. De grondwaterstandveranderingen zijn het grootste voor de ongedraineerde zandgronden. Gemiddeld neemt de diepte van de GHG met 25% af, terwijl de GHG voor de gedraineerde gronden nauwelijks verandert.

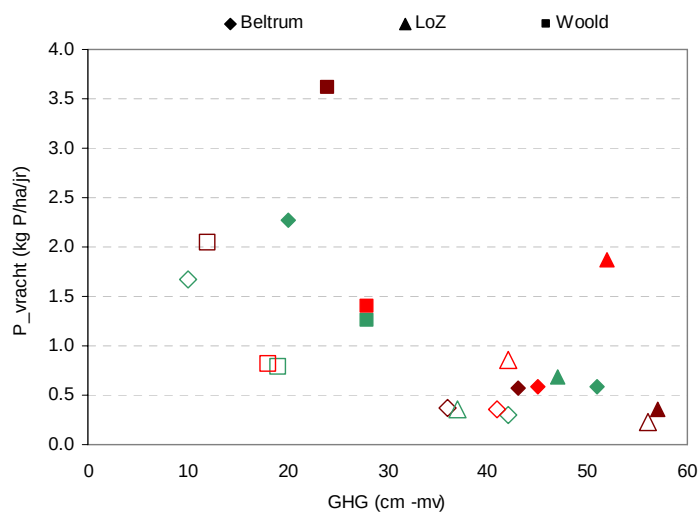
Tabel 6.40: Effect van blokkeren maaiveldafvoer op enkele grondwaterkarakteristieken (+ is een verhoging)

Grondsoort Drainage	GHG (cm-mv)		GLG (cm-mv)		GVG (cm-mv)		ΔGHG %	ΔGLG %	ΔGVG %
	REF	BMV	REF	BMV	REF	BMV			
Zandgronden									
Ongedraineerd	40	31	136	136	68	64	25	0.3	6.5
Gedraineerd ¹	60	59	105	105	82	82	1.4	0.0	0.2
Kleigronden									
Gedraineerd	75	66	167	166	106	105	13	0.9	0.2

¹met uitzondering van plot 6070 met Gt III, overige plots met Gt IV of VI.



Figuur 6.32: N-vracht naar het oppervlaktewater in de uitgangssituatie (dichte symbolen) en voor 'blokkeren maaiveldafvoer' (open symbolen) als functie van de GHG. **Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.**



Figuur 6.33: P-vracht naar het oppervlaktewater in de uitgangssituatie (dichte) en voor 'blokkeren maaiveldafvoer' (open symbolen), als functie van de GHG. **Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.**

Tabel 6.41: Bruto N- en P-vrachten in de uitgangssituatie (REF) en met 'blokkeren maaiveldafvoer' (BMV), en de vrachtreductie door BMV. Vet: locaties bufferstrokenonderzoek: a) Woold, b) Beltrum, e) Loon op Zand, f) Lelystad.

geohydrotype & plotnummer		N-vracht kg N.ha ⁻¹ .j ⁻¹		P-vracht kg P.ha ⁻¹ .j ⁻¹		Effectiviteit		Drainage
		REF	BMV	REF	BMV	N-vracht- reductie	P-vracht- reductie	
a	3150	17.27	15.00	3.61	2.04	13%	43%	Nee
	3176	22.79	20.56	1.40	0.81	10%	42%	Nee
	3355	15.97	15.90	1.10	0.50	0%	55%	Ja
	4294	16.40	13.79	1.25	0.78	16%	38%	Nee
b	1013	87.48	87.46	4.55	4.55	0%	0%	Ja
	2773	25.01	23.72	0.58	0.36	5%	37%	Nee
	3752	28.28	25.16	2.27	1.67	11%	26%	Nee
	5558	34.54	32.29	0.57	0.37	7%	35%	Nee
	6063	16.56	14.71	0.58	0.30	11%	49%	Nee
	6070	57.41	56.49	4.86	4.30	2%	11%	Ja
e	1000	110.33	110.30	4.41	4.41	0%	0%	Ja
	5344	44.33	44.13	1.94	1.89	0%	3%	Ja
	5346	85.94	85.95	2.44	2.43	0%	1%	Ja
	5428	27.23	27.09	0.36	0.23	1%	36%	Nee
	5626	19.02	17.83	1.87	0.85	6%	55%	Nee
	5724	13.87	10.05	0.69	0.35	28%	49%	Nee
f	2082	21.38	21.76	0.68	0.64	-2% ¹	6%	Ja
	2832	9.20	9.83	0.15	0.16	-7%	-8%	Ja
	4566	19.17	18.76	17.02	18.29	2%	-7%	Ja
	4879	16.05	15.84	0.30	0.29	1%	4%	Ja

¹ Negatieve waarden betreffen een verhoging van de belasting.

Tabel 6.42: Effect van 'blokkeren maaiveldafvoer' op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater onder verschillende omstandigheden.

Grondsoort_drainage	Effectiviteit		Aantal plots
	N-vrachtreductie	P-vrachtreductie	
Zand_totaal	7%	30%	16
Zand_gedraineerd	0%	12%	6
Zand_ongedraineerd	11%	41%	10
Klei_gedraineerd	-1%	-1%	4

Nutriëntenbelasting

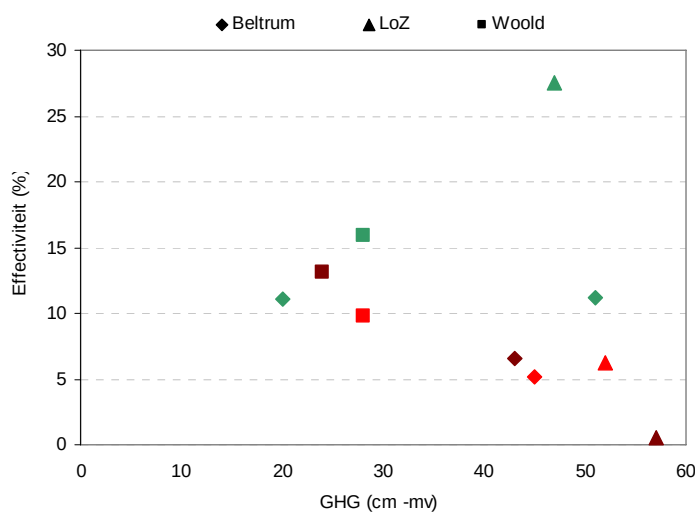
De effectiviteit van het blokkeren van maaiveldafvoer op zandgronden is groter voor P dan voor N (tabel 6.41 en 6.42, figuren 6.32-6.35). Op gedraineerde kleigronden is BMV in het geheel niet effectief. In de vorige paragraaf bleek een verband tussen gemiddelde N- en P-vracht naar het oppervlaktewater en GHG. In de figuren 6.32 en 6.33 zijn daarom voor de ongedraineerde zandgronden, waar BMV het meest effectief is, de totale N- en P-vrachten van de uitgangssituatie (dichte symbolen) en 'blokkeren maaiveldafvoer' (open symbolen) uitgezet tegen GHG. In de figuren 6.34 en 6.35 is hetzelfde gedaan voor de relatieve vrachtreductie. Door het blokkeren van de maaiveldafvoer neemt voor alle ongedraineerde zandplots de totale N en P-vracht

naar het oppervlaktewater af, ondanks de verhoging van de GHG (de open symbolen in figuren 6.32 en 6.33 liggen allemaal linksonder de dichte symbolen). Voor P is dit effect sterker dan voor N door het grotere aandeel oppervlakkige vracht.

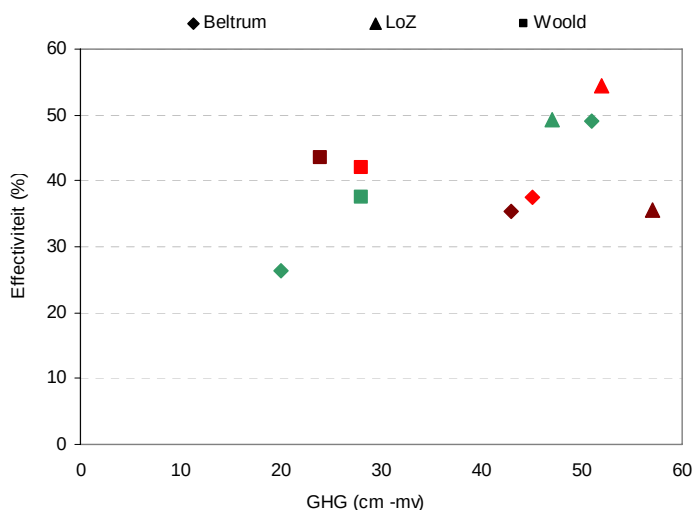
In figuur 6.34 lijkt een verband te zien tussen oorspronkelijke GHG en N-vrachtreductie. Er is echter één uitbijter, grasland in Loon op Zand, met een hogere vrachtreductie dan het verband suggereert.

De GHG van de plots in geohydrotype a (Woold) hebben een hogere GHG dan de plots in geohydrotype b (Beltrum) en e (Loon op Zand). Daardoor is niet zonder meer te zeggen of de hogere effectiviteit een gevolg is van GHG of van geohydrotype.

Om meer inzicht te krijgen in de verschillen tussen de scenario's zijn de N- en P-concentraties per afvoersysteem berekend (tabel 6.43 en tabel 6.44) op basis van de bruto afvoeren.



Figuur 6.34 N-vrachtreductie (effectiviteit) door blokkeren maaiveld als functie van de oorspronkelijke GHG. Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.



Figuur 6.35 P-vrachtreductie (effectiviteit) door blokkeren maaiveld als functie van de oorspronkelijke GHG. Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.

Tabel 6.43: N-concentratie in de bruto afvoer per drainagesysteem in de uitgangssituatie (REF) en met 'blokkeren maaiveldafvoer' (BMV).

Grondsoort <i>Drainage_SCENARIO</i>	Runoff <i>mg/l</i>	Maaiveld <i>mg/l</i>	Drains <i>mg/l</i>	Tertiair <i>mg/l</i>	Secundair <i>mg/l</i>	Primair <i>mg/l</i>	Totaal <i>mg/l</i>	Reductie <i>%</i>
Zandgronden								
Gedraineerd_REF	0.44	9.86	7.94	3.14	3.08	2.63	5.43	0.4
Gedraineerd_BMV			7.91	3.14	3.08	2.63	5.42	
Zandgronden								
Ongedraineerd_REF	0.67	13.42		10.42	7.86	3.97	9.28	12
Ongedraineerd_BMV	0.21			9.60	7.37	3.79	8.32	
Kleigronden								
Gedraineerd_REF	2.06	5.49	4.33	3.03	3.12	2.62	3.87	-1
Gedraineerd_BMV			4.09	2.95	3.02	2.60	3.90	

Tabel 6.44: P-concentratie in de bruto afvoer per drainagesysteem in de uitgangssituatie (REF) en met 'blokkeren maaiveldafvoer' (BMV).

Grondsoort <i>Drainage_SCENARIO</i>	Runoff <i>mg/l</i>	Maaiveld <i>mg/l</i>	Drains <i>mg/l</i>	Tertiair <i>mg/l</i>	Secundair <i>mg/l</i>	Primair <i>mg/l</i>	Totaal <i>mg/l</i>	Reductie <i>%</i>
Zandgronden								
Gedraineerd_REF	0.10	2.36	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	12
Gedraineerd_BMV			0.20	0.26	0.25	0.26	0.22	
Zandgronden								
Ongedraineerd_REF	0.12	2.70		0.28	0.16	0.12	0.49	42
Ongedraineerd_BMV	0.04			0.33	0.20	0.14	0.27	
Kleigronden								
Gedraineerd_REF	0.12	0.37	0.75	0.97	0.81	1.08	0.72	-1
Gedraineerd_BMV			0.73	0.97	0.79	1.08	0.76	

Op basis van deze resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- 'Blokkeren maaiveldafvoer' heeft op zandgronden een positief effect op zowel de N-belasting als op de P-belasting van het oppervlaktewater. Het effect voor P is groter door het grotere aandeel oppervlakkige vracht. Op gedraineerde kleigronden zijn ook negatieve effecten mogelijk.
- Op ongedraineerde zandgronden zijn er aanwijzingen voor een relatie tussen de effectiviteit van blokkeren van maaiveldafvoer met de GHG voor de N-belasting. Bij een hoge grondwaterstand lijkt de effectiviteit van de maatregel groter. Voor de P-vrachtreductie is geen duidelijke relatie gevonden met GHG.
- Het effect van BMV op de N-belasting is voor ongedraineerd grasland gemiddeld hoger dan voor ongedraineerde akkerbouw en maïsplots. De N-belasting voor ongedraineerd grasland neemt gemiddeld af met 16%, terwijl dit voor de maïs en akkerbouw 7% bedraagt. Bij fosfaat is er geen duidelijk verschil tussen de gewassen waargenomen.
- De effectiviteit van 'blokkeren maaiveldafvoer' op de kleigronden (positief of negatief) kan deels worden verklaard door de verdeling van de oppervlakteafvoer over de runoff en maaiveldafvoer. Het grootste gedeelte van de oppervlakteafvoer wordt via runoff afgevoerd, wat volgens het model een lagere N- en P-concentratie heeft dan het water dat via het maaiveld wordt afgevoerd. Daarnaast is de N- en P-concentratie van de oppervlakteafvoer lager dan voor de overige drainagesystemen.
- Op basis van de kenmerken van de kleiplots kan niet worden verklaard waarom voor een aantal plots een negatief effect verwacht kan worden en voor een aantal plots een positief effect.

6.5.3 Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage

Ook het scenario met dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage (DSD+BVM) is alleen voor de zand- en kleigronden doorgerekend.

Waterbalans

Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage (DSD+BMV) heeft voor zandgronden een groot effect op de verdeling van het neerslagoverschot over de ontwateringsystemen (tabel 6.45). Het grootste gedeelte wordt via de drainbuizen afgevoerd, in de uitgangssituatie was dit via het tertiaire systeem. De totale afvoer neemt toe met ongeveer 10% door een hoger neerslagoverschot. Dit komt door een lagere verdamping van het gewas als gevolg van natschade door het (modelmatig) te hoog ingestelde peil. In de praktijk kan met de instelling van het peil ingespeeld worden op grondwaterstand en weersverwachting, waardoor natschade niet of veel minder zal voorkomen. Een boer zal eerder het peil verlagen om natschade te voorkomen. Hierdoor zal een hogere verdamping, een betere productie, een hogere nutriëntenopname, een minder hoge GHG en een geringere afvoer ten opzichte van de doorgerekende situatie worden gerealiseerd. Het positieve effect van DSD+BMV is dus onderschat.

Tabel 6.45: Bruto waterafvoer via de verschillende ontwateringsystemen in de uitgangssituatie (REF) en dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage (DSD+BMV).

Grondsoort drainage	Runoff %	Maaiveld %	Drains %	Tertiair %	Secundair %	Primair %	Totaal mm/jaar
Zandgronden							
REF ongedraineerd	1.8	8.4		49	25	16	263
gedraineerd_DSD+BMV	0.0		86	8.5	3.7	1.4	289
Kleigronden							
REF gedraineerd	11	1.2	74	4.9	4.2	5.1	444
geherdraineerd_DSD+BMV	0.0		96	1.2	1.7	1.4	529

Ook op de kleigronden neemt de totale waterafvoer (bijna 20%) toe door herdraineren (DSD+BMV) en wordt bijna volledig via de drainbuizen afgevoerd. Bij kleigronden neemt de totale bruto afvoer ook toe doordat de infiltratie van oppervlaktewater toeneemt. Bij zandgronden speelt infiltratie geen significante rol.

Tabel 6.46: Effect van diep aangelegde peilgestuurde drainage (DSD+BMV) op grondwaterkarakteristieken.

Grondsoort drainage	GHG (cm-mv)		GLG (cm-mv)		GVG (cm-mv)		ΔGHG	ΔGLG	ΔGVG
	REF	DSD	REF	DSD	REF	DSD	%	%	%
Zandgronden									
REF ongedraineerd	45	36	141	121	72	60	18'	15	16
Kleigronden									
REF gedraineerd	75	29	167	99	106	67	60	40	35

¹positieve verandering is een verhoging van de grondwaterstand

Als gevolg van het hoge streefpeil op zandgronden (w\z -60\ -40 cm -mv) en kleigronden (w\z -80\ -60 cm -mv) ontstaan door DSD+BMV forse verschillen in grondwaterstand ten opzichte van de referentie, vooral op klei (tabel 6.46, figuren 6.36 en 6.37). 'Blokken maaiveldafvoer' heeft voornamelijk invloed op de GHG (vorige paragraaf), terwijl bij DSD+BMV ook de GLG en GVG een stuk hoger zijn.

De procentuele verhoging van de GHG kan per plot sterk verschillen. Bij de GLG en GVG is deze spreiding veel geringer.

Nutriëntenbelasting

Het effect van van DSD+BMV op de N- en P-belasting is variabel, ook binnen de verschillende geohydrotypen (tabel 6.47). Alleen het effect voor P op zandgrond is consistent positief. De N- en P-vrachten nemen gemiddeld af ondanks (P) of dankzij (N) de toenemende GHG (Figuren 6.36 en 6.37; de open symbolen liggen linksonder de dichte symbolen). Na het nemen van de maatregel (open symbolen) vertoont de P-vracht een net verband met de GHG, met een omslagpunt rond 25 cm –mv, wat overeenkomt met de normale diepte van de P-rijkere bovengrond (ploegdiepte).

Tabel 6.47: Bruto N- en P-vrachten naar het oppervlaktewater in de uitgangssituatie (REF) en met DSD+BMV, alsmede de effectiviteit van (her)draineren met DSD+BMV.

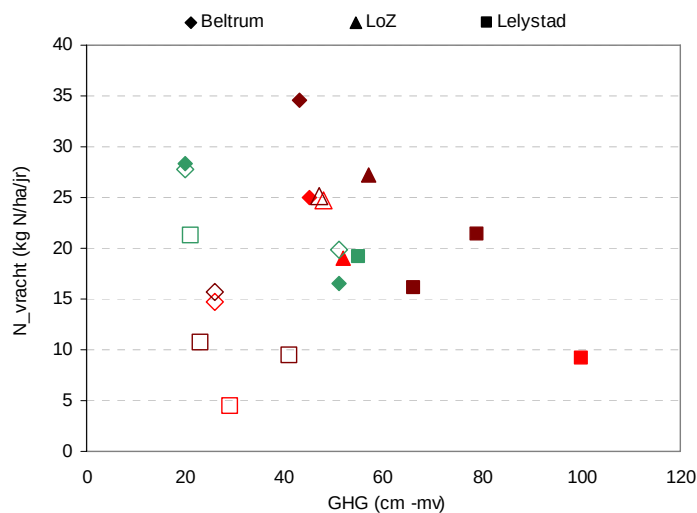
Geohydrotype ¹ en plot		Gebruik	N-vracht (kg.ha ⁻¹ .jr ⁻¹)		P-vracht (kg.ha ⁻¹ .jr ⁻¹)		Effectiviteit (%)	
							N-vracht-reductie	P-vracht-reductie
			REF	DSD+BMV	REF	DSD+BMV	REF	DSD+BMV
b	2773	Maïs	25.01	14.73	0.58	0.51	41%	12%
	3752	Gras	28.28	27.73	2.27	1.74	2%	23%
	5558	Akkerbouw	34.54	15.70	0.57	0.46	55%	19%
	6063	Gras	16.56	19.91	0.58	0.17	-20%	72%
e	5428	Akkerbouw	27.23	25.14	0.36	0.16	8%	55%
	5626	Maïs	19.02	24.78	1.87	0.24	-30%	87%
f	2082	Akkerbouw	21.38	10.71	0.68	1.18	50%	-72%
	2832	Maïs	9.20	4.38	0.15	0.35	52%	-137%
	4566	Gras	19.17	21.31	17.02	17.57	-11%	-3%
	4879	Akkerbouw	16.05	9.51	0.30	0.24	41%	18%

¹alleen f is gedraineerd in de uitgangssituatie REF

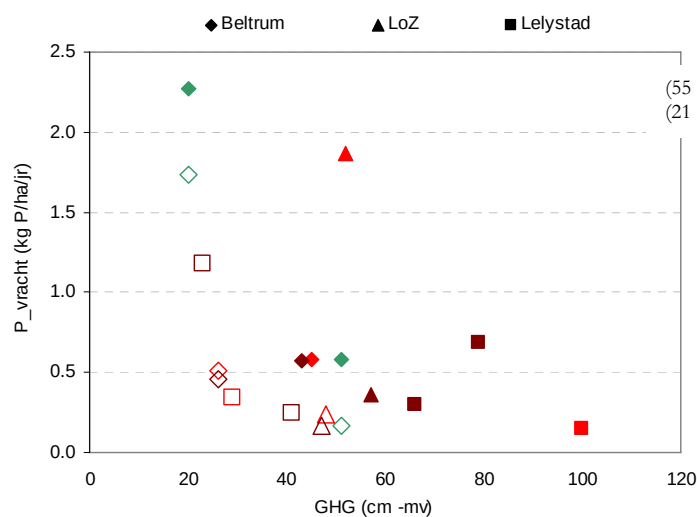
Tabel 6.48: Effectiviteit van DSD+BMV op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater per gewas en grondsoort. Alleen grijs gemarkeerde effecten zijn consistent.

Uitgangssituatie	Vrachtreductie		Aantal plots
	N	P	
Zandgronden	9	45	6
Kleigronden	33	-49	4
Grasland	-10	31	3
Akkerbouw	38	5	4
Maïs	21	-13	3

Er is geen betrouwbare indeling naar effectiviteit op basis van geohydrotype, maar wel op basis van grondsoort en gebruik (tabel 6.48). De grijs gemarkeerde waarden geven een betrouwbaar beeld van het effect van DSD+BMV binnen de deelverzameling. Voor de overige deelverzamelingen is het effect onbetrouwbaar. Door het kleine aantal waarnemingen zijn de conclusies niet hard.



Figuur 6.36: N-vracht als functie van de GHG in uitgangssituatie REF (dichte) en met verdiept aangelegde peilgestuurde drainage DSD+BMV (open symbolen). **Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.**



Figuur 6.37: P-vracht als functie van de GHG bij uitgangssituatie REF (dichte) en met verdiept aangelegde peilgestuurde drainage DSD+BMV (open symbolen). Rechtsboven de extreme waarden van plot 4566 (grasland, geohydrotype f). **Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.**

Tabel 6.49: N-concentratie van de afvoer per ontwateringsmiddel in de uitgangssituatie (REF) en met dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage (DSD+BMV). Concentratie kijkt weinig af binnen grondsoort.

Grondsoort	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal	Reductie
drainage	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%
Zandgronden								
Ongedraineerde REF	0.65	14.23		12.93	10.50	5.05	11.31	
Gedraineerd_DSD+BMV			10.54	4.71	3.99	3.24	9.80	22
Kleigronden								
Gedraineerde REF	2.06	5.49	4.33	3.03	3.12	2.62	3.87	
Geherdraineerd_DSD+BMV			2.11	2.35	2.33	2.37	2.12	43

Tabel 6.50: P-concentratie in de afvoer per ontwateringsmiddel in de uitgangssituatie (REF) en bij dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage (DSD+BMV). Concentratie wijkt weinig af binnen grondsoort.

Grondsoort	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	Totaal	Reductie
drainage	Mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	%
Zandgronden								
Ongedraineerde REF	0.11	2.82		0.25	0.15	0.12	0.45	
Gedraineerd_DSD+BMV			0.16	0.21	0.19	0.15	0.16	50
Kleigronden								
Gedraineerde REF	0.12	0.37	0.75	0.97	0.81	1.08	0.72	
Geherdraineerd_DSD+BMV			0.69	1.04	0.79	1.07	0.70	-15

De volgende opmerkingen kunnen gemaakt worden:

- Het effect van DSD+BMV op de N-belasting van het oppervlaktewater voor zandgronden en kleigronden is variabel. Voor een aantal plots wordt een positief effect verwacht, terwijl er ook een aantal plots zijn waar een negatief effect optreedt.
- DSD+BMV resulteert op ongedraineerde zandgronden in een forse reductie van de P-belasting naar het oppervlaktewater (45%).
- Het effect van DSD+BMV op de P-belasting van het oppervlaktewater voor kleigronden is variabel. Van de 4 doorgerekende plots wordt voor een tweetal plots een sterk negatief effect gevonden, terwijl voor de overige twee plots een licht negatief tot sterk positief effect verwacht mag worden. De twee plots met een sterk negatief effect zijn in de uitgangssituatie droog (Gt-klasse VII), terwijl de overige plots een lagere Gt-klasse hebben.
- Uit de waterbalans blijkt dat door het modelmatig implementeren van deze vorm van drainage de totale waterafvoer toeneemt met 10% voor zandgronden en 20% voor kleigronden (artefact). De hogere grondwaterstand veroorzaakt meer denitrificatie, terwijl BMV P-afvoer via maaiveld voorkomt. De gemiddelde N- en P-concentraties in de totale afvoer nemen dus af, en daardoor in een aantal gevallen ook de N- en P-vracht.
- Uit figuur 6.36 blijkt dat de P-vracht naar het oppervlaktewater na DSD+BMV sterk afhankelijk is van de GHG. Een kleine verlaging van de GHG resulteert in een sterke afname van de P-vracht. In combinatie met punt 4 blijkt hieruit dat de P-vrachtreductie door DSD is onderschat. Voor stikstof is het effect van GHG minder duidelijk aanwezig.
- Gemiddelde is het effect van DSD+BMV op de N-belasting voor graslanden negatief, terwijl het effect voor akkerbouw en maïsland gemiddeld positief is.
- DSD+BMV heeft voor alle akkerbouwplots, met uitzondering van plot 2082, een positief effect op de N- en P-belasting.

6.5.4 Traditionele drainage met en zonder blokkeren maaiveldafvoer

In deze paragraaf worden de resultaten beschreven van het effect van traditionele drainage (TD) met en zonder blokkeren maaiveld (BMV) op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater. Voor zandgronden is alleen de maatregel TD doorgerekend, voor de veengronden alleen de combinatie TD+BMV, en voor kleigronden beide (TD, TD+BMV).

Waterbalans

De totale bruto waterafvoer van klei- en zandgronden neemt toe wanneer deze op traditionele manier worden gedraineerd (tabel 6.51). De oorzaak hiervan is op kleigronden alleen een hogere wateraanvoer (infiltratie) en niet een lagere verdamping door het gewas zoals in de vorige paragraaf. De netto waterafvoer blijft gelijk. Op de veengronden neemt ook de verdamping door het gewas af, waardoor het neerslagoverschot toeneemt. Bij TD wordt het grootste gedeelte van het neerslagoverschot uiteraard via de drainbuizen afgevoerd. Bij de zandgronden wordt ook nog een belangrijk deel via het tertiaire systeem afgevoerd. Opvallend is de nog vrij hoge afvoer via runoff op kleigronden na het draineren. Er vindt geen runoff meer plaats wanneer ook de maaiveldafvoer wordt geblokkeerd.

Tabel 6.51: Bruto waterafvoer naar de verschillende ontwateringsystemen voor REF, TD en TD+BMV.

Grondsoort drainage	Runoff %	Maaiveld %	Drains %	Tertiair %	Secundair %	Primair %	Totaal mm/jaar
Zandgronden							
Ongedraineerde REF	2.1	9.2		48	24	16	278
TD+BMV	0.1	0.1	54	35	7.8	3.0	281
Kleigronden							
Ongedraineerde REF	15	38		21	10	16	334
TD	11	1.8	78	6.5	2.0	1.4	375
TD+BMV	0.0		89	7.4	2.2	1.6	373
Veengronden							
Ongedraineerde REF	18	66		0.4	7.6	8.5	398
TD+BMV	0.0		87	0.3	5.7	6.5	477

Traditionele drainage leidt voor zandgronden tot een forse verlaging van de grondwaterstand (tabel 6.52). Dit komt voornamelijk tot uiting in de GHG. Voor ongedraineerde kleigronden veroorzaakt TD+BMV ook een grondwaterstandverlaging van GHG en GVG, maar de GLG wordt juist hoger door extra infiltratie. Er zijn in totaal slechts twee veenplots doorgerekend. Het effect van TD+BMV is voor beide plots een hogere grondwaterstand. De hoogste grondwaterstand reikt in de meeste jaren tot aan het maaiveld. Dit verklaart de hogere totale afvoer in tabel 6.51, die het gevolg is van afname van de verdamping van het gewas door natschade.

Tabel 6.52: Effect van traditionele drainage met (TD+BMV) en zonder blokkeren maaiveldafvoer (TD) op de grondwaterkarakteristieken van de verschillend grondsoorten.

Grondsoort drainage	GHG(cm-mv)		GLG(cm-mv)		GVG(cm-mv)		ΔGHG %	ΔGLG %	ΔGVG %
	REF	TD(+BMV)	REF	TD(+BMV)	REF	TD(+BMV)			
Zandgronden									
TD	42	85	138	152	69	100	-126 ¹	-11	-49
Kleigronden									
TD	18	66	173	145	68	101	-267	16	-49
TD+BMV	18	59	173	145	68	101	-228	16	-49
Veengronden									
TD+BMV									
Plot 1888	3	-2	57	39	25	29	167	32	-16
Plot 3423	7	0	80	48	50	36	100	40	28

¹positieve verandering is een verhoging van de grondwaterstand

Nutriëntenbelasting

Omdat bij klei- en veengronden infiltratie een belangrijke rol speelt, is voor deze plots niet alleen de bruto vracht, zoals bij de zandgronden (tabel 6.53), maar ook de netto vracht naar het oppervlaktewater relevant (tabel 6.54). De effectiviteit van de maatregel op basis van netto vrachten is meestal wat hoger dan op basis van bruto vrachten. Bij veenplot 3423 (Zegveld, veenweidegebied) is het verschil extreem. Dit is een gevolg van de enorme dynamiek van afvoer en infiltratie, zie paragraaf 6.4.4. Voor een reële inschatting van het effect van drainage op deze plot is nader onderzoek gewenst.

Tabel 6.53: Bruto N en P-belasting van het oppervlaktewater op zandgronden voor de ongedraineerde uitgangssituatie REF en traditionele drainage (TD).

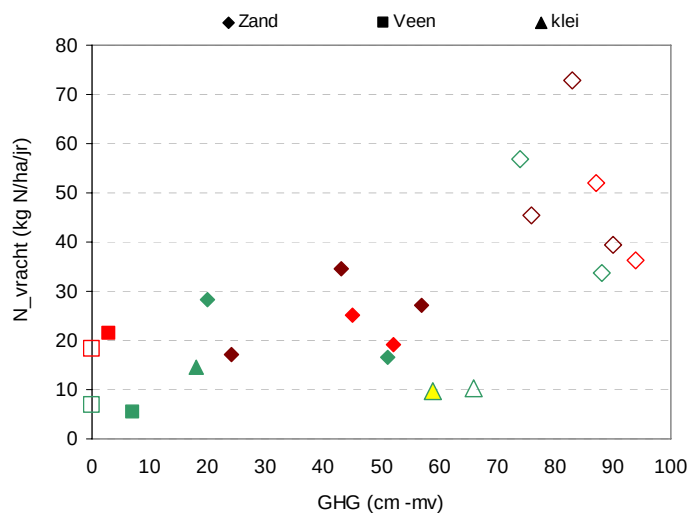
Geohydrotype plot		N-vracht kg, ha^{-1}, j^{-1}		P-vracht kg, ha^{-1}, j^{-1}		Vrachtreductie (%)	
						N	P
		REF	TD	REF	TD		
Woold	3150	17.27	45.51	3.61	0.37	-164	90
Beltrum	2773	25.01	52.11	0.58	0.20	-108	66
	3752	28.28	56.75	2.27	0.73	-101	68
	5558	34.54	72.98	0.57	0.22	-111	61
	6063	16.56	33.78	0.58	0.13	-104	78
Loon op Zand	5428	27.23	39.52	0.36	0.13	-45	64
	5626	19.02	36.15	1.87	0.14	-90	92
Gemiddeld zand						-103	74

Tabel 6.54: Bruto en netto N en P-vracht naar het oppervlaktewater op veen- en kleigronden voor de uitgangssituatie (REF) en traditionele drainage met (TD+BMV) of zonder blokkeren maaiveldafvoer (TD).

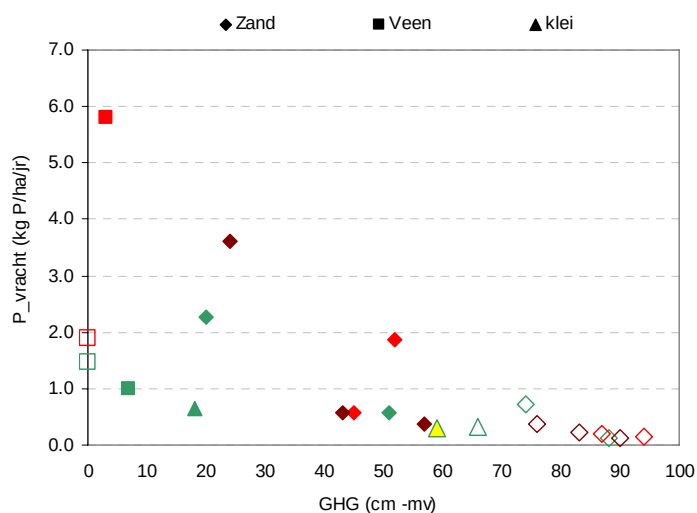
Grondsoort, plot, en soort drainage		N-vracht kg, ha^{-1}, j^{-1}		P-vracht kg, ha^{-1}, j^{-1}		Vrachtreductie (%)		Basis
						N	P	
Kleigrond		REF	TD(+BMV)	REF	TD(+BMV)			
2275	TD	14.62	10.30	0.64	0.31	30	51	Bruto
	TD	14.61	9.45	0.64	0.27	35	57	Netto
	TD+BMV	14.62	9.59	0.64	0.29	34	55	Bruto
	TD+BMV	14.61	8.85	0.64	0.25	39	60	Netto
Veengrond								
1888	TD+BMV	21.30	18.23	5.80	1.89	14	67	bruto
	TD+BMV	20.40	15.99	5.63	1.62	22	71	netto
3423	TD+BMV	5.47	6.74	1.00	1.46	-23	-46	bruto
	TD+BMV	3.47	1.49	0.23	0.33	71	-47	netto

Zoals mag worden verwacht op basis van het effect op de grondwaterstand, neemt door drainage de stikstofvracht toe (figuur 6.38) en de fosfaatvracht af (figuur 6.39). De N-vracht vertoont geen verband met de oppervlakteafvoer in de uitgangssituatie (figuur 6.40). Dat is wel het geval voor de P-vracht, maar uit figuur (6.41) kan ook worden afgeleid dat het effect van drainage niet uitsluitend door de oppervlakteafvoer wordt bepaald.

Klei- en veenplots zijn uit figuren 6.40 en 6.41 weggelaten, omdat ze een veel hogere afvoer hebben (>150 mm/jaar).



Figuur 6.38: N-vracht naar het oppervlaktewater in de uitgangssituatie en traditionele drainage met of zonder 'blokkeren maaiveldafvoer'. **Groen grasland**, **rood maïs**, **bruin akkerbouw**.



Figuur 6.39: P-vracht naar het oppervlaktewater in de uitgangssituatie en traditionele drainage met of zonder 'blokkeren maaiveldafvoer'. **Groen grasland**, **rood maïs**, **bruin akkerbouw**.

Tabel 6.55: N-concentratie in de bruto afvoer per ontwateringsmiddel voor uitgangssituatie (REF) en traditionele drainage met (TD+BMV) of zonder blokkeren maaiveldafvoer (TD).

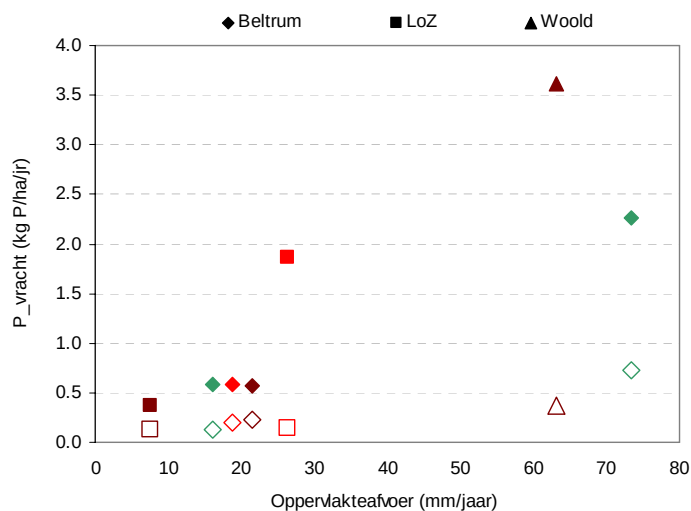
Grondsoort en soort drainage	Runoff mg/l	Maaiveld mg/l	Drains mg/l	Tertiair mg/l	Secundair mg/l	Primair mg/l	Totaal mg/l	Reductie %
Zandgronden								
Ongedraineerde REF	0.59	13.55		11.90	9.45	4.60	10.36	
TD	0.21	14.76	26.25	11.36	10.37	6.77	19.35	-100
Kleigronden								
Ongedraineerde REF	3.58	6.74		3.03	2.59	2.53	4.37	
TD	3.66	7.27	2.57	2.26	2.34	2.42	2.74	37
TD+BMV			2.60	2.30	2.36	2.44	2.57	41
Veengronden								
Ongedraineerde REF	1.74	3.65		1.79	2.30	1.57	3.04	
TD+BMV			2.49	2.00	2.80	1.93	2.47	15

Tabel 6.56: P-concentraties in de bruto afvoer per ontwateringsmiddel voor uitgangssituatie (REF) en traditionele drainage met (TD+BMV) of zonder blokkeren maaiveldafvoer per (TD).

Grondsoort drainage	Runoff mg/l	Maaiveld mg/l	Drains mg/l	Tertiair mg/l	Secundair mg/l	Primair mg/l	Totaal mg/l	Reductie %
Zandgronden								
Ongedraineerde REF	0.10	3.03		0.31	0.17	0.12	0.53	
TD	0.10	2.74	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09	75
Kleigronden								
Ongedraineerde REF	0.13	0.31		0.09	0.08	0.18	0.19	
TD	0.15	0.29	0.07	0.09	0.14	0.18	0.08	57
TD+BMV			0.07	0.09	0.14	0.18	0.08	60
Veengronden								
Ongedraineerde REF	0.13	0.95		1.33	0.61	0.42	0.74	
TD+BMV			0.34	1.33	0.68	0.47	0.36	30



Figuur 6.40: N-vracht voor zandgronden in de uitgangssituatie (dichte) en na traditionele drainage (open symbolen), uitgezet tegen de oppervlakteafvoer in de uitgangssituatie. Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.



Figuur 6.41: P-vracht voor zandgronden in de uitgangssituatie (dichte) en na traditionele drainage (open symbolen), uitgezet tegen de oppervlakteafvoer in de uitgangssituatie. Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.

Op basis van bovenstaande resultaten kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Traditionele drainage (+BMV) resulteert voor zandgronden en kleigronden in een forse verlaging van de grondwaterstand.
- Traditionele drainage met blokkeren maaiveldafvoer heeft voor veengronden een verhoging van de grondwaterstand tot gevolg. De hoge grondwaterstand heeft nadelige gevolgen voor de gewasgroei waardoor de verdamping afneemt. Het neerslagoverschot voor de veenplots neemt hierdoor toe. In de praktijk zal deze situatie worden voorkomen.
- Het traditioneel draineren van zandgronden heeft een negatief effect op de N-belasting. De N-vracht naar het oppervlaktewater neemt met een factor 2 toe. Door de veel lagere grondwaterstand neemt de denitrificatie fors af, waardoor meer nitraatstikstof uitspoelt. De gemiddelde N-concentratie in de totale afgevoer is daardoor bijna 2x zo hoog als in de uitgangssituatie. Vooral de drainafvoer heeft een hoge N-concentratie (26 mg/l).
- De lagere grondwaterstand heeft wel een positief effect op de P-belasting van het oppervlaktewater op de zandgronden. De P-vracht neemt gemiddeld af met 74%. Door het draineren worden de stroombanen verdiept, waardoor de concentraties voor alle afvoersystemen afnemen. Bovendien neemt de afvoer via maaiveld met een veel hogere P-concentratie sterk af. De gemiddelde P-concentratie voor de totale afvoer neemt hierdoor fors af.
- De P-vracht, en ook de afname van de P-vracht door drainage is hoger naarmate de oppervlakteafvoer in de uitgangssituatie groter is. Toch wordt het effect van drainage op de P-vracht niet uitsluitend door de oppervlakteafvoer bepaald (zie ook vorige punt).
- Ook voor kleigronden wordt als gevolg van de lagere grondwaterstand een positief effect op de N- en P-belasting gerealiseerd. De N-vracht neemt af met gemiddeld 30% en de P-vracht met 51%. Wanneer naast traditionele drainage ook de maaiveldafvoer wordt geblokkeerd neemt de effectiviteit toe met 4%.
- Bij het bepalen van de effectiviteit van maatregelen moet bij kleigronden en veengronden rekening worden gehouden met infiltratie. Hierdoor ontstaan verschillen tussen de effectiviteit op basis van de **bruto afvoeren** en de **netto afvoeren** (Tabel 6.55 en 6.56).
- Het effect van draineren op de veengronden is voor beide plots totaal verschillend.

6.5.5 Drainage stoppen met en zonder blokkeren maaiveldafvoer

De scenario's TD (6.5.4) en DSD (6.5.3) zijn doorgerekend voor plots die in de uitgangssituatie niet zijn gedraineerd. Naast deze plots zijn er ook een aantal plots die in de uitgangssituatie wel zijn gedraineerd (tabel 5.4). Voor deze plots is het effect van het verwijderen of afdichten van de drainbuizen onderzocht (ONT). Daarnaast zijn ook scenario's doorgerekend waarbij ook nog de maaiveldafvoer wordt geblokkeerd (ONT+BMV). Drainage stoppen en blokkeren van de maaiveldafvoer gaf voor een tweetal plots zulke onrealistische resultaten, dat deze niet konden worden doorgerekend. Bij het bespreken van de resultaten staan in de diverse

tabellen voor de uitgangssituatie twee waarden weergegeven. REF1 zijn de gemiddelde waarden van de 6 plots waarvoor de maatregel drainage stoppen is berekend. REF2 zijn de gemiddelde waarden van de plots (4 stuks) waarvoor ONT+BMV is doorgerekend.

Waterbalans

Drainage stoppen heeft een groot effect op de verdeling van neerslagoverschot en kwel over de verschillende afvoersystemen (tabel 6.57). De bijdrage van het primaire, secundaire en tertiaire systeem neemt als gevolg van drainage stoppen flink toe. Het grootste gedeelte van het neerslagoverschot wordt nu afgevoerd via de ondiepe sloten (tertiair > 50%) in plaats van de drainbuizen.

Na drainage stoppen neemt de relatieve bijdrage van de oppervlakteafvoer (runoff + maaiveldafvoer) toe tot bijna 20% van de totale afvoer. Hierbij moet echter opgemerkt worden dat de verschillen in de bijdrage van de oppervlakteafvoer tussen de verschillende plots zeer groot zijn. De bijdrage van de oppervlakteafvoer bedraagt voor de plots 3355 en 6070 bijna 40%, terwijl dit voor de overige plots gemiddeld slechts 4% is. Dit verklaart dan ook waarom het blokkeren van maaiveldafvoer op de plots 3355 en 6070 geen reële optie is. Door het blokkeren van de maaiveldafvoer is op deze plots geen landbouw meer mogelijk. In REF2 zijn de twee plots 3355 en 6070 daarom niet meegenomen, vandaar het verschil in verdeling van het neerslagoverschot met REF1.

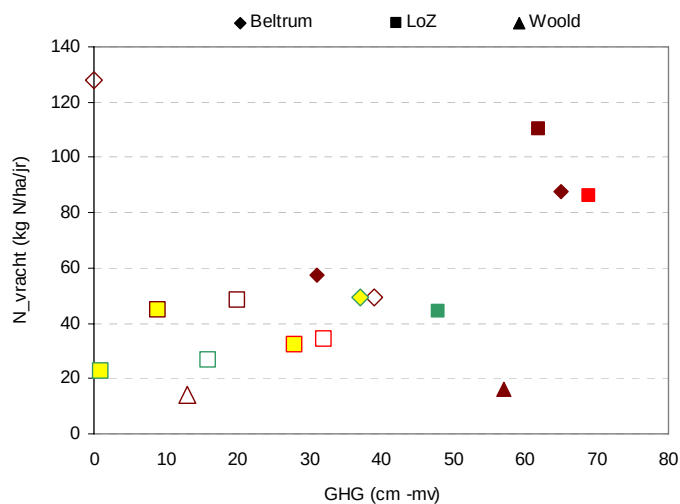
Door het verwijderen of afdichten van drainbuizen wordt de grondwaterstand verhoogd (tabel 6.58). Drainage stoppen heeft voornamelijk effect op de GHG, die in een aantal jaren zelfs tot in maaiveld reikt.

Tabel 6.57: Bruto waterafvoer via de verschillende ontwateringsystemen in de uitgangssituatie (REF) en na drainage stoppen met (ONT+BMV) en zonder (ONT) blokkeren maaiveldafvoer. REF1 hoort bij ONT, REF2 bij ONT+BMV.

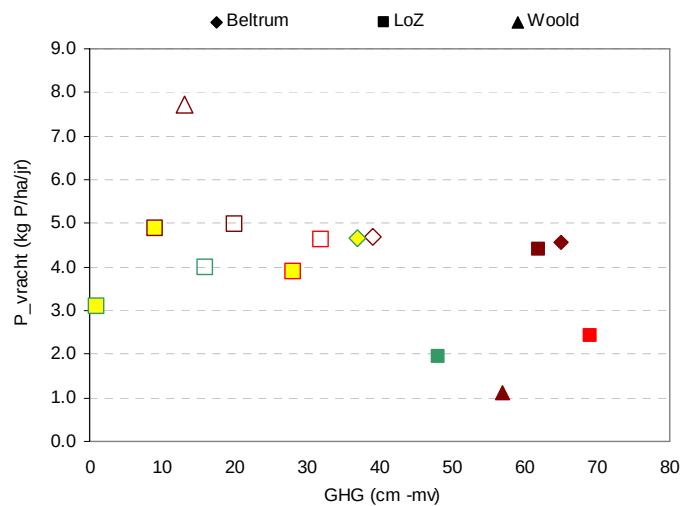
Grondsoort Drainage	Verdeling afvoer (%)						Totaal mm/jaar
	Runoff	Maaiveld	Drains	Tertiair	Secundair	Primair	
Zandgronden							
Gedraineerde REF1	0.3	0.9	55	25	10	8.8	1269
ONT	2.6	16		52	17	12	1324
Gedraineerde REF2	0.0	0.2	47	28	12	13	1267
ONT+BMV	0.0			60	21	18	1284

Tabel 6.58: Effect van drainage stoppen op enkele grondwaterkarakteristieken (+ is een verhoging) met (ONT+BMV) en zonder (ONT) blokkeren maaiveldafvoer.

Grondsoort drainage	GHG (cm-mv)		GLG (cm-mv)		GVG (cm-mv)		ΔGHG %	ΔGLG %	ΔGVG %
	REF	ONT(+BMV)	REF	ONT(+BMV)	REF	ONT(+BMV)			
Zandgronden									
ONT	55	20	102	85	77	61	68	19	27
ONT+BMV	61	19	96	87	78	53	72	9	33



Figuur 6.42: N-vracht naar het oppervlaktewater in de gedraineerde uitgangssituatie (dichte symbolen) en na drainage stoppen met (open symbolen, geel) of zonder 'blokkeren maaiveldafvoer'(open symbolen, wit). **Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.**



Figuur 6.43: P-vracht naar het oppervlaktewater in de gedraineerde uitgangssituatie (dichte symbolen) en na drainage stoppen met (open symbolen, geel) of zonder 'blokkeren maaiveldafvoer'(open symbolen, wit). **Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.**

Nutriëntenbelasting

Het effect van drainage stoppen is uiteraard omgekeerd aan het effect van traditionele drainage, de stikstofvracht neemt af, en de fosfaatvracht neemt toe (tabel 6.59 en 6.60). Door het blokkeren van de extra maaiveldafvoer als gevolg van drainage stoppen, kan de toename van de fosfaatvracht gedeeltelijk gecompenseerd worden (tabel 6.60, gemiddeld -33% in plaats van -53% in tabel 6.59).

De N-vracht vertoont net als bij traditionele drainage een redelijk verband met de GHG (figuur 6.42), dus het effect van drainage stoppen is vooral het gevolg van het effect op de grondwaterstand: hogere grondwaterstand – meer denitrificatie – minder N-vracht. Ook het effect van het blokkeren van de extra maaiveldafvoer laat zich verklaren door het effect op de grondwaterstand, de gele symbolen liggen links en iets lager ten opzichte van de witte open symbolen. Alleen Woold trekt zich weinig aan van de grondwaterstand. Dit is waarschijnlijk het gevolg van de grotere rol van oppervlakkige afvoer daar (figuur 6.43). Door het stoppen van de drainage neemt enerzijds de denitrificatie toe en daarmee de N-vracht af, maar tegelijkertijd neemt de oppervlakkige afvoer toe.

Tabel 6.59: Bruto N en P-vracht naar het oppervlaktewater in de gedraineerde uitgangssituatie (REF) en na drainage stoppen zonder blokkeren maaiveldafvoer (ONT).

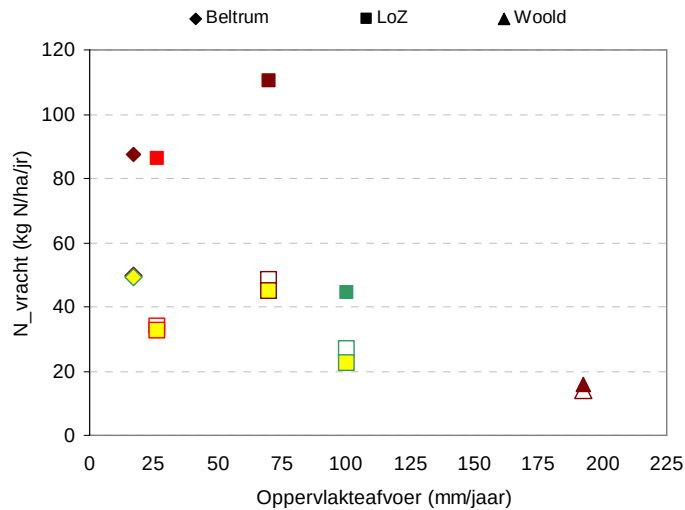
Geohydrotype	Plot	N-vracht <i>kg.ha⁻¹.j⁻¹</i>		P-vracht <i>kg.ha⁻¹.j⁻¹</i>		Vrachtreductie %	
		REF	ONT	REF	ONT	N	P
		REF	ONT	REF	ONT		
Woold	3355	15.97	14.13	1.10	7.72	11	-600
Beltrum	1013	87.48	49.58	4.55	4.68	43	-3
	6070	57.41	127.90	4.86	31.29	-123	-545
Loon op Zand	1000	110.33	48.32	4.41	4.99	56	-13
	5344	44.33	26.60	1.94	3.99	40	-106
	5346	85.94	34.02	2.44	4.62	60	-89
Gemiddeld zand		exclusief plot 6070 en 3355				50	-53

Tabel 6.60: Bruto N en P-vracht naar het oppervlaktewater in de uitgangssituatie (REF) en na drainage stoppen met blokkeren maaiveldafvoer (ONT+BMV).

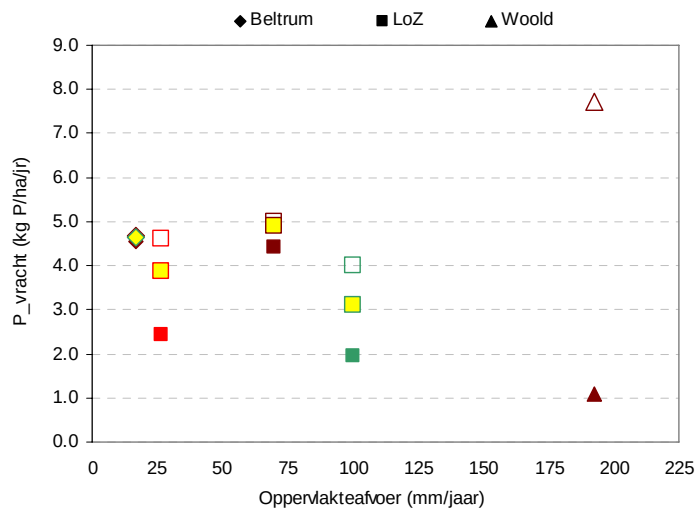
Geohydrotype	Plot	N-vracht <i>(kg.ha⁻¹.j⁻¹)</i>		P-vracht <i>(kg.ha⁻¹.j⁻¹)</i>		vrachtreductie (%)	
		REF	ONT+BMV	REF	ONT+BMV	N	P
		REF	ONT+BMV	REF	ONT+BMV		
Beltrum	1013	87.48	49.23	4.55	4.64	44	-2
Loon Op Zand	1000	110.33	44.97	4.41	4.89	59	-11
	5344	44.33	22.56	1.94	3.09	49	-59
	5346	85.94	32.32	2.44	3.89	62	-59
Gemiddeld zand						54	-33

Het effect van GHG op de P-vracht als gevolg van drainage stoppen is minder eenduidig (figuur 6.43), dan bij traditionele drainage (figuur 6.39). Bij gras en maïs zien we een toename bij de hogere GHG, maar bij bouwland is dat niet het geval, behalve weer in Woold, waar een groter deel oppervlakkig wordt afgevoerd. Het blokkeren van de extra maaiveldafvoer resulteert wel steeds in een wat geringere P-afvoer ondanks de hogere GHG.

De verschillen in N-vracht als gevolg van drainage stoppen vertonen nauwelijks verband met het aandeel oppervlakkige afvoer (figuur 6.44), maar de verschillen in P-vracht zijn wel duidelijk groter bij veel oppervlakkige afvoer (figuur 6.45). Dit bevestigt het beeld dat de P-vracht in hogere mate veroorzaakt wordt door oppervlakkige afvoer dan de N-vracht.



Figuur 6.44: N-vracht naar het oppervlaktewater in de gedraineerde uitgangssituatie (dichte symbolen) en na drainage stoppen met (open symbolen, geel) of zonder blokkeren maaiveldafvoer (open symbolen, wit), uitgezet tegen de oppervlakkige afvoer (runoff en maaiveld) na toepassing van de maatregel. **Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.**



Figuur 6.45: P-vracht naar het oppervlaktewater in de gedraineerde uitgangssituatie (dichte symbolen) en na drainage stoppen met (open symbolen, geel) of zonder blokkeren maaiveldafvoer (open symbolen, wit), uitgezet tegen de oppervlakkige afvoer (runoff en maaiveld) na toepassing van de maatregel. **Groen grasland, rood maïs, bruin akkerbouw.**

Tabel 6.61: N-concentraties in de bruto afvoer per ontwateringsmiddel voor de uitgangssituatie (REF) en drainage stoppen met (ONT+BMV) of zonder blokkeren maaiveldafvoer (ONT).

Grondsoort Drainage	Runoff mg/l	Maaiveld mg/l	Drains mg/l	Tertiair mg/l	Secundair mg/l	Primair mg/l	Totaal mg/l	Reductie %
Zandgronden								
Gedraineerde REF1	0.44	9.86	7.91	3.14	3.08	2.63	5.43	
ONT	0.75	8.56		2.81	2.82	2.56	3.51	20
Gedraineerde REF2	0.45	10.60	10.27	3.57	3.26	2.58	6.60	
ONT	0.57	9.49		2.90	2.87	2.47	3.16	50
ONT+BMV				2.97	2.92	2.50	2.91	54

Tabel 6.62: P-concentraties in de bruto afvoer per ontwateringsmiddel voor de uitgangssituatie (REF) en drainage stoppen met (ONT+BMV) of zonder blokkeren maaiveldafvoer (ONT).

Grondsoort Drainage	Runoff mg/l	Maaiveld mg/l	Drains mg/l	Tertiair mg/l	Secundair mg/l	Primair mg/l	Totaal mg/l	Reductie %
Zandgronden								
Gedraineerde REF1	0.10	2.36	0.20	0.25	0.25	0.25	0.25	
ONT	0.08	2.46		0.33	0.30	0.28	0.75	-209
Gedraineerde REF2	0.12	1.74	0.23	0.28	0.28	0.29	0.26	
ONT	0.10	1.94		0.32	0.31	0.30	0.38	-51
ONT+BMV				0.34	0.32	0.31	0.34	-31

De volgende conclusies kunnen op basis van bovenstaande resultaten getrokken worden:

- Het verwijderen of afdichten van bestaande drainbuizen resulteert in een forse verhoging van de grondwaterstand. De grondwaterstand komt voor een aantal plots in de winter tot aan het maaiveld.
- Drainbuizen verwijderen leidt in combinatie met blokkeren van de maaiveldafvoer in een aantal situaties tot een grondwaterstand tot aan het maaiveld over een langere periode, waardoor landbouw niet meer mogelijk is.
- Drainage stoppen heeft een sterk positief effect op de N-belasting van het oppervlaktewater. De N-afvoer wordt door de maatregel gehalveerd, maar de P-belasting neemt als gevolg van een hogere P-afvoer via het maaiveld toe met gemiddeld 53%.
- Het effect van drainage op de N-vracht hangt vooral samen met het effect op de grondwaterstand en het effect op de P-vracht met het effect op de oppervlakkige afvoer.

6.5.6 Overzicht resultaten paragraaf 6.5

Tabel 6.63: effectiviteit van blokkeren maaiveld.

Grondsoort	Drainage	Vrachtreductie, %		Aantal plots
		N	P	
Zand	Gedraineerd	0	12	6
Zand	Ongedraineerd	11	41	10
Zand	Gemiddeld	7	30	16
Klei	Gedraineerd	-1	-1	4

Tabel 6.64: effectiviteit van traditionele drainage op basis van bruto vrachten tenzij anders aangegeven

Geohydrotype	Plot (gebruik)	Vrachtreductie, %		Geohydrotype	Plot (gebruik)	Vrachtreductie, %		basis
		N	P			N	P	
Woold				Lelystad				
	3150 (NON)	-164	90		(gras)	30	51	bruto
Beltrum					(gras)	35	57	netto
	2773 (maïs)	-108	66		(gras)	34	55	bruto ¹
	3752 (gras)	-101	68		(gras)	39	60	netto ¹
	5558 (ZON)	-111	61					
	6063 (gras)	-104	78	Zegveld				
Loon op Zand					(maïs)	14	67	bruto ¹
	5428 (maïs)	-45	64		(maïs)	22	71	netto ¹
	5626 (ZON)	-90	92		(gras)	-23 ²	-46	bruto ^{1,22}
					(gras)	71 ²	-47	netto ^{1,2}
Gemiddeld zand		-103	74					

¹ inclusief blokkeren maaiveld; ² nadere analyse gewenst

Tabel 6.65: effectiviteit van diepe samengestelde drainage met peil -60 cm.

Grondsoort	gebruik	Vrachtreductie, %		Aantal plots
		N	P	
Zandgronden		9	45	6
Kleigronden		33	-49	4
	Grasland	-10	31	3
	Akkerbouw	38	5	4
	Maïs	21	-13	3

Tabel 6.66: effectiviteit van drainage stoppen.

Geohydrotype	Plot (gebruik)	vrachtreductie, %	
		N	P
Woold			
	3355 (NON)	11	-600
Beltrum			
	1013 (NON)	43	-3
	6070 (ZON)	-123	-545
LoZ			
	1000 (NON)	56	-13
	5344 (gras)	40	-106
	5346 (maïs)	60	-89
Gemiddeld,			
excl. 3355 & 6070		50	-53

6.6 Effectiviteit van zuiveringsystemen

6.6.1 Hydraulische belasting

De effectiviteit van zuiveringsystemen is afhankelijk van de hydraulische belasting, omdat die de verblijftijd in het systeem bepaalt. Er wordt uitgegaan van een gemiddelde dagelijkse ontwatering van landbouwgrond van $0,91 \text{ mm.d}^{-1}$ (330 mm.j^{-1}), in de zomer gemiddeld $0,38 \text{ mm.d}^{-1}$ en in de winter $1,44 \text{ mm.d}^{-1}$. Er is geen opsplitsing gemaakt naar transportroute (tabel 6.68).

Wij gaan uit van een areaalverhouding zuiveringsstelsel : landbouwgrond van 1:20, en een effectief grondbeslag van het zuiveringsstelsel van 70%. Er is dus effectief 3,5% zuiveringsstelsel. Voor de moerasbufferstroken gaan wij uit van een maximale diepte van 20 cm; voor de vloeivelden van 45 cm.

Tabel 6.68: Gemiddelde hydraulische belasting en verblijftijd (d) in de winter, de zomer en het hele jaar voor de verschillende systemen.

	Hydraulische belasting (mm.d^{-1})			Verblijftijd (dagen)		
	Winter	zomer	hele jaar	Winter	zomer	gemiddeld
Moerasbufferstrook	41.4	10.9	17.3	4.9	18.4	7.7
Vloeiveld	41.4	10.9	17.3	10.9	41.4	17.3

6.6.2 Belasting met nutriënten

De effectiviteit van de zuiveringsystemen is ook afhankelijk van de nutriëntenbelasting. Bij wijze van voorbeeld zijn daarom belastingen geschat voor de locaties Beltrum, Woold, Loon op Zand, Lelystad en Zegveld, waar het onderzoek naar de effectiviteit van droge grasbufferstroken plaats vindt. Uit de berekeningen met het STONE-instrumentarium zijn voor de overeenkomende plots de af- en uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater overgenomen (Tabel 6.69). De zuiveringsystemen op de locaties Beltrum, Woold en Loon op Zand liggen op zand, in Zegveld op veen en in Lelystad op klei. Op de locatie Woold is de berekende nutriëntenbelasting gering, voor P is dit ook het geval in Loon op Zand.

De N-belasting van het oppervlaktewater ligt in dezelfde orde van grootte voor de locaties Beltrum, Lelystad en Loon op Zand. Op Zegveld (veen) is de belasting van het oppervlaktewater duidelijk hoger dan op de andere locaties. Opvallend is de hoge berekende emissie van organisch N op veengrond, en van $\text{NH}_4\text{-N}$ op kleigrond (Lelystad). Het gedeelte van de totale belasting dat volgens deze berekeningen via afspoeling in het oppervlaktewater terechtkomt, is betrekkelijk gering.

Wij gaan ervan uit dat nutriënten via de emissieroutes afspoeling en uitspoeling via drains en greppels in moerasbufferstroken worden opgevangen. In vloeivelden worden óók nutriënten opgevangen die via sloten in het oppervlaktewater terechtkomen (Tabel 6.69).

Tabel 6.69: Vrachten van de verschillende N- en P-fracties ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$) naar het oppervlaktewater volgens STONE op vijf voorbeeldlocaties (plots). STONE onderscheidt 4 afvoerroutes. Route 1 en 2 bepalen de belasting van moerasbufferstroken (MB), route 1 t/m 3 van vloeivelden (VV).

BELTRUM	Plot	NH ₄ -N	NO ₃ -N	org-N	totaal-N	ortho-P	org-P	totaal-P
afspoeling (1)	4103	0.65	0.70	0.08	1.43	0.11	0.01	0.12
drains en greppels (2)	4103	0.19	4.41	3.12	7.72	0.88	0.34	1.21
sloten (3)	4103	0.03	1.71	0.44	2.18	0.05	0.05	0.10
Grote watergangen (4)	4103	0.38	0.77	0.29	1.44	0.05	0.03	0.08
IN MB (route 1-2)	4103	0.84	5.11	3.20	9.15	0.99	0.34	1.33
IN VV (route 1-3)	4103	0.87	6.81	3.64	11.33	1.04	0.39	1.43
TOTAAL (route 1-4)	4103	1.25	7.58	3.93	12.77	1.09	0.42	1.51

ZEGVELD	Plot	NH ₄ -N	NO ₃ -N	org-N	totaal-N	ortho-P	org-P	totaal-P
afspoeling (1)	4072	1.37	0.91	0.42	2.70	0.13	0.04	0.18
drains en greppels (2)	4072	1.29	5.05	27.62	33.95	0.62	3.03	3.64
sloten (3)	4072	0.63	0.30	4.19	5.12	0.24	0.41	0.65
Grote watergangen (4)	4072	1.08	0.01	1.49	2.57	0.14	0.05	0.18
IN MB (route 1-2)	4072	2.66	5.95	28.04	36.65	0.75	3.07	3.82
IN VV (route 1-3)	4072	3.30	6.25	32.23	41.78	0.99	3.48	4.47
TOTAAL (route 1-4)	4072	4.38	6.25	33.72	44.35	1.13	3.52	4.65

LELYSTAD	Plot	NH ₄ -N	NO ₃ -N	org-N	totaal-N	ortho-P	org-P	totaal-P
afspoeling (1)	2469	0.09	0.14	0.01	0.23	0.02	0.00	0.02
drains en greppels (2)	2469	6.44	5.81	2.70	14.96	1.51	0.37	1.88
sloten (3)	2469	0.05	0.01	0.02	0.08	0.01	0.00	0.01
grote watergangen (4)	2469	0.16	0.02	0.07	0.25	0.03	0.01	0.04
IN MB (route 1-2)	2469	6.53	5.95	2.71	15.19	1.53	0.37	1.90
IN VV (route 1-3)	2469	6.58	5.96	2.73	15.28	1.54	0.38	1.92
TOTAAL (route 1-4)	2469	6.74	5.98	2.80	15.52	1.57	0.38	1.96

WOOLD	Plot	NH ₄ -N	NO ₃ -N	org-N	totaal-N	ortho-P	org-P	totaal-P
afspoeling (1)	4118	0.01	0.08	0.03	0.12	0.00	0.00	0.00
drains en greppels (2)	4118	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sloten (3)	4118	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
grote watergangen (4)	4118	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IN MB (route 1-2)	4118	0.01	0.08	0.03	0.12	0.00	0.00	0.00
IN VV (route 1-3)	4118	0.01	0.08	0.03	0.12	0.00	0.00	0.00
TOTAAL (route 1-4)	4118	0.01	0.08	0.03	0.12	0.00	0.00	0.00

LOON OP ZAND	Plot	NH ₄ -N	NO ₃ -N	org-N	totaal-N	ortho-P	org-P	totaal-P
afspoeling (1)	5236	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
drains en greppels (2)	5236	0.03	6.51	0.23	6.77	0.01	0.04	0.05
sloten (3)	5236	0.00	3.03	0.02	3.06	0.00	0.00	0.01
grote watergangen (4)	5236	0.00	0.92	0.01	0.93	0.00	0.00	0.00
IN MB (route 1-2)	5236	0.03	6.51	0.23	6.78	0.01	0.04	0.05
IN VV (route 1-3)	5236	0.03	9.54	0.26	9.83	0.02	0.04	0.06
TOTAAL (route 1-4)	5236	0.03	10.47	0.26	10.76	0.02	0.04	0.06

Op basis van de berekende vrachten en de hydraulische belasting zijn jaargemiddelde N- en P-concentraties berekend vanuit landbouwgrond zonder onderscheid te maken naar transportroutes (Tabel 6.70). De belasting van de verschillende zuiveringsystemen is zowel uitgedrukt per ha landbouwgrond als per ha zuiveringsstelsel.

Voor het berekenen van de efficiëntie van de zuiveringsystemen is de locatie Woold voor zowel N als P niet meegenomen. Voor P is ook de locatie Loon op Zand buiten beschouwing gelaten.

Tabel 6.70: Berekende jaargemiddelde N- en P-concentraties van de totale afvoer uit landbouwgrond, totale vracht uit landbouwgrond (LG) en het deel daarvan dat in het zuiveringsstelsel terecht komt (ZS), zowel uitgedrukt per ha landbouwgrond (LG) als per ha zuiveringsstelsel (ZS). Zie ook tabel 6.69.

Stikstof	Moerasbufferstrook					Vloeierveld				
Locatie	BR	ZV	LS	WW	LZ	BR	ZV	LS	WW	LZ
concentratie (mg per l)	3.88	13.33	4.70	0.03	3.27	3.88	13.33	4.70	0.03	3.27
totaal uit LG (kg per ha)	12.8	44.4	15.5	0.1	10.8	12.8	44.4	15.5	0.1	10.8
vracht naar ZS (kg per ha LG)	9.2	36.7	15.2	0.1	6.8	11.3	41.8	15.3	0.1	9.8
vracht naar ZS (kg per ha ZS)	261	1047	434	3	194	323	1194	436	3	281
Fosfor	Moerasbufferstrook					Vloeierveld				
Locatie	BR	ZV	LS	WW	LZ	BR	ZV	LS	WW	LZ
concentratie (mg per l)	0.45	1.42	0.61	0.00	0.03	0.45	1.42	0.61	0.00	0.03
totaal uit LG (kg per ha)	1.5	4.7	2.0	0.0	0.1	1.5	4.7	2.0	0.0	0.1
vracht naar ZS (kg per ha LG)	1.3	3.8	1.9	0.0	0.1	1.4	4.5	1.9	0.0	0.1
vracht naar ZS (kg per ha ZS)	37.4	109.1	52.8	0.0	2.9	40.0	129.0	55.4	0.0	2.9

Locaties: BR = Beltrum; ZG = Zegveld; LS = Lelystad; WW = Woold (WintersWijk); LZ = Loon op zand.

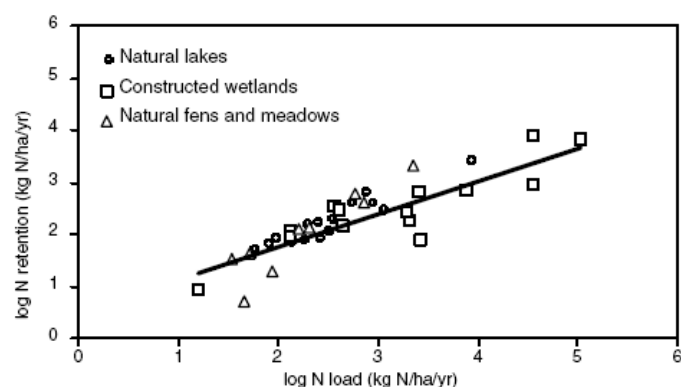


Figure 7 The areal retention of nitrogen is significantly ($p < 0.001$) related to the areal specific nitrogen load of wetlands in the BERNET regions ($n = 40$; $Y = 0.6887X + 0.4255$; $r^2 = 0.78$). Constructed wetlands are ponds and irrigated wet meadows

Figuur 6.71: Relatie tussen N-belasting en -retentie in 40 waterzuiveringsystemen in de Baltische landen (Paludan et al., 2002).

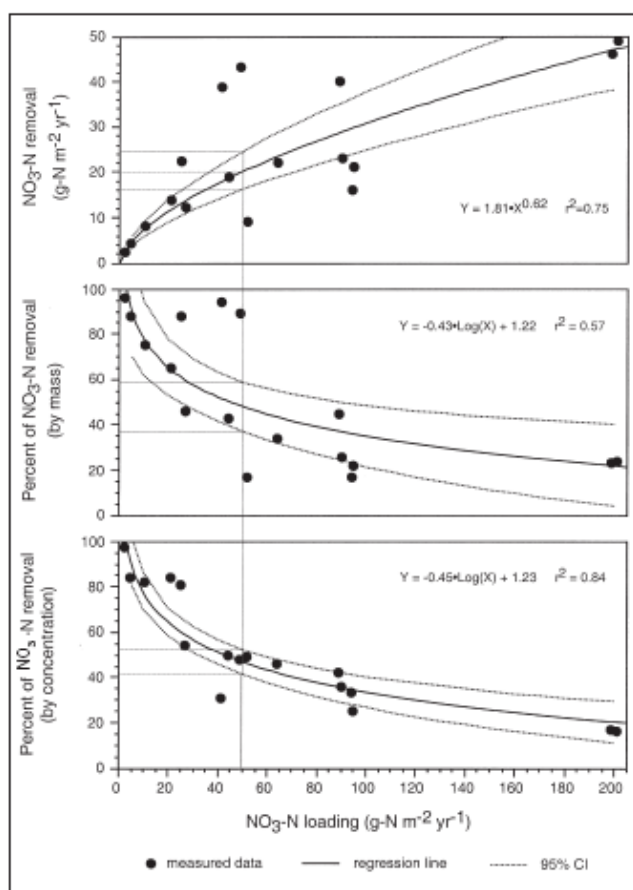


Figure 5. Nitrate–nitrogen removal by mass and concentration versus nitrate–nitrogen loading for constructed wetlands in the midwestern United States (Mitsch and Gosselink 2000, reprinted with permission).

Figuur 6.72: Vervijdering van nitraat-N in Amerikaanse wetlands (Mitsch & Gosselink, 2000).

6.6.3 Zuiveringsrendement stikstof

De stikstofretentie in zuiveringsystemen wordt meestal berekend als functie van de belasting per oppervlakte-eenheid, maar is ook afhankelijk van de verblijftijd. Voor een substantiële N-verwijdering is een minimale verblijftijd van 3 dagen nodig. Vooral bij piekbelasting in de winterperiode kan de verblijftijd te kort zijn voor een goed zuiveringsrendement. Dit geldt vooral voor moerasbufferstroken door de geringere bergingsruimte.

Temperatuurafhankelijk eerste orde model

In deze studie gaan wij ervan uit dat nitraatverwijdering linear toeneemt met de logaritme van de nitraatconcentratie (Kadlec, 2005). Voor het berekenen van de N-retentie wordt veelal gebruikgemaakt van een temperatuurafhankelijk eerste orde model gebaseerd op de belasting per oppervlakte-eenheid (Kadlec & Knight, 1996; Crumpton, 2001).

$$C_{uit} = C_{in} * \text{Exp}\left[-k_{aT}/HLR\right], \text{ waar:}$$

C_{uit} en C_{in}	uit- en instromende concentraties N	mg/L ⁻¹
k_{aT}	N-verwijderingsnelheid per oppervlakte-eenheid	m/dag ⁻¹
$HLR(q)$	hydraulische belasting	m/dag ⁻¹

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

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

θ	temperatuurcoëfficiënt voor N-verwijdering
T	temperatuur

De jaarlijkse verwijdering wordt berekend volgens de formule:

$$RR = 3650 * (C_{in} - C_{uit}) * HLR, \text{ waar:}$$

RR	removal rate	kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹
------	--------------	--------------------------------------

Voor de temperatuurcoëfficiënt θ voor nitraat-N verwijdering in wetlands wordt een waarde van 1,09 aangehouden (Kadlec & Knight, 1996; Crumpton, 2001). De k_{aT} -waarde is sterk afhankelijk van de omstandigheden: 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⁻¹ (35 m.j⁻¹) aangehouden voor volgroeide wetlands. Crumpton (2001) geeft een waarde van 0,15 m.dag⁻¹ voor wetlands die voornamelijk worden gevoed met agrarisch water met

relatief hoge nitraatconcentraties ($2,9 \text{ mg.L}^{-1} \text{ N}$). Voor de retentie van totaal-N in afvalwater houdt Brix (1994) een k_{aT} -waarde van $0,025 \text{ m.dag}^{-1}$ aan. In deze rapportage is gebruik gemaakt van gegevens van Kadlec & Knight (1996) en Crumpton (2001).

Vergelijking met zuiveringrendement van natuurlijke wetlands

In de tweede helft van de vorige eeuw is in het kader van het OSPAR-verdrag een groot aantal wetlands aangelegd om (vooral) stikstofemissies vanuit de landbouw naar de Oostzee, en daarmee de Noordzee, te verminderen (Bernetproject: Baltic Eutrophication Regional NETwork; Paldun et al., 2002; Figuur 6.71). Grote verschillen met Nederlandse omstandigheden zijn de extensievere bedrijfsvoering en het relatief grote belang van erosie in de N-belasting. Hierdoor is het aandeel vast N (deeltjes) groter vergeleken met de Nederlandse omstandigheden. De efficiëntie van wetlands die vooral met nitraat werden belast bleek in dit project niet onder te doen voor wetlands die voornamelijk met vast N werden belast.

Mitsch & Gosselink (2000) onderzochten de verwijdering van nitraat-N uit agrarisch water in twee wetlands in het midwesten van Amerika (Figuur 6.72). In beide studies is de gemiddelde N-retentie van natuurlijke wetlands uitgezet tegen de N-belasting. Dit zijn gemiddelde waarden afkomstig van een groot aantal wetlands, die zowel in grootte als in hydraulische belasting verschillen.

Uitgevoerde correcties

Bij een hydraulische belasting groter dan 100 mm.d^{-1} is de verblijftijd van nitraat te gering voor een goede zuivering. Bij de door ons gekozen dimensies van de zuiveringsystemen blijft de gemiddelde hydraulische belasting in de winter echter ca. 2 x zo laag. Wel kan verwacht worden dat bij piekbelasting de verblijftijd voor een goede zuivering te kort is. Voor het vloeiveld gaan wij ervan uit dat deze pieken nog redelijk goed opgevangen kunnen worden door het waterpeil tijdelijk op te zetten. Dit is in de moerasbufferstrook niet mogelijk; daarom gaan wij ervan uit dat de effectiviteit van moerasbufferstroken hiervoor met een factor 0,5 moet worden gecorrigeerd.

(N-verwijdering in oppervlaktewater met veel nitraat verloopt sneller dan in afvalwater met veel organisch en ammonium N. Voor afvalwater lijkt 50% zuiveringrendement realistisch bij een hydraulische belasting tussen $20\text{--}30 \text{ mm.d}^{-1}$; Schierup et al., 1990).

Tabel 6.71: De berekende retentie van stikstof in moerasbufferstroken en vloeivelden op de locaties Beltrum, Zegveld, Lelystad en Loon op Zand op basis van de berekende belasting in tabel 6.70. Belasting en retentie uitgedrukt zowel per ha zuiveringsysteem (ZS) als per ha landbouwgrond (LG). Retentie is berekend zowel op basis van de belasting van het zuiveringsysteem (ZS) als op basis van de totale belasting van het oppervlaktewater (tabel 6.69, routes 1-4).

Locatie		Moerasbufferstrook					Vloeiveld			
		kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹		% retentie			kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹		% retentie	
		ZS	LG	ZS	totaal		ZS	LG	ZS	totaal
Beltrum	Belasting	261	9.2				323	11.3		
	Retentie	76	2.6	29	20		180	6	56	50
Zegveld	Belasting	1047	36.7				1194	41.8		
	Retentie	254	8.9	24	20		651	19.7	50	45
Lelystad	Belasting	434	15.2				436	15.3		
	Retentie	117	4.1	27	26		235	8.2	54	53
Loon op Zand	Belasting	194	6.8				281	9.8		
	Retentie	57	2.2	31	20		159	5.6	57	52

Resultaten

De berekende retentie van vloeivelden (50-60%; tabel 6.71, ZS) correspondeert goed met resultaten uit het buitenland (onder anderen Carleton et al., 2001). Er zijn geen gegevens bekend van de effectiviteit van vergelijkbare moerasbufferstroken. Het rendement van de vloeivelden is redelijk hoog, dit hangt samen met een relatief lage hydraulische belasting van de systemen. De berekende retentie van de vloeivelden is resp. 180, 651, 235 en 159 kg N.ha-wetland voor Beltrum, Zegveld, Lelystad en Loon op Zand. Volgens P. Boers (mond. med.) wordt in Denemarken uitgegaan van een gemiddelde verwijdering uit agrarisch water van 300 kg N.ha⁻¹ wetland. De berekende retentie van de systemen in % is weliswaar vrij hoog, maar het absolute rendement per oppervlakte-eenheid is (afgezien van Zegveld) relatief laag (<<300 kg N.ha⁻¹), omdat de systemen overgedimensioneerd zijn.

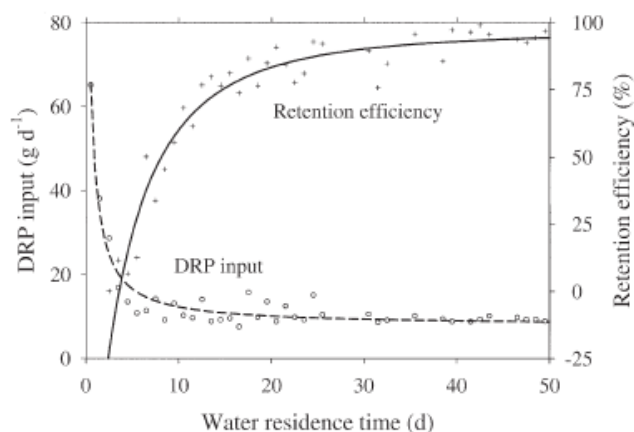


Fig. 7. Input of dissolved reactive phosphorus (DRP) (dashed line) and retention efficiency of bioavailable phosphorus (solid line) as related to water residence time. Curves were fitted to experimental data of DRP input (circles) and retention efficiency (crosses) in Wetland Sonnhof, which were subsumed in water residence time classes.

Figuur 6.59: Relatie tussen retentie van DRP (opgelost reactief P) en verblijftijd volgens Reinhardt et al. (2005).

6.6.4 Zuiveringsrendement fosfaat

De efficiëntie van P-verwijdering wordt bepaald door de belasting, de vorm waarin P voorkomt ofwel de samenstelling van het water, de verblijftijd, de leeftijd van het systeem en het beheer.

Effect van belasting

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 bij een lage hydraulische belasting, lage P-belasting of door droogvallen (mineralisatie) (Uusi-Kämpä et al., 1997; Fleischer et al., 1997; Braskerud, 2002; Kadlec, 1999; Liikanen (2004).

Er is in de literatuur veel discussie over de maximale P-belasting van natuurlijke zuiveringsystemen. Mitsch (1992), Mitsch et al. (1995) en Richardson et al. (1997) gaan uit van een maximale belasting tussen de 10 en 50 kg P.ha⁻¹. Kadlec (1999) gaat uit van een grotere range tussen 1 – 100 kg P.ha⁻¹.

Samenstelling water

Vloeiervelden zijn zeer efficiënt als het gaat om het vasthouden van vast P (deeltjes). Een verblijftijd van 2 dagen is dan al voldoende voor een retentie van ca. 40-80% (Muscutt et al., 1993; Braskerud, 2002). Hoe grover de deeltjes, des te hoger de retentie. De verwijdering van DRP (dissolved reactive P, vooral orthofosfaat) is veel lager. In vloeiervelden op gronden die niet fosfaatverzadigd zijn, is binding aan het adsorptiecomplex het belangrijkste mechanisme om DRP te verwijderen. Op P verzadigde gronden is het belangrijkste mechanisme vastlegging in algen(matten) en waterplanten (Nair & Mitsch, 2000; Uusi-Kämpä et al., 2005; Liikanen et al., 2004).

Verblijftijd

Door Liikanen et al. (2004) en Reinhardt et al. (2005; figuur 6.73) wordt uitgegaan van 50% retentie van DRP als de verblijftijd minimaal 7 dagen is en geen retentie bij 2 dagen verblijftijd. Substantiële verwijdering van DRP vindt dus alleen plaats bij een relatief lange verblijftijd.

Leeftijd zuiveringsystemen

Zolang vloeiervelden niet fosfaatverzadigd zijn, is de P-retentie vrij hoog (Clevering et al., 2004; Nair & Mitsch, 2000; Liikanen, 2004; Hey et al., 2005; Fink et al., 2004). Naarmate systemen jonger zijn, wordt meer P vastgehouden. Vloeiervelden kunnen P gaan lekken als de P-concentraties in het oppervlaktewater in de loop van de tijd afnemen. De P-concentratie neemt dan in het vloeiveld toe door desorptie van voorafgaand opgeladen P, een voorbeeld hiervan is het Nanneveld in Friesland (Bakker, 2001). Door beheer (maaien en baggeren) kan dit worden voorkomen.

Beheer en onderhoud

Voor fosfor is onderscheid gemaakt in retentie bij:

- Standaardbeheer;
- Maaïen in september;
- Maaïen in september en ieder zes jaar vernieuwen (baggeren).

Standaardbeheer

Voor de systemen met standaardbeheer is gebruik gemaakt van gegevens van Kadlec (ongepubliceerd) in Hey et al. (2005) en van Reinhardt et al. (2005). Op de gegevens van Kadlec is een correctie uitgevoerd vanwege de lage verblijftijd van fosfor in de moerasbufferstrook (retentietijd 4,9 dagen) gedurende de winterperiode. Er wordt van uitgegaan dat gedurende de winter de werking 50% lager zal zijn. Een tweede correctie hangt samen met piekbelasting, die door een moerasbufferstrook minder goed opgevangen kan worden. Net zoals voor nitraat wordt ervan uitgegaan dat hierdoor de efficiëntie een factor 2 lager is als voor de vloeivelden. Op grond van de internationale literatuur wordt uitgegaan van een maximale P verwijdering van 30 kg.ha⁻¹ (Craft et al., 1999) in volwassen systemen (ongemaaid of in de winter gemaaid), dus bij verzadiging van het adsorptiecomplex. We gaan ervan uit dat er in Nederland niet meer dan een gemiddelde hoeveelheid vast P uit- en afspoelt.

Maaïen

Het maaïen en afvoeren van riet is een belangrijk maatregel om P te verwijderen. Binnen het seizoen kan het beste worden gemaaid als het riet nog groen is, daarna vindt reallocatie van nutriënten plaats naar de wortels(tokken) waardoor nutriënten in het systeem blijven. De gewasopname is het hoogst in het 2^e-5^e jaar. In relatief jonge bestanden wordt net zoveel P in de ondergrondse als bovengrondse delen vastgelegd (Dykyjova, 1978). Na het vijfde jaar komt een deel van de eerder vastgelegde P door afsterving van wortelstokken weer vrij. Vandaar dat om de 6 jaar vernieuwen van het rietbestand in combinatie met baggeren een effectieve beheersvorm lijkt.

De P-opname is sterk afhankelijk van de P-belasting van het systeem. In laagbelaste systemen wordt ca. 10-25 kg P.ha⁻¹.j⁻¹. definitief uit het systeem verwijderd door vroeg in de herfst te maaïen, bij zwaarbelaste systemen kan dit oplopen tot ca. 50 kg P.ha⁻¹.j⁻¹. Bij riet maaïen in september wordt uitgegaan van een gemiddelde P-afvoer van 15 kg.ha⁻¹ in laagbelaste systemen en 50 kg.ha⁻¹ in hoogbelaste systemen (zie ook Clevering et al., 2004). Rekening houdend met andere verwijderingsprocessen wordt bij maaïen uitgegaan van een maximaal rendement van laag- en hoogbelaste moerasbufferstroken van resp. 45 en 55 kg.ha⁻¹ en van vloeivelden van resp. 45 en 80 kg.ha⁻¹.

Baggeren en vernieuwen

Voor de systemen die gebaggerd worden, waarbij tegelijkertijd riet wordt vernieuwd, zijn gegevens gebruikt van Nair & Mitsch (2000), Liikanen et al. (2004), Mitsch et al. (1995) en Wedding (2003). Door Liikanen et al. (2004) werd onderzoek gedaan naar de P-retentie uit agrarisch water door een zuiveringsstelsel aangelegd op voormalige landbouwgrond. Voor aanleg werd de bouwvoor verwijderd. Zij vonden een retentie van 68% voor totaal-P en 49% van DRP in de eerste jaren na aanleg. Mitsch et al. (1995) vonden een retentie van 67% voor DRP uit diffuse bronnen, maar in de eerste

jaren na aanleg ca. 82% retentie. Nairn & Mitsch (2000) vonden 70% voor DRP. Er is niet gecorrigeerd voor een effect van verblijftijd op P-adsorptie, omdat dit proces relatief snel verloopt. Wij gaan uit van een maximale vastlegging van $60 \text{ kg P.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$ in laag belaste systemen en $130 \text{ kg P.ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$ voor hoogbelaste systemen (Craft et al., 1999). Als zowel wordt gemaaid als gebaggerd, gaan wij uit van een 50% lager rendement van maaien dan bij alleen maaien.

Samenvattend gaan wij uit van een maximale P-verwijdering van:

30 kg.ha^{-1} in volgroeide onbeheerde moerassen

45 kg.ha^{-1} door jaarlijks vroeg maaien in laagbelaste systemen

80 kg.ha^{-1} door jaarlijks vroeg maaien in hoogbelaste systemen

70 kg.ha^{-1} door vroeg maaien (1x in tweejaar) en baggeren (1x in zesjaar) van laagbelaste systemen

155 kg.ha^{-1} door vroeg maaien (1x in tweejaar) en baggeren (1x in zesjaar) van hoogbelaste systemen

De zuiveringsystemen te Beltrum en Lelystad worden als laagbelast beschouwd, die in Zegveld als hoogbelast. Wij gaan uit van een maximaal zuiveringsrendement van 80%.

Berekening rendement met eerste orde model

Hetzelfde eerste ordemodel dat gebruikt is voor stikstof (6.6.3) wordt ook gebruikt voor fosfor, alleen wordt de k-waarde uit de formules nu onafhankelijk van de temperatuur berekend. De k-waarde ligt gemiddeld genomen tussen de 10 en 25 m.j^{-1} (Wedding, 2000; Uusi-Kamppa, 2005; Carleton, 2001; Nairn & Mitsch, 2002). Door o.a. Braskerud (2002) worden veel hogere waarden gevonden (tussen 140 en 316 m.j^{-1}), maar dit betreft systemen die zeer zwaarbelast worden met voornamelijk vast P.

Door Kadlec (ongepubliceerd) zijn in Hey et al. (2005) de gemiddelde maandelijkse k-waarden van 141 zuivering-systemen gepubliceerd met een belasting lager dan $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$ totaal-P. De maandelijkse k-waarden zijn resp. 7,0; 9,0; 7,5; 30,1; 22,7; 19,1; 12,4; 13,6; 15,8; 21,6; 21,8 en $10,2 \text{ m.j}^{-1}$. De gemiddelde k-waarde is $15,9 \text{ m.j}^{-1}$. Voor de winterperiode komt dit neer op een gemiddelde waarde van 12,9 en voor de zomerperiode van $19,0 \text{ m.j}^{-1}$.

Resultaten

Op de locatie Beltrum is de belasting zo laag dat met een gemaaide moerasbufferstrook een hoog rendement kan worden gehaald (Tabel 6.72). Maximale retentie wordt bereikt met een gemaaid vloeiveld. Op deze locatie zou voor een lager grondbeslag gekozen kunnen worden. Het verschil in werking tussen onbeheerd (standaard) en iedere zes jaar vernieuwen is in Beltrum klein, vernieuwen is voor een goed zuiveringsrendement niet nodig.

De hoogbelaste locatie Zegveld laat een heel ander beeld zien (Tabel 6.72). Hier wordt een zeer lage retentie in onbeheerde vloeivelden gevonden. Maaien verhoogt de retentie tot 65% en met iedere zes jaar vernieuwen tot 80%. Bij vernieuwen en maaien wordt de maximale retentiec capaciteit bereikt.

De resultaten voor Lelystad liggen tussen die van beide andere locaties in.

Tabel 6.72: De berekende retentie van fosfor in moerasbufferstroken en vloeivelden op de locaties Beltrum, Zegveld, Lelystad en Loon op Zand op basis van de belasting in tabel 6.70, en voor verschillende vormen van beheer. Belasting en retentie uitgedrukt zowel per ha zuiveringsstelsel (ZS) als per ha landbouwgrond (LG). Retentie is berekend zowel op basis van de belasting van het zuiveringsstelsel (ZS) als op basis van van de totale belasting van het oppervlaktewater (tabel 6.69, routes 1-4).

Locatie		Onderhoud en/of beheer	Moerasbufferstrook				Vloeiveld			
			kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹		% retentie		kg.ha ⁻¹ .j ⁻¹		% retentie	
			ZS	LG	ZS	totaal	ZS	LG	ZS	totaal
Beltrum	Belasting		37	1.3			40	1.4		
	Retentie	Onbeheerd	7	0.3	20	17	26	1.0	68	60
		maaïen sept.	22	0.8	64	55	33	1.1	80	74
		Vernieuwen ¹ + maaïen sept.	30	1.1	79	70	33	1.2	80	74
Zegveld	Belasting		109	3.8			129	4.5		
	Retentie	Onbeheerd	21	0.8	19	13	30	1.1	24	22
		maaïen sept.	44	1.6	41	31	80	2.8	65	60
		Vernieuwen ¹ + maaïen sept.	70	2.5	73	59	111	3.9	80	77
Lelystad	Belasting		53	1.9			55	1.9		
	Retentie	Onbeheerd	9	0.3	19	15	30	1.1	55	53
		maaïen sept.	24	0.8	43	42	40	1.4	74	71
		Vernieuwen ¹ + maaïen sept.	36	1.3	67	65	57	2.0	80	78

¹iedere 6 jaar

6.6.5 Discussie zuiveringsystemen

N- en P-vorm

Wij zijn er vanuit gegaan dat N en P vooral in opgeloste vorm uitspoelen. Uit metingen in de Dove-projecten blijkt dat het aandeel afspoeling in de totaalvrucht waarschijnlijk hoger is dan berekend met het STONE-instrumentarium (Plette et al., 2004). Bij afspoeling wordt meer vast N en P gevonden. Zuiveringsystemen zijn meestal effectiever in het vasthouden van vast, dan van opgeloste N en P (zie o.a. Nair & Mitsch, 2000; Braskerud, 2002ab, 2005). Braskerud (2002a) vond in gebieden met veel erosie hoge k_a -waarden van 0,085 tot 0,370 m.d⁻¹ voor totaal-N, en 0,586 m.d⁻¹ voor totaal-P. Op langere termijn kan gesedimenteerde N en P door nalevering weer beschikbaar komen. Het verdient daarom aanbeveling om zuiveringsystemen waar veel sedimentatie optreedt, regelmatig uit te baggeren.

Met het STONE-instrumentarium wordt onderscheid gemaakt in ammonium, nitraat en organisch N, orthofosfaat en organisch P. Voor het bepalen van de effectiviteit van zuiveringsystemen wordt meestal onderscheid gemaakt tussen wel en niet biologisch beschikbaar N en P. Ook de deeltjesgrootte speelt een rol in verband met de bezinknelheid. Hierdoor blijft het lastig om de effectiviteit van zuiveringsystemen zonder nader onderzoek nauwkeurig te bepalen op basis van buitenlandse literatuur. Door Bakker (2001) is wel het zuiveringsrendement van een drietal vloeivelden in Nederland vergeleken, maar er wordt geen zuiveringsrendement per oppervlakte-eenheid berekend. Veldmetingen zoals in de Fosfaatpilot in Noord- en Midden Limburg (Alterra) en in de nitraatzuiveringsystemen op Vredepeel (PPO) zijn daarom voor Nederland essentieel.

Hydrologie

In deze studie hebben wij weinig rekening gehouden met de hydraulische piekbelasting. Wel hebben we zo goed mogelijk proberen te corrigeren voor piekbelasting met nutriënten. Uit verschillende studies waarbij drainwater debietproportioneel gemeten is, blijkt dat P vooral bij neerslagpieken uit- en afspoelt. Dit gebeurt waarschijnlijk ook al bij plotselinge peilverschillen (overgang van winter naar zomerpeil; zie van Eertwegh et al., 2005; Geus-van der Eijk et al., 1997). In een vervolgstudie zal hieraan meer aandacht moeten worden besteed.

Concentratieverschillen in de afvoer

Wij gaan voor de verschillende transportroutes uit van dezelfde N- en P-concentraties. In afspoelend water zijn de N- en P-concentraties echter vaak veel hoger dan hier berekend, terwijl verwacht kan worden dat concentraties afnemen naarmate uitspoeling dieper plaatsvindt. Dit doet echter niets af aan de berekende effecten van belasting op retentie. Het betekent wel dat hiermee bij de inschatting van het niveau van belasting, rekening mee moet worden gehouden, net als met de N- en P-vorm.

Grondsoort

In deze studie hebben wij geen onderscheid gemaakt naar grondsoort (het onderscheid hoog en laagbelast valt echter wel samen met grondsoort). Er is dus niet gekeken of zuiveringsystemen op zand effectiever zijn dan die op klei of veen. Zo wordt door Bakker (2001) gesteld dat het geen zin heeft zuiveringsystemen op veen aan te leggen, vanwege de hoge N- en P-concentraties in het veenwater (Plette et al., 2004).

Ontwerp en beheer van zuiveringsystemen

Voor N is optimale inrichting en beheer van zuiveringsystemen anders dan voor P. Voor N kunnen zuiveringsystemen het beste onbeheerd blijven om zoveel mogelijk afbreekbaar C op te slaan. Anaerobe condities zijn essentieel. Pas als afbreekbaar C niet meer beperkend is voor het optreden van denitrificatie kan door het maaien van riet extra N worden verwijderd. Dit voorkomt ook dat er op den duur nalevering optreedt door mineralisatie van afgestorven gewasresten. Voor P is het juist belangrijk dat veel nutriëntenrijk maaisel wordt afgevoerd, en dat het sediment regelmatig vervangen wordt om verzadiging te voorkomen. In tegenstelling tot N wordt juist meer P vastgelegd als het systeem aeroob blijft omdat ijzer dan geoxideerd blijft en P vast legt. Bij een hoge nitraatbelasting is dit misschien minder kritisch omdat nitraatreductie onder anaerobe omstandigheden eerder optreedt dan ijzerreductie. Hoge nitraatbelasting kan dus gunstig zijn voor fosfaatvastlegging.

De prioriteit voor N of P heeft ook invloed op de gewenste ligging van zuiveringsystemen (zie De Laney, 1995). P kan het beste dicht bij de bron worden verwijderd, bijvoorbeeld in sloot of moerasbufferstrook, zodat ook gemakkelijk onderhoud kan worden gepleegd. Ook het vasthouden van vaste deeltjes (als veel afspoeling plaatsvindt) kan het beste dicht bij de bron plaatsvinden. Nitraatverwijdering kan beter benedenstrooms plaatsvinden, waar permanent water aanwezig is voor de gewenste anaerobie. Dergelijke systemen kunnen snel fosfaatverzadigd raken en in de zomer fosfaat naleveren. Het is dus belangrijk dat het

probleem van fosfaatlekkende gronden niet verplaatst wordt naar een probleem van fosfaatlekkende zuiveringsystemen.

Voordat een zuiveringsstelsel aangelegd wordt is het dus belangrijk om te weten wat de aard en het niveau van de belasting van het stelsel wordt, en welke nutriënt prioriteit heeft, om het juiste ontwerp en de juiste locatie te kunnen vaststellen. Het moet duidelijk zijn welk zuiveringsrendement wordt nagestreefd. Waar de grond schaars is, zoals in Nederland, is het slim om zuiveringsstelsels aan te leggen waar hoge N- en P-concentraties aangetroffen worden. Per oppervlakte-eenheid wordt dan veel meer N en P verwijderd.

7 Kostenberekening

7.1 Kosten bufferstroken en brongerichte maatregelen akkerbouw

Voor het berekenen van de kosten op akkerbouwbedrijven zijn vier modelbedrijven of bouwplannen gekozen (7.1.1). Bij de vaststelling van de kosten voor bufferstroken wordt onderscheid gemaakt tussen kosten voor het uit productie nemen van grond (7.1.2) en kosten voor de aanleg en het beheer van bufferstroken (7.1.3). De totale kosten van bufferstroken worden besproken in 7.1.4. In 7.1.5 komen dan de kosten van brongerichte maatregelen aan de orde.

7.1.1 Representatieve bouwplannen

Omdat de kosten van bufferstroken afhangen van het bouwplan en de slootdichtheid (beide regiospecifiek) zijn voor een viertal akkerbouwregio's representatieve bouwplannen doorgerekend (zie tabel 7.1). Het betreft een pootaardappelbedrijf in het centrale zeekleigebied (CZK), een consumptieaardappelbedrijf in het zuidwestelijk zeekleigebied (ZWK) en in het zuidoostelijk zandgebied (ZON), en een zetmeelaardappelbedrijf in het noordoostelijk zand- en dalgrondgebied.

Tabel 7.1: *Bedrijfstypen akkerbouw klei en zand.*

Bedrijf	Bedrijfstype	Bouwplan	Areaal (ha)	Regio + grondsoort
CZK	Pootaardappel met groenten en bollen	25% wintertarwe, 25% pootaardappelen, 12,5% suikerbiet, 12,5% tulp, 12,5% winterpeen, 12,5% zaaiui	40	Centrale zeeklei
ZWK	Consumptieaardappel 1:5	30% wintertarwe, 6% zomergerst, 20% suikerbiet, 20% consumptieaardappel, 10% conservenerwt+stamslaboon, 10% graszaad, 4% braak	50	Zuid Westelijke zeeklei
NON	Zetmeelaardappel 1:3	27,8% zomergerst, 5,6% rogge, 30% zetmeelaardappel, 3% pootgoed, 20% suikerbiet, 5,6% waspeen, 3,9% korrelmaïs en 3,9% braak	90	Noordoostelijk zand
ZON	Consumptieaardappel 1:4	12,5% wintertarwe, 12,5% korrelmaïs, 25% consumptieaardappel, 25% suikerbiet, 12,5% waspeen, 12,5% schorseneer	36	Zuidoostelijk zand

7.1.2 Kosten uit productie nemen landbouwgrond

Voor het bepalen van de consequenties van het uit productie nemen van landbouwgrond is gebruik gemaakt van de gewassaldi zoals vermeld in Kwantitatieve Informatie voor de Akkerbouw en Groententeelt (KWIN, 2006) en Bollenteelt (KWIN, 2005-2006). Het saldo (per eenheid loonwerk) betreft de bruto-geldopbrengst van een gewas verminderd met de (aan de teelt) toegerekende kosten (eigen mechanisatie en loonwerk). Per bedrijf is vervolgens de saldoderving

uitgerekend door de aanleg van een bufferstrook. Voor het Centraal kleigebied zijn berekeningen uitgevoerd voor zowel bollenteelt in eigenbeheer als bij verhuur van grond voor bollenteelt.

Naast de saldodervingen zijn ook de uitgespaarde arbeidsuren berekend. Voor eigen arbeid kan een uurloon gehanteerd worden van €18.25 (op basis van CAO land- en tuinbouw). In deze rapportage is het aantal uren eigen arbeid niet omgezet in arbeidskosten. Vaste kosten (de niet aan de teelt toegerekende kosten) zijn buiten beschouwing gelaten. De resultaten worden gepresenteerd als gewogen gemiddelden (relatieve aandelen) van de gewassen in het bouwplan, rekening houdend met het Lozingenbesluit Open Teelt en Veehouderij (LOTV; tabel 7.2). Door de aanleg van bufferstroken neemt het aandeel van gewassen met een brede teeltvrije zone relatief toe, er wordt immers minder grond extra uit de productie genomen.

Tabel 7.2: Breedte van de teeltvrije zone volgens het LOTV voor de in de vier bouwplannen aanwezige gewassen

Breedte	Gewas
150 cm	Aardappelen, Uien, Waspeen, Winterpeen, Schorseneren en Tulpen
50 cm	Suikerbieten, Conservenerwt, Stamslabonen en Korrelmaïs
25 cm	Wintertarwe, Zomergerst, Graszaad en Rogge
0 cm	Braak

In tegenstelling tot eerdere PPO-rapportages worden EU-toeslagen buiten beschouwing gelaten bij het berekenen van de saldi, behalve bij braak (zie Clevering & Visser, 2005; Clevering et al., 2005; Klieverink et al., 2005; Spruit et al., 2005). Dit hangt samen met veranderingen in het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid: per 1 januari 2006 is de gewasgebonden inkomstensteun ontkoppeld en heeft plaatsgemaakt voor bedrijfstoelagen. In Nederland worden de bedrijfstoelagen vooralsnog gebaseerd op de gemiddelde historische situatie (2000-2002) wat betreft inkomsten-steun op individuele bedrijven. (NB: Bedrijven zonder bufferstroken in deze periode zijn dus in het voordeel.)

Er is zowel gerekend met als zonder randeffect: geen en 5% lager saldo (100 en 95% saldo) langs de randen van percelen. Niet alleen de opbrengst is vaak lager in de randen, maar ook de kosten van onkruidbestrijding e.d. zijn vaak hoger.

Berekeningen zijn uitgevoerd per:

- hectare bufferstrook (tabel 7.3);
- 100 meter bufferstrook van 5 meter breed (tabel 7.4). Deze berekening is meegenomen vanwege de nog lopende discussie en mogelijk voortschrijdend inzicht over de dichtheid van watervoerende watergangen per regio;
- hectare landbouwgrond bij verschillende breedten van de bufferstroken, rekening houdend met de dichtheid van de watervoerende sloten per regio (tabel 7.5).

Tabel 7.3: Kosten per hectare bufferstrook (grondbeslag). Gewogen gemiddeld saldooverlies bij 100 en 95% opbrengst in de rand en arbeidsbesparing per hectare bufferstrook (EU-toeslagen zijn buitenbeschouwing gelaten).

Bedrijf/regio	Saldoderving (€·ha ⁻¹)		Arbeidsbesparing (u·ha ⁻¹)
	100% saldo rand	95% saldo rand	
Centraal kleigebied	3488	3314	97,4
Centraal kleigebied ¹	2493	2369	30,3
Zuidwest Nederland	877	833	14,2
Noordoost Nederland	470	446	14,4
Zuidoost Nederland	937	890	13,6

¹met verhuur voor bollenteelt

De hoge saldoderving en arbeidsbesparing in het Centraal kleigebied (tabel 7.3) hangt grotendeels samen met de teelt van tulpen. Het saldo van de bollenteelt is weliswaar zeer hoog, maar de teelt van bloembollen is zeer arbeidsintensief. Naast de teelt van bollen is ook de teelt van pootaardappelen relatief arbeidsintensief.

Tabel 7.4: Kosten per 100 meter bufferstrook met breedte van 5 meter. Gewogen gemiddeld grondbeslag, saldooverlies bij 100 en 95% saldo in de rand en arbeidsbesparing (rekening houdend met teeltvrije zones uit het LOTV).

Regio/bedrijf	Grondbeslag m ² ·ha ⁻¹	Saldoderving €·(100 m) ⁻¹		Arbeidsbesparing u·(100 m) ⁻¹
		100% saldo rand	95% saldo rand	
Centraal kleigebied	394	137,3	130,5	3,84
Centraal kleigebied ¹	394	98,2	93,3	1,19
Zuidwest Nederland	444	38,9	37,0	0,60
Noordoost Nederland	421	19,8	18,8	0,61
Zuidoost Nederland	403	37,8	35,9	0,55

¹met verhuur voor bollenteelt

Tabel 7.5: Kosten per hectare landbouwgrond, rekening houdend met de dichtheid van (watervoerende) waterlopen per gebied. Grondbeslag (%) van bufferstroken in verschillende landbouwregio's bij verschillende breedtes van bufferstroken (weerszijden sloot) naar van der Gaast & van Bakel (1997).

Landschapsregio	Grondbeslag (%) bij drie breedtes			Dichtheid bufferstroken m·ha ⁻¹
	2 m	5 m	10 m	
Totaal zandgebied, excl. greppels en droogvallende sloten	0,5	1,3	2,6	26
Totaal zandgebied, incl. greppels en droogvallende sloten	2,0	5,1	10,4	104
Zandgebied N-brabant	2,5	6,2	12,4	124
Zandgebied Gelderland	1,6	4,0	8,0	80
Stuwwallen	0,0	0,0	0,0	0
Keilemgebied	0,6	1,5	2,9	29
Rivierengebied	1,3	3,3	6,5	65
Zeekleigebied	2,0	5,1	10,1	101
Laagveengebied	3,9	9,9	19,7	197
Droogmakerijen	1,6	4,0	8,0	80
Hoogveen(ontginnings)gebied	1,1	2,8	5,6	56
Duinen	0,0	0,0	0,0	0
Strandwallen	1,9	4,9	9,7	97
Löss en krijt	0,3	0,9	1,7	17

De kosten per hectare landbouwgrond zijn naast het bouwplan sterk afhankelijk van de dichtheid van watergangen en de watervoerendheid. Watervoerend wil zeggen dat er in de periode tussen 1 april en 1 oktober onder normale omstandigheden met

regelmaat water in de watergang staat. (Niet watervoerende watergangen worden beschreven in artikel 13 elfde lid van het Lozingenbesluit open teelt en veehouderij). Voor de verschillende kleiregio's is ook een opsplitsing gemaakt tussen watervoerende en niet-watervoerende sloten op basis van de top-10-vector (tabel 7.6).

Tabel 7.6: Lengte (m) van verschillende categorieën waterlopen per km² (gegevens J. van Bakel).

	Greppels en droogvallende sloten	Breedte (m)			Watervoerend (%)
		< 3	3 – 6	> 6	
Flevoland	3668	830	0	674	29.4
Noordoostpolder	631	4535	234	865	90.8
Groningen	1279	8563	1300	1263	90.6

Het grote verschil tussen Flevoland en de Noordoostpolder in % watervoerendheid valt niet te rijmen. In sommige delen van de Noordoostpolder (zandgronden) wordt water aangevoerd, maar dit is slechts een fractie van het gehele areaal. Voor Groningen kan verondersteld worden dat de dichtheid van de watergangen lager is in de jonge zeekleigebieden (akkerbouw) dan in de oude zeekleigebieden (veehouderij). Voorlopig is gerekend met een randdichtheid voor het Centraal kleigebied van zowel 29,4 als 90,8 m.ha⁻¹. Voor Zuidwest Nederland wordt vooralsnog ook uitgegaan van 90,6 m.ha⁻¹.

Voor Zuidoost Nederland is gerekend met 31,1 m.ha⁻¹ randdichtheid langs watervoerende waterlopen (Tabel 7.5: zandgebied Noord-Brabant 124,2 * aandeel watervoerend 26/104 = 31.1 m.ha⁻¹) en voor Noordoost Nederland met zowel het keileemgebied (29 m.ha⁻¹) als het hoogveenontginningsgebied (56 m.ha⁻¹).

Het grondbeslag, het saldooverlies en de arbeidswinst uit tabel 7.8 zijn berekend volgens:

$y = ax - b$, waar:

- y = de te berekenen waarde,
- x = bufferstrookbreedte;
- a = richtingscoëfficiënt (tabel 7.7) en
- b = de waarde voor y bij de wettelijk voorgeschreven toepassing van een teeltvrije rand volgens het LOTV (tabel 7.7).

Tabel 7.7: Grondbeslag, saldooverlies en arbeidswinst bij toepassing van bufferstroken op basis van de gemiddelde slootdichtheid (watervoerend) voor de verschillende bedrijven/regio's.

Regio	Dichtheid bufferstroken m.ha ⁻¹	b: bij toepassing teeltvrije zone LOTV				a: per meter bufferstrookbreedte			
		Grond- beslag m ² .ha ⁻¹	Saldooverlies € .ha ⁻¹		Arbeids- winst u.ha ⁻¹	grond beslag m ² .ha ⁻¹	Saldooverlies € .ha ⁻¹		Arbeids winst u.ha ⁻¹
			100% ²	95% ²			100% ²	95% ²	
Centraal kleigebied	29,4	31,2	15,88	15,09	0,463	29,4	11,24	10,68	0,318
	90,8	96,5	49,12	46,67	1,431	90,8	34,77	33,04	0,983
Centraal kleigebied ¹	29,4	31,2	10,96	10,42	0,130	29,4	7,97	7,57	0,096
	90,8	96,5	33,86	32,17	0,402	90,8	24,60	23,37	0,297
Zuidwest Nederland	90,6	51,2	7,24	6,87	0,100	90,6	8,50	8,07	0,140
Noordoost Nederland	29,0	22,7	1,27	1,21	0,051	29,0	1,40	1,33	0,045
	56,0	43,8	2,46	2,34	0,097	56,0	2,71	2,57	0,087
Zuidoost Nederland	31,1	30,0	4,23	4,02	0,048	31,1	3,19	3,03	0,044

¹met verhuur voor bollenteelt; ²saldo in de rand

Tabel 7.8: Gewogen gemiddeld grondbeslag, saldooverlies en arbeidswinst per hectare landbouwgrond bij toepassing van een bufferstrook van 5 meter voor de verschillende landbouwregio's/ bedrijven.

Regio	Dichtheid bufferstroken m.ha ⁻¹	Grondbeslag m ² .ha ⁻¹	saldooverlies (€·ha ⁻¹)		arbeidswinst u.ha ⁻¹
			100% ²	95% ²	
Centraal kleigebied	29,4	116	40,34	38,35	1,13
	90,8	358	124,75	118,51	3,48
Centraal kleigebied ¹	29,4	116	28,86	27,42	0,35
	89,1	358	89,14	84,68	1,08
Zuidwest Nederland	90,6	402	35,24	33,48	0,60
Noordoost Nederland	29,0	122	5,73	5,44	0,18
	56,0	236	11,07	10,51	0,34
Zuidoost Nederland	31,1	125	11,72	11,13	0,17

¹met verhuur voor bollenteelt; ²saldo in de rand

7.1.3 Kosten aanleg en beheer van bufferstroken

De kosten van de aanleg en het beheer van bufferstroken en de tijdsbesteding zijn afkomstig van de door PPO uitgevoerde projecten ‘Natuur breed’ en ‘Natuur-ontwikkeling op proefbedrijven’. In beide projecten zijn arbeid- en kostenregistraties bijgehouden, zie Klieverink e.a. (2005) en Clevering e.a. (2005).

Aanleg

Uit deze projecten komt naar voren dat gemiddeld genomen de aanleg van grasbufferstroken € 40 ha⁻¹ kost (zaad). Het aantal benodigde arbeidsuren in het jaar van aanleg was op klei 5,5 en op zand 4,5 uur. De arbeidsuren werden vooral besteed aan onkruidbestrijding. Te verwachten valt dat bij inzaai van de bufferstroken in het najaar in plaats van het voorjaar minder problemen ontstaan met veronkruiding van de randen. De aanleg van bufferstroken en het beheer in het eerste jaar (geen afvoer van maaisel) werd in eigenbeheer gedaan. Dit ligt voor de hand om dat de benodigde apparatuur in de regel op akkerbouwbedrijven aanwezig is.

Beheer

Het beheer na het jaar van aanleg kost resp. gemiddeld 10,5 en 9,5 uur per ha bufferstrook op klei en zand, bij 2x maaien en afvoeren. In het project Natuur breed werd gemiddeld 22% van het beheer in loonwerk uitgevoerd. Kosten loonwerk 35,5 € per uur. Bij sterke afname van de biomassaproductie kan 1x per jaar gemaaid en afgevoerd worden. Het maaisel wordt in het project Natuurbreed door bijna alle deelnemers in het aangrenzende perceel onder gewerkt. Dit is verreweg de goedkoopste oplossing (zie 7.1.4). Voor het composteren van maaisel was weinig animo vanwege de hoge kosten.

Tabel 7.9 De kosten in het aanlegjaar en volgijaren per hectare bufferstrook.

Regio/grondsoort	Aanlegjaar		Volgijaren	
	Zaad €	Arbeid uur	Loonwerk €	Arbeid uur
Klei	40,0	5,5	82,0	8,19
Zand	40,0	4,5	74,2	7,41

De kosten in het aanlegjaar zijn veel lager dan in de volgijaren (tabel 7.9). De kosten van zaad kunnen immers over meerdere jaren worden afgeschreven. Voor het berekenen van de kosten van bufferstroken wordt hier uitgegaan van de

beheerkosten, ofwel de kosten van loonwerk. De te besteden arbeidsuren zijn lager dan de uitgespaarde uren arbeid bij de teelt van de diverse gewassen.

In tegenstelling tot de berekening van het uit productie nemen van landbouwgrond (tabel 7.8) worden de kosten van aanleg en beheer nu inclusief de teeltvrije zone berekend (tabel 7.10, vergelijk grondbeslag).

Tabel 7.10: Gewogen gemiddeld grondbeslag, beheerkosten (loonwerk) en arbeidsuren per hectare landbouwgrond in iedere landbouwregio (bedrijf) bij een bufferstrookbreedte van 5 meter.

Regio (bedrijf)	Dichtheid bufferstroken (m.ha ⁻¹)	Grondbeslag (m ²)	Loonwerk (€ ha ⁻¹)	Arbeid (uren ha ⁻¹)
Centraal kleigebied	29,4	147	1,21	0,12
	90,8	454	3,72	0,37
Zuidwest Nederland	90,6	453	3,71	0,37
Noordoost Nederland	29,0	145	1,08	0,11
	56,0	280	2,08	0,21
Zuidoost Nederland	31,1	156	1,16	0,12

7.1.4 Totale kosten bufferstroken en discussie

De kosten van bufferstroken op akkerbouwbedrijven worden vooral veroorzaakt door saldooverlies als gevolg van het uit productie nemen van landbouwgrond (Tabel 7.11: saldooverlies). Deze kosten worden grotendeels bepaald door het bouwplan, de dichtheid van watervoerende sloten en de methode van afvoer van het maaisel. Het uit productie nemen van landbouwgrond levert voor alle bouwplannen arbeidsbesparing op.

Tabel 7.11: Totale kosten en arbeidsbesparing per hectare landbouwgrond bij de aanleg van 5 meter brede bufferstroken.

Regio (bedrijf)	Dichtheid buffer- stroken (m.ha ⁻¹)	saldooverlies (€ ha ⁻¹)		arbeidswinst (uren ha ⁻¹)
		(100%)	(95%)	
Centraal kleigebied	29,4	41,55	39,56	1,01
	90,8	128,47	122,23	3,11
Centraal kleigebied – verhuur ¹	29,4	30,07	28,63	0,23
	89,1	92,86	88,40	0,71
Zuidwest Nederland	90,6	38,95	37,19	0,23
Noordoost Nederland	29,0	6,81	6,52	0,07
	56,0	13,15	12,59	0,13
Zuidoost Nederland	31,1	12,88	12,29	0,07

¹verhuur voor bollenteelt

In deze studie valt het veel hogere saldo op in het Centraal kleigebied dan in de andere regio's. Dit hoge saldo wordt veroorzaakt door de teelt van bloembollen en poot aardappelen. De teelt van beide gewassen is overigens erg arbeidsintensief. Indien voor de teelt van deze gewassen arbeid ingehuurd moet worden, zullen de aan de teelt toegerekende kosten toenemen en zal het saldooverlies door de aanleg van bufferstroken dus lager zijn. In deze studie zijn wij er van uitgegaan dat de arealen van de gewassen bij de aanleg van bufferstroken in evenredigheid afnemen. In de praktijk zal een agrariër echter zoveel mogelijk streven naar een hoog aandeel van hoogsalderende gewassen in het bouwplan. In dat geval zullen de kosten wat lager uitvallen.

In deze studie zijn veranderingen in de vaste kosten niet meegenomen in de berekeningen, omdat het grondbeslag van de bufferstroken niet zo groot is dat dit ingrijpende gevolgen voor de bedrijfsvoering zal hebben, zoals aanpassingen in het machinepark. Bij een grondbeslag vanaf 10% gaat dit wel een belangrijke rol spelen.

In deze studie is het percentage watervoerende watergangen bepaald op basis van het top10 vectorbestand. Vooral voor de akkerbouw op klei is het de vraag in hoeverre dit percentage klopt. Het lijkt dan ook zinvol om hier nadere studie naar te verrichten door bij de waterschappen navraag te doen.

In deze studie zijn wij uitgegaan van de goedkoopste methode van maaiselafvoer namelijk het onderwerken van maaisel op het perceel. In de praktijk wordt maaisel na het maaien aan de kant geharkt en vervolgens na de oogst in het perceel ondergewerkt. Dit heeft vooralsnog (na vier jaar onderzoek) geen problemen in de bedrijfsvoering opgeleverd. Alternatieven voor de afvoer van maaisel zijn: hakselen en over het perceel blazen, op de eigen composthoop brengen, in balen persen als veevoer en ten slotte afvoeren naar een composteerbedrijf (Hopster & van der Voort, 2004). Het maaien en in balen persen als veevoer kan een goedkoop alternatief zijn als dit met gesloten beurzen geschiedt door veehouders in de buurt. Het afvoeren naar een composteerbedrijf is erg duur. Naast de transportkosten zijn de kosten van composteren hoog, ca. €35 per ton ds. Overigens zullen in de tijd de beheerkosten door toenemende verschraling steeds verder afnemen.

7.1.5 Kosten van brongerichte maatregelen op akkerbouwbedrijven: resultaten

De resultaten van de berekeningen staan in tabel 7.12. Hieronder volgt een toelichting per maatregel. Bij de kleibedrijven (CZK en ZWK) zijn de maatregelen 3 tot en met 8 steeds gecombineerd met voorjaarstoediening van dierlijke mest (maatregel 2). Dit is gedaan omdat in het gebruiksnormenstelsel nazomer/herfst-toediening wordt ontmoedigd. De verwachting is dat daardoor voorjaarstoediening meer de praktijk zal worden. Bovendien kunnen de effecten van de maatregelen 3 tot en met 8 op klei zo beter vergeleken worden met die op zand waar voorjaars-toediening al gebruikelijk is (en dus onderdeel van 1 referentie). Op klei moet daarvoor gekeken worden naar het verschil tussen een maatregel met scenario 2, op zand naar het verschil met de referentie 1. De effecten op overschotten en kosten (vrachten zie hoofdstuk 6) zijn daarom zowel weergegeven ten opzichte van scenario 1 als 2.

Voorjaarstoediening dierlijke mest

De voorjaarstoediening van dierlijke mest op kleigrond leidt in vergelijking met de referentie (1; najaarstoediening) tot een lagere mestinzet. Dit komt omdat er voor gekozen is alleen bij wintertarwe mest in te zetten en de mestgift vanwege de N-behoefte gebonden is aan een maximale dosering. Het N-overschot daalt met 20-25 kg N per ha als gevolg van de lagere mestinzet en de hogere N-werking. De kosten

Tabel 7.12: Resultaten bedrijfsberekeningen akkerbouwbedrijven: kosten van brongerichte maatregelen.

Bedrijfs- type	Scenario		N-aanvoer		P-aanvoer		N-overschot (kg.ha ⁻¹)			P ₂ O ₅ -overschot (kg.ha ⁻¹)			Kosten (€·ha ⁻¹)	
	Nr	Omschrijving	OM ¹	totaal	OM	totaal	abs ²	tov 1	tov 2	abs	tov 1	tov 2	tov 1	tov 2
CZK	1	GN 2006	63	203	37	67	104	0		21	0		0	
	2	Voorjaarstoediening (wintertarwe)	45	182	26	67	84	-20	0	20	0	0	18	0
	3	Voorjaarstoediening + NBS	45	182	26	67	84	-20	0	20	0	0	18	0
	4	Voorjaarstoediening + vanggewas	45	175	26	67	77	-27	-8	20	0	0	24	6
	5	Geen mest	0	165	0	66	72	-32	-12	20	0	0	90	72
	6	Voorjaarstoediening + afvoeren bietenblad	45	190	26	69	80	-24	-4	21	0	0	132	114
	7a	Voorjaarstoediening + gebruiksnorm -10%	45	180	26	67	83	-22	-2	20	0	0	19	1
	7b	Voorjaarstoediening + gebruiksnorm -20%	45	162	26	67	71	-33	-13	23	2	3	42	24
	8	Voorjaarstoediening + P-overschot = 0	45	182	26	47	84	-20	0	0	-21	-20	6	-11
ZWK	1	GN 2006	75	237	44	71	141	0		19	0		0	
	2	Voorjaarstoediening (wintertarwe)	54	209	32	71	113	-27	0	19	0	0	9	0
	3	Voorjaarstoediening + NBS	54	204	32	71	108	-32	-5	19	0	0	10	1
	4	Voorjaarstoediening + vanggewas	54	209	32	71	113	-27	0	19	0	0	9	0
	5	Geen mest	0	185	0	71	90	-50	-23	20	0	1	74	64
	6	Voorjaarstoediening + afvoeren bietenblad	54	215	32	82	96	-45	-17	19	0	0	165	155
	7a	Voorjaarstoediening + gebruiksnorm -10%	54	199	32	71	106	-35	-8	20	1	1	18	9
	7b	Voorjaarstoediening + gebruiksnorm -20%	54	179	32	71	93	-47	-20	23	4	4	50	40
	8	Voorjaarstoediening + P-overschot = 0	54	209	32	51	113	-27	0	0	-20	-20	-2	-11
ZON	1	GN 2006 (incl. 2)	131	209	76	79	114	0		30	0		0	
	2	Voorjaarstoediening												
	3	NBS	131	202	76	79	107	-6		30	0		2	
	4	Vanggewas	131	207	76	79	112	-2		30	0		10	
	5	Geen mest												
	6	Afvoeren bietenblad	131	220	76	79	95	-18		24	-6		177	
	7a	Gebruiksnorm -10%	131	209	76	79	114	0		30	0		0	
	7b	Gebruiksnorm -20%, graan	131	201	76	79	107	-6		31	1		7	
	8	P-overschot = 0	79	201	46	49	108	-6		0	-30		69	
NON	1	GN 2006 (incl. 2)	102	173	60	66	99	0		23	0		0	
	2	Voorjaarstoediening												
	3	NBS	102	166	60	66	91	-8		23	0		2	
	4	Vanggewas	102	169	60	66	95	-4		23	0		23	
	5	Geen mest												
	6a	Afvoeren bietenblad	102	188	60	66	90	-9		18	-5		182	
	6b	Composteren bietenblad	102	177	60	66	107	8		25	2		179	
	7a	Gebruiksnorm -10%	102	173	60	66	99	0		23	0		0	
	7b	Gebruiksnorm -20%	102	164	60	66	92	-7		24	1		19	
	8	P-overschot = 0	67	169	39	42	95	-4		-1	-24		48	

¹organische mest; ²absoluut

nemen toe met 10-20 € per ha. Deels is dit een gevolg van hogere kunstmestkosten (vooral P en K). Bij bedrijf CZK is de kostenstijging tevens een gevolg van extra maatregelen ten behoeve van extra organische stof (groenbemesters of inwerken stro). Bij bedrijf ZWK is dit niet nodig omdat het bouwplan meer organische stof levert (hoger aandeel graan/graszaad).

Toepassing N-bijmestsysteem (NBS)

Op de bedrijven ZWK, NON en ZON is een N-bijmestsysteem toegepast bij consumptie- en zetmeelaardappelen. Op bedrijfsniveau leidde dit, afhankelijk van het aandeel aardappelen, tot een verlaging van het N-overschot van 5-10 kg N per ha. De extra kosten waren gering.

Inzet vanggewassen

Op bedrijf CZK is een vanggewas ingezet na pootaardappelen, op bedrijven ZON en NON na respectievelijk wintertarwe en zomergerst. De andere gewassen worden doorgaans later geoogst waardoor er na die gewassen weinig ruimte is voor een vanggewas.

Bij CZK resulteerde het vanggewas tot een verlaging van het N-overschot van bijna 10 kg N per ha. Het effect bij NON en ZON was geringer. Dit komt omdat graan weinig N nalaat waardoor er uitgegaan is van een licht ontwikkeld vanggewas. De kosten bedroegen, afhankelijk van de omvang van het areaal vanggewas, 5-25 € per ha.

Geen dierlijke mest

Het niet meer gebruiken van dierlijke mest op de kleibedrijven leidde tot een verlaging van het N-overschot van 10-25 kg N per ha ten opzichte van voorjaarstoediening. De kosten bedragen 65-70 € per ha (ten opzichte van scenario 2) door hogere kunstmestkosten en door kosten voor maatregelen voor extra organische stof (bedrijf CZK).

Afvoeren van bietenblad

Wanneer het bietenblad wordt afgevoerd daalt het N-overschot met 5-20 kg N per ha. De verschillen tussen de bedrijven ontstaan door verschillen in aandeel suikerbieten in het bouwplan maar ook doordat in drie van de vier bouwplannen (CZK, ZON en NON) aanvullende maatregelen nodig zijn om het verlies aan organische stof te compenseren. Deze maatregelen (extra bemeste groenbemesters, niet afvoeren van stro) verhogen het N-overschot met circa 5 kg N per ha waardoor het netto-effect van het verwijderen van bietenblad lager uitvalt. Los daarvan geldt voor alle bedrijven dat de N-nawerking van het bietenblad vervalt (circa 5 kg N per ha op bedrijfsniveau).

De kosten zijn in vergelijking met andere maatregelen hoog (105-180 € per ha op bedrijfsniveau).

Reductie van de N-gebruiksnorm

Een reductie van de gebruiksnorm van 10% leidt alleen bij de kleibedrijven tot een tekort aan N en leidt tot een daling van het N-overschot met maximaal 10 kg N per ha. Het tekort leidt tot een geringe financiële derving van 5-10 € per ha. Op de

zandbedrijven heeft deze maatregel geen effect omdat de landbouwkundige N-werking van de varkensdrijfmest 10-15% hoger is dan de wettelijke werkingscoëfficiënt. Dit verschil is voldoende om de verlaging van de gebruiksnorm op te vangen. Omdat er in de referentie al is uitgegaan van GLP (dus ook van de hoge landbouwkundige werking) leidt verlaging van de gebruiksnorm met 10% niet tot veranderingen op de zandbedrijven. Op de kleibedrijven is de landbouwkundige N-werking bij toepassing in graan lager dan de wettelijke N-werking. Dit komt omdat er bij toediening in graan meer ammoniakemissie optreedt.

Bij verlaging van de gebruiksnorm met 20% is er op alle bedrijven sprake van een N-tekort. Dit leidt tot opbrengstdervingen waarbij de hieruit voortvloeiende financiële effecten uiteenlopen van 5 tot 40 € per ha.

P-evenwichtbemesting

Op de kleibedrijven leidt deze maatregel niet tot verlaging van de mestinzet, alleen de kunstmestgift wordt verlaagd. Dit leidt bij de gehanteerde fosfaattoestand van de bodem niet tot opbrengstderving waardoor de kosten per saldo dalen. Dat deze kunstmest in de referentie toch wordt toegepast vloeit voort uit het bodemadvies waarbij uitgegaan wordt van een onvermijdbaar P-verlies van 20 kg P_2O_5 per ha om de fosfaattoestand te handhaven.

Bij de zandbedrijven moet de mestinzet wel worden verlaagd waardoor de kosten stijgen met 50-70 € per ha.

P-uitmijnen

De resultaten van P-uitmijnen op de zandbedrijven (alleen ZON) zijn overgenomen uit Corré et al., (in voorb.). De kosten voor het in rotatie uitmijnen van 30% van het bedrijfsareaal bedragen jaarlijks 45 € per ha en 600 € per ha voor het uitmijnen met uitsluitend graan op 30% van het bedrijfsareaal.

7.1.6 Kosten van brongerichte maatregelen op akkerbouwbedrijven: discussie

Vanggewassen

Binnen de het gebruiksnormenstelsel is het onder bepaalde omstandigheden mogelijk een N-gebruiksnorm te krijgen voor groenbemesters/vanggewassen. Wanneer deze gebruiksruijnte wordt ingezet bij andere gewassen zal het effect op de nitratauitspoeling gering zijn.

Afvoeren gewasresten

Wanneer het bietenblad wordt afgevoerd van het bedrijf daalt weliswaar het N-overschot, maar de in de gewasresten aanwezige N komt na bewerking (doorgaans compostering) wel ergens anders weer vrij, en daarbij treden ook weer verliezen op. Een andere optie is om het bietenblad niet af te voeren maar op het bedrijf te composteren. Verkennende berekeningen op groentebedrijven hebben echter laten zien dat dit niet altijd een positieve bijdrage levert aan verlaging van het N-overschot (De Ruijter & Postma, 2004). Dit komt doordat er tijdens het composteringsproces veel N verloren gaat (circa 40% bij compostering in de buitenlucht) als gevolg van percolatie vanuit de composthoop, ammoniakvervluchting en denitrificatie. Bovendien is er voor de compostering stro nodig, dat dan niet meer afgevoerd, waardoor de N-afvoer weer daalt. Tenslotte is de N-werking van compost relatief laag (circa 15%). Ter illustratie, na inwerken van bietenblad wordt doorgaans uitgegaan van een N-nawerking van circa 25% in het volgende gewas. Na compostering resteert een N-nawerking van circa 10% ($0,6 \cdot 0,15$). De kosten voor compostering op het eigen bedrijf zijn vergelijkbaar met het afvoeren van het bietenblad. De situatie met bedrijfsinterne compostering kan gunstiger worden ingeschat door ook de lange termijn N-werking van compost in te rekenen. Verder kan het composteringsproces meer gesloten uit worden gevoerd. Dit zal echter de toch al hoge kosten nog sterker doen stijgen.

Mogelijk biedt de optie van gebruik als co-vergistingsmateriaal in een mestvergister perspectieven. Het digestaat heeft een relatief hoge N-werking en kan dus goed worden benut als meststof.

Korting gebruiksnorm

Wanneer er bij deze maatregel sprake is van een tekort aan N, is de N-bemesting van graan omlaag gebracht. Door het relatief lage saldo van graan vallen de financiële effecten op bedrijfsniveau dan mee. Hierbij moet worden benadrukt dat er geen rekening is gehouden met kwaliteitsaspecten als eiwitgehalte en brouwkwaliteit. Hierdoor zijn de financiële effecten enigszins onderschat.

Verder is bij toepassing van varkensdrijfmest op onbeteeld bouwland (zandbedrijven) uitgegaan van een landbouwkundige N-werking die hoger is dan de wettelijke (forfaitaire) werking. Wanneer van dit voordeel geen sprake is (bijvoorbeeld door afwijkende mestsamenstelling of door gebruik van een andere mestsoort) zullen de financiële effecten van reductie van de N-gebruiksnorm hoger zijn. In een situatie waarbij de landbouwkundige N-werking gelijk is aan de wettelijke, leidt een korting van de gebruiksnorm met 20% op de bedrijven ZON en NON tot een kostenstijging van 70-80 € per ha ten opzichte van de referentie (in plaats van 7 en 19 € per ha, tabel 7.12).

7.2 Kosten bufferstroken en brongerichte maatregelen melkveehouderij

De resultaten van een aantal bedrijfseconomische en bemestingstechnische berekeningen zijn weergegeven in tabel 7.13 en 7.14. Meer resultaten zijn opgenomen in bijlage 2. De meeste gegevens zijn weergegeven per ha om in de vergelijkingen niet gestoord te worden door de bedrijfsgrootte. Om echter een indicatie te geven van wat het economisch op bedrijfsniveau betekent zijn arbeidsopbrengst en de daling daarvan ten opzichte van het standaard scenario ook weergegeven voor het gehele bedrijf.

7.2.1 Scenario's bufferstroken

scenario Z-Std

De arbeidsopbrengst van het standaard zand scenario is 299 € per ha.

In het standaard scenario moet er op grond van de stikstofnorm mest afgevoerd worden. De berekende N bemesting op grasland is veel lager dan toegestaan (185 versus 260 kg N per ha). Dit is het gevolg van de forfaitaire N-werkingscoëfficiënt (2009) van 45% zowel in uitgereden als in weidemest, terwijl landbouwkundig (en ook in het model) gerekend wordt met 50% voor uitgereden mest en 0% voor weidemest. Dit resulteert in circa 30% voor de landbouwkundige werkingscoëfficiënt over alle N uit mest. Bovendien is de uitscheiding van N door het vee lager dan de normen door het grote aandeel van maïs in het winterrantsoen. Deze beide verschillen zorgen ervoor dat de gebruiksnorm voor werkzame stikstof forfaitair wel maar landbouwkundig niet gehaald wordt.

scenario Z-Buf5% : 5% bufferstroken

De arbeidsopbrengst van scenario Z-Buf5% is 12€ per ha lager dan van het standaard bedrijf. De verlaging van de arbeidsopbrengst wordt voornamelijk door enkele posten veroorzaakt.

De voerkosten gaan 22 € per ha omhoog. Dit is vooral aankoop ruwvoer en het inkuilen daarvan. Door verlaging van het N-niveau op grasland op de bufferstroken is de grasland productie gedaald en is er meer ruwvoer van buiten nodig. Totale loonwerkkosten dalen 4 € per ha. Er wordt wel een lichte stijging in voederwinning door loonwerk maar de kosten voor snijmaïs gaan naar beneden omdat de oppervlakte snijmaïs daalt. De kosten voor kunstmest dalen omdat de bufferstroken niet bemest hoeven te worden.

Het N-overschot op het beweide grasland is 6 kg per ha lager dan in de standaard situatie door de verlaging van de bemesting.

Tabel 7.13. Resultaten van model berekeningen: N-overschot, P₂O₅ –overschot en arbeidsopbrengst en verschillende kostenposten per ha van de doorerekende scenario's.

scenario	overschot op bedrijf		arbeids- opbrengst €·ha ⁻¹	kosten maatregel (€·ha ⁻¹)					
	kg N·ha	kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹		arb opbr	loon werk	mest afzet	voer	kunst mest	brand stof
<i>Zand</i>									
Z-Stdrrd	72	-13	299	0	0	0	0	0	0
Z-Buf5%	67	-12	287	12	-4	+1	+22	-4	0
Z-Buf10%	64	-10	256	43	-5	+1	+59	-8	1
Z-Buf10%-nbew	64	-11	245	54	-12	+4	+67	-2	1
Z-Buf10%-maf	53	-19	192	107	-23	+64	+59	+11	1
Z-aug-SF	76	-7	83	215	+160	-13	+6	+10	+12
Z-SF	77	-10	-60	359	+385	-20	-152	+29	+39
Z-UM15%	72	-15	181	118	+18	+27	+32	+12	+2
Z-UM15%-SF	64	-16	-102	401	+372	+17	-148	+48	+39
Z-UM30%-SF	45	-31	-168	467	+358	+99	-191	+83	+40
Z-UM30%-rms	48	-28	177	122	-29	+114	-1	+38	0
<i>Klei</i>									
K-Stdrrd	126	-13	750	0	0	0	0	0	0
K-Buf5%	106	-12	751	-1	+2	0	+4	-7	0
K-Buf10%	104	-10	739	11	+1	0	+24	-15	-1
K-aug-SF	138	-9	524	226	+209	-2	+11	-3	+17
K-SF	128	-8	320	430	+296	-3	+5	-4	+51
<i>Veen</i>									
V-Stdrrd	131	3	259	0	0	0	0	0	0
V-Buf10%	110	3	262	-3	-11	0	+14	-9	0
V-Buf20%	99	5	255	4	-28	0	+50	-23	-2
V-aug-SF	122	4	59	200	+180	0	-30	-6	+20
V-SF	93	-1	-117	376	+447	0	-217	+13	+44

Het P₂O₅-overschot op het beweidde grasland 2 kg per ha hoger dan in de standaard situatie omdat de beweiding en toediening van organische mest iets meer geconcentreerd is. Daarbij is de opname van de dieren van P₂O₅ buiten het bedrijf iets hoger maar wordt er evenveel P₂O₅ uit mest afgevoerd. Op bedrijfsniveau is het P₂O₅-overschot vrijwel gelijk als in de standaard situatie.

scenario Z-Buf10% : 10% bufferstroken

De arbeidsopbrengst van scenario Z-Buff10% is 31 € per ha lager dan die van scenario Z-Buff5%.

Ten opzichte daarvan stijgen de voerkosten 37 € per ha en kunstmest en loonwerk dalen samen 5 € per ha. Het verschil in arbeidsopbrengst wordt is groter per procent bufferstrook dan van standaard naar 5%.

Het N-overschot op beweidde grasland is 8 kg N per ha lager dan in de standaard situatie door de verlaging van de bemesting.

Het P₂O₅-overschot op het beweidde grasland is 4 kg hoger dan op het beweidde grasland in de standaard situatie. De verhoging die bij 5% bufferstroken te zien was, zet zich versterkt door in dit scenario. Op bedrijfsniveau is het P₂O₅ overschot 3 kg hoger dan in de standaard situatie. Door de vergroting van het aandeel beheersgrond en verlaging van de N-bemesting neemt op bedrijfsniveau de opname door gewassen af maar blijft de aanvoer gelijk.

scenario Z-Buf10%-nbew: 10% bufferstroken, bufferstroken niet beweide.

Het niet beweiden van de bufferstroken kost 12 € per ha extra. Ook hier weer als gevolg van hogere voerkosten (8 € per ha). Daarnaast gaan de kunstmestkosten iets omhoog (6 € per ha) omdat er iets meer K nodig is voor grasland doordat er een lichte verschuiving van drijfmest naar maïsland heeft plaatsgevonden.

Doordat de bufferstroken niet beweide worden en er iets meer ruwvoer van goede kwaliteit wordt aangevoerd waardoor er minder krachtvoer nodig is, neemt de productie van P_2O_5 in de mest licht af. De opname van de gewassen echter ook omdat de oppervlakte bufferstroken nu geheel berekend wordt als beheersgrond en de gewasproductie op bedrijfsniveau daardoor daalt ten opzichte van scenario Z-Buf10%.

scenario Z-Buf10%-maf: 10% bufferstroken, mest voor bufferstroken afvoeren.

Ten opzichte van scenario Z-Buf10% is de arbeidsopbrengst 64 € per ha lager. De kosten voor loonwerk gaan weliswaar 11 € naar beneden vooral door minder mestuitrijden maar de afzet van mest kost 60 € meer en de kosten van kunstmest zijn 13 € hoger.

Het N-overschot op de beweide percelen is 12 kg lager dan in de standaard situatie en 10 kg lager dan in de situatie met 10% bufferstroken (Z-Buf10%). Doordat 25 kg N uit dierlijke mest extra wordt afgevoerd maar weer aangevuld mag worden met 13 kg per ha kunstmest blijft de productie op de percelen gelijk aan het scenario Z-Buf10% maar gaat de aanvoer ongeveer 10 kg per ha naar beneden.

Het P_2O_5 –overschot is 6 kg P_2O_5 per ha lager dan in de standaard situatie en 9 kg P_2O_5 per ha lager dan bij 10% bufferstroken. Dit is een gevolg van extra afvoer van P_2O_5 uit dierlijke mest van 8 kg P_2O_5 per ha dat niet aangevuld wordt met kunstmest. De P_2O_5 opname van de gewassen is gelijk aan de opname in Z-Buf10%

scenario K-Std

De arbeidsopbrengst van het standaard klei scenario is 750 € per ha.

In het standaard scenario moet er op grond van de stikstofnorm mest afgevoerd worden maar veel minder dan op zand. Net als op zand is de berekende N bemesting op grasland veel lager dan toegestaan als gevolg van het verschil tussen forfaitaire en berekende uitscheiding en N-werking van mest.

scenario K-Buf5% : 5% bufferstroken

5% bufferstroken op kleigrond kost vrijwel geen geld. Enerzijds gaan de voerkosten door kwaliteitvermindering en loonwerkkosten door een groter te maaien oppervlakte omhoog (6 €) en anderzijds gaan de kosten voor kunstmest naar beneden (7 €).

Het N-overschot op beweide grasland is 22 kg N per ha lager dan in het standaard scenario door de verlaging van de N-bemesting. Op bedrijfsniveau daalt het N-overschot met 20 kg N per ha.

Het P_2O_5 –overschot blijft vrijwel gelijk aan het P_2O_5 –overschot in het standaard scenario zowel op het beweide grasland als op bedrijfsniveau.

scenario Z-Buf10% : 10% bufferstroken

Met 10% bufferstroken is de arbeidsopbrengst op het kleibedrijf 11 € per ha lager. De voerkosten, voornamelijk ruwvoer, gaan 24 € per ha omhoog. Dit komt omdat er geen overschot meer is aan ruwvoer en er niets meer wordt verkocht. De kosten voor kunstmest gaan 15 € per ha naar beneden.

Het N-overschot op het beweidde grasland is 24 kg N per ha lager dan het N-overschot in het standaard scenario, slechts iets lager dan in het scenario met 5% bufferstroken. De hoeveelheid toegediende kunstmest op gras is wel lager dan bij 5% bufferstroken maar productie van het gras neemt ook sterk af. Op bedrijfsniveau is dit eveneens terug te vinden.

Het P_2O_5 –overschot op het beweidde grasland is 3 kg hoger dan in het standaard scenario. De aanvoer is gelijk maar de afvoer door het gewas is 3 kg per ha lager door de afname van de N-bemesting. Op bedrijfsniveau is het P_2O_5 –overschot eveneens 3 kg P_2O_5 per ha hoger dan in het standaard scenario.

scenario V-Std

De arbeidsopbrengst van het standaard veen scenario is 259 € per ha.

In het standaard veen scenario hoeft geen mest afgevoerd te worden. In tegenstelling tot het zand scenario is de berekende N uit melkveemest bij forfaitaire afvoer hoger dan 250 kg N per ha. De veestapel in dit scenario krijgt een rantsoen met een groot aandeel gras. De N-uitscheiding van de dieren is daardoor hoger dan volgens de forfaits.

scenario V-Buf10% : 10% bufferstroken

10% bufferstroken op veengrond kost vrijwel geen arbeidsopbrengst. Enerzijds gaan de ruwvoerkosten omhoog doordat er minder wordt geproduceerd maar doordat er snijmaïs (energierijk ten opzichte van gras) aangevoerd wordt, is er minder krachtvoer nodig. Al met al stijgen de voerkosten 14 € per ha. De kosten voor loonwerk (er is minder te maaien) en kunstmest dalen samen 20 € per ha.

Het N-overschot op het beweidde grasland gaat met 20 kg N per ha naar beneden door de afname van de N-bemesting. Op bedrijfsniveau is het N-overschot eveneens 20 kg N per ha lager dan in het standaard scenario.

Het P_2O_5 –overschot op het grasland en op bedrijfsniveau is vrijwel gelijk aan het P_2O_5 overschot in het standaard scenario.

scenario V-Buf20% : 20% bufferstroken

20% bufferstroken op veengrond kost vrijwel geen arbeidsopbrengst. Enerzijds gaan de ruwvoerkosten omhoog doordat er minder wordt geproduceerd maar doordat er snijmaïs aangevoerd wordt, is er per saldo minder krachtvoer nodig. Al met al stijgen de voerkosten 50 € per ha. De kosten voor loonwerk en kunstmest dalen samen 51 € per ha.

Het N-overschot op het beweidde grasland gaat met 33 kg N per ha naar beneden door de afname van de N-bemesting. Op bedrijfsniveau is het N-overschot 32 kg N per ha lager dan in het standaard scenario.

Het P_2O_5 –overschot op grasland is 4 kg P_2O_5 per ha hoger dan in het standaard scenario. De aanvoer blijft gelijk maar de productie van het grasland daalt door de afname van de N-bemesting en daarmee daalt ook de afvoer van fosfaat. Op

bedrijfsniveau is daardoor het P_2O_5 -overschot 2 kg hoger dan in het standaard scenario.

scenario Z-aug-SF: opstallen per 1 augustus

Het opstallen van het vee brengt hoge kosten met zich mee. De arbeidsopbrengst van dit scenario is 215 € per ha lager dan in het standaard scenario. De post loonwerk stijgt het sterkst: er moet meer mest uitgereden worden (+27 € per ha) en er moet vaker gemaaid en ingekuild worden (+135 € per ha). De voerkosten blijven ongeveer gelijk hoewel er een verschuiving optreedt. Er is minder ruwvoer nodig door het grotere aandeel maaien maar omdat de dieren in het tweede helft van de zomer al een stalrantsoen krijgen, is er meer krachtvoer nodig. De kosten voor kunstmest stijgen €10 per ha omdat er door het hoge maaipercantage kalikunstmest nodig is, en brandstof 12 € per ha. De overige stijging van de kosten (ca. 30 € per ha) zijn verdeeld over verschillende kleine posten zoals hogere kosten voor voer- en mestopslag en de onroerend zaak belasting die daarover geheven wordt.

Het N-overschot is vrijwel gelijk aan het N-overschot in het standaard scenario. De aanvoer stijgt maar de gewasproductie eveneens door het hoge aandeel maaien (en uiteraard de hogere N-bemesting).

Het P_2O_5 -overschot is 7 kg P_2O_5 per ha hoger dan in het standaard scenario. De aanvoer van dunne rundermest op het land is hoger dan in het standaard scenario. De opname is eveneens hoger maar minder dan de toename van de dunne rundermest. De dunne rundermest op het land stijgt omdat er minder wordt afgevoerd. Er moeten volgens de norm evenveel kg N afgezet worden in mest maar het N-gehalte in de mest is hoger door een groter aandeel gras in het rantsoen. Hierdoor worden er minder m³ mest afgezet en blijft er dus meer mest (en dus P_2O_5 uit drm) over.

scenario Z-SF: volledig opstallen

Bij het volledig opstallen van het vee is de arbeidsopbrengst 359 € lager dan bij het standaard scenario. De voerkosten zijn weliswaar 150 € lager dan in het standaardscenario maar de loonwerkkosten voor voederwinning zijn 329 € per ha hoger en de kosten voor het uitrijden van mest 63 € per ha. De brandstofkosten zijn 30 € per ha hoger en de kunstmestkosten 29 € per ha (hogere gebruiksnormen bij opstallen en meer kali nodig bij hoog maaipercantage). De overige stijging van de kosten (ca. 60 € per ha) zijn verdeeld over verschillende kleine posten zoals hogere kosten voor voer- en mestopslag en de onroerend zaak belasting die daarover geheven wordt.

Het N-overschot is vrijwel gelijk aan het N-overschot in het standaard scenario. De aanvoer op de percelen stijgt maar de gewasproductie eveneens door het hoge aandeel maaien.

Het P_2O_5 -overschot is 3 kg P_2O_5 per ha hoger dan in het standaard scenario. De aanvoer van dunne rundermest is hoger dan in het standaard scenario. De opname is eveneens hoger maar minder dan de toename van de dunne rundermest. De dunne rundermest stijgt omdat er minder wordt afgevoerd. Er moeten volgens de norm evenveel kg N afgezet worden in mest maar het N-gehalte in de mest is hoger door

een groter aandeel gras in het rantsoen. Hierdoor worden er minder m³ mest afgezet en blijft er dus meer mest (en dus P₂O₅ uit drm) over.

scenario K-aug-SF: opstallen per 1 augustus

De arbeidsopbrengst is op klei 226 € per ha lager dan op het standaard bedrijf wanneer het vee vanaf 1 augustus wordt opgesteld. De totale voerkosten zijn vrijwel gelijk aan de standaardsituatie maar verschuiven enigszins van ruwvoer naar krachtvoer. Er wordt ruwvoer verkocht in plaats van aangekocht.

De loonwerkkosten stijgen vrij sterk, 169 € per ha: er wordt meer mest uitgereden (17 €) en de kosten voor voederwinning zijn hoger (154 € per ha) omdat er meer gemaaid wordt. Daardoor stijgen ook de brandstofkosten (17 € per ha).

De overige stijging van de kosten (ca. 30 € per ha) zijn verdeeld over verschillende kleine posten zoals hogere kosten voor voer- en mestopslag en de onroerend zaak belasting die daarover geheven wordt.

N-overschot op gras en op het hele bedrijf is vrijwel gelijk aan de standaard situatie. Het P₂O₅-overschot op gras is vrijwel gelijk en op het hele bedrijf 4 kg per ha hoger dan in het standaard scenario. De dunne rundermest op het land stijgt omdat er minder wordt afgevoerd. Er moeten volgens de norm evenveel kg N afgezet worden in mest maar het N-gehalte in de mest is hoger door een groter aandeel gras in het rantsoen. Hierdoor worden er minder m³ mest afgezet en blijft er dus meer mest (en dus P₂O₅ uit drm) over.

scenario K-SF: volledig opstallen

De arbeidsopbrengst is op klei 430 € lager dan op het standaard bedrijf bij volledig opstallen. De totale voerkosten zijn vrijwel gelijk aan de standaardsituatie maar verschuiven van ruwvoer naar krachtvoer. Er wordt ruwvoer verkocht in plaats van aangekocht. De loonwerkkosten stijgen vrij sterk, 296€ per ha: er wordt meer mest uitgereden (36 €) en de kosten voor voederwinning zijn hoger (282 € per ha) omdat er meer gemaaid wordt. Daardoor stijgen ook de brandstofkosten (51 € per ha). De kosten voor strooisel stijgen 20 € per ha omdat het vee niet meer buiten komt. De overige stijging van de kosten (ca. 60 € per ha) zijn verdeeld over verschillende kleine posten zoals hogere kosten voor voer- en mestopslag, de onroerend zaak belasting die daarover geheven wordt.

N-overschot op gras en op het hele bedrijf is vrijwel gelijk aan de standaard situatie. Het P₂O₅-overschot op gras is vrijwel gelijk en op het hele bedrijf 5 kg per ha hoger dan in het standaard scenario. De dunne rundermest op het land stijgt omdat er minder wordt afgevoerd. Er moeten volgens de norm evenveel kg N afgezet worden in mest maar het N-gehalte in de mest is hoger door een groter aandeel gras in het rantsoen. Hierdoor worden er minder m³ mest afgezet en blijft er dus meer mest (en dus P₂O₅ uit drm) over.

scenario V-aug-SF: opstallen per 1 augustus

De arbeidsopbrengst is op veen 200 € per ha lager dan op het standaard bedrijf wanneer het vee vanaf 1 augustus wordt opgesteld. De totale voerkosten zijn 30 € per ha lager dan in de standaardsituatie en verschuiven enigszins van ruwvoer naar krachtvoer. De loonwerkkosten stijgen vrij sterk, 180 € per ha: er wordt meer mest

uitgereden (24 €) en de kosten voor voederwinning zijn hoger (157 € per ha) omdat er meer gemaaid wordt. Daardoor stijgen ook de brandstofkosten (20 € per ha).

De overige stijging van de kosten (ca. 30 € per ha) zijn verdeeld over verschillende kleine posten zoals hogere kosten voor voer- en mestopslag en de onroerend zaak belasting die daarover geheven wordt.

N-overschot op gras en op het hele bedrijf is ongeveer 10 kg per ha lager dan in de standaard situatie: de aanvoer stijgt weliswaar maar de opname van het gras stijgt sneller door het hogere aandeel maaien. Het P_2O_5 -overschot op gras en op het hele bedrijf is vrijwel gelijk als in het standaard scenario.

scenario V-SF: volledig opstallen

De arbeidsopbrengst is op veen 376 € per ha lager dan op het standaard bedrijf wanneer het vee het hele jaar wordt opgesteld. De totale voerkosten zijn 217 € per ha lager dan in de standaardsituatie en verschuiven van ruwvoer naar krachtvoer. Er wordt ruwvoer verkocht in plaats van aangekocht.

De loonwerkkosten stijgen vrij sterk, 450 € per ha: er wordt meer mest uitgereden (54 €) en de kosten voor voederwinning zijn hoger (413 € per ha) omdat er meer gemaaid wordt. Daardoor stijgen ook de brandstofkosten (44 € per ha). De kosten voor strooisel stijgen 20 € per ha omdat het vee niet meer buiten komt. De kosten voor kunstmest stijgen 13 € per ha (hogere gebruiksnormen bij opstallen en meer kali nodig bij hoog maaipercantage).

De overige stijging van de kosten (ca. 60 € per ha) zijn verdeeld over verschillende kleine posten zoals hogere kosten voor voer- en mestopslag en de onroerend zaak belasting die daarover geheven wordt.

N-overschot op gras en op het hele bedrijf is ongeveer 45 kg per ha lager dan in de standaard situatie: de aanvoer stijgt weliswaar maar de opname van het gras stijgt sneller door het hogere aandeel maaien. Het P_2O_5 -overschot op gras en op het hele bedrijf is ongeveer 5 kg P_2O_5 per ha lager in het standaard scenario. Er wordt meer P_2O_5 toegediend maar de opname van het gewas stijgt meer.

7.2.2 Scenario's uitmijnen op zand

scenario Z-UM15% : 15% van het bedrijfsoppervlakte uitmijnen op gras

De arbeidsopbrengst van 15% uitmijnen op zand is 117 € per ha lager dan van het standaard bedrijf op zand. De verlaging van de arbeidsopbrengst wordt door enkele posten veroorzaakt. Wanneer er 15% (of meer) van het bedrijfsoppervlak op grasland uitgemijnd wordt en het fosfaat niet op de overige oppervlakte toegediend mag worden, is fosfaat wel knellend voor de mestplaatsingsruimte. De kosten voor mestafzet zijn 27 $€ \cdot ha^{-1}$ meer, er wordt 5 $m^3 \cdot ha^{-1}$ meer mest afgezet.

De voerkosten gaan omhoog, namelijk 32 € per ha. Dit is vooral krachtvoer. Door onttrekking van oppervlakte grasland aan de beweiding gaat het melkvee in het najaar 15 dagen eerder op stal dan op het standaardbedrijf. Hierdoor wordt er in Z-UM15% meer gemaaid en is er ten opzichte van het standaardbedrijf een grotere voorraad graskuil in de winter die eerst gevoerd wordt. Vervolgens wordt er maïs aangekocht. Uiteindelijk wordt er meer graskuil gevoerd in de winter dan in het standaard

scenario. Gras is energie-armer dan snijmaïs en is er meer energie uit krachtvoer nodig.

De toename van de kosten voor kunstmest is 22 € per ha doordat er mest afgevoerd wordt waarvoor kunstmest N aangekocht wordt. De loonwerkkosten verschuiven: er wordt meer gemaaid waardoor dat 28 € per ha meer kost maar de kosten voor mestuitrijden worden 10 € per ha door extra mestafvoer.

De N-bemesting verschuift enigszins van organische N naar kunstmest N door de afvoer van mest. Ook in Z-UM15% is de N-bemesting lager dan wettelijk toegestaan om dezelfde reden als in Z-stdrd.

Tabel 7.14: Arbeidsopbrengst van het standaard scenario en vier uitmijn scenario's op zand wanneer mestafzet 16 € per ton kost.

Scenario	Z-stdrd	Z-UM15%	Z-UM15%-SF	Z-UM30%-SF	Z-UM30%-ms
Beweidingsstelsel	beperkt	beperkt	summer-feeding	summer-feeding	beperkt
uitemijn gras, % van bedrijfsoppervlakte	0	15%	15%	30%	0
uitemijn maïs, % van bedrijfsoppervlakte	0	0	0	0	30%
Arbeidsopbrengst € per ha	179	34	-239	-387	-57
Arb opbr, verschil met standaard (1) € per ha	0	-145	-418	-566	-236
Afzet mest m ³ per ha	15	20	17	27	29
Kosten mestafzet € perha	240	294	274	438	468

scenario Z-UM15%-SF: 15% van bedrijfsoppervlakte uitemijnen op gras en vee opstallen

De arbeidsopbrengst van scenario 3 is 284 € lager dan die van scenario 2. Deze kosten moeten geheel toegeschreven worden aan de extra kosten die nodig zijn om het vee het hele jaar op stal te houden.

Er zijn enkele dalende kostenposten: er wordt minder mest afgezet, 10 € per ha. De voerkosten zijn beduidend lager, 186 € per ha. Er is meer werkzame N toegediend op grasland en de beweidingsverliezen zijn er niet meer waardoor de netto grasproductie omhoog gaat. De koeien nemen ook minder op omdat ze geen energie nodig hebben voor beweging in de wei. Er echter zijn een aantal kostenposten die deze kostenverlaging teniet doen: de kosten voor kunstmest gaan 26 € per ha omhoog (toegestane N-niveau is hoger), mestuitrijden 24 € per ha (de mest die in scenario 2 weidemest was, moet nu uitgereden worden), brandstof 37 € per ha en voederwinning 300 € per ha (het gras dat het vee zelf ging halen tijdens beweiden, moet nu gemaaid worden).

scenario Z-UM30%-SF: 30% van bedrijfsoppervlakte uitemijnen op gras en vee opstallen

De arbeidsopbrengst van scenario 4 is 467 € lager dan van scenario 1. Ongeveer 284 € kan worden toegeschreven aan de overgang van beperkt weiden naar opstallen (verschil scenario 2 en 3).

Vergelijking met scenario 3 laat zien dat 15% meer uitemijnen (van 15 naar 30% van de oppervlakte) ongeveer 66 € meer kost. De mestafzet kost 82 € meer, de kunstmest 25 € meer, voederwinning 9 € meer. De voerkosten zijn 39 € lager en het mestuitrijden kost 22 € minder.

scenario Z-UM30%-ms: 30% van bedrijfsoppervlakte uitmijnen op maïs

In scenario 5 is de arbeidsopbrengst 122 € lager dan in de standaard situatie. Doordat er geen mest op maïs uitgereden mag worden, gaan de kosten voor mestafzet 114 € omhoog en de kosten voor kunstmest 38 €. Daar tegenover staat dat de uitrijkosten 29 € lager zijn. Verder heeft het bemestings- en voedertechisch niet veel gevolgen. Het vee kan gewoon blijven weiden en krijgt in de winter hetzelfde rantsoen als in scenario 1.

7.2.3 Kosten bufferstroken en brongerichte maatregelen melkveehouderij: discussie

De economische verschillen tussen de scenario's zijn sterk afhankelijk van de gehanteerde prijzen en tarieven.

Voor de uitmijn scenario's (Z-UM) is de prijs van mestafzet een belangrijke/onzekere/variabele factor. Er is gerekend met 8 € per m³ maar in de praktijk worden op dit moment (september 2006) hogere prijzen gehanteerd. Er zijn zelfs al bedragen van 20 per m³ € (voor varkensmest) in gebruik. Wanneer bijvoorbeeld de afzet dubbel zo duur wordt gaat voor de scenario's het verschil met het standaard scenario sterk omhoog. In tabel 7.14 zijn de arbeidsopbrengsten van de 5 scenario's voor die situatie weergegeven.

De volgorde van de scenario's op basis van arbeidsopbrengst verandert daardoor niet maar de kosten zijn aanmerkelijk hoger dan wanneer gerekend wordt met 8 € per ton mest die wordt afgezet.

De kosten voor bufferstroken variëren per grondsoort. Wanneer 5% grondbeslag gerekend wordt, zijn de kosten voor klei nihil en voor zand 12 € per ha. Bij 10% bufferstroken gaan de kosten meer dan evenredig omhoog. Bij zand naar 43 € per ha en bij klei 11 € per ha. Dit verschil tussen de grondsoorten is vooral een gevolg van intensiteit. Op de zandgrond is er niet genoeg ruwvoer in de standaard situatie, er moet aangekocht worden. Door verlaging van de productie lopen de voerkosten snel op. De loonwerk kosten en kunstmest veranderen nauwelijks.

Op het extensievere klei bedrijf lopen de voerkosten minder snel op en dalen de kunstmest kosten meer. Het standaard klei bedrijf bemest meer dan het standaard zand bedrijf waardoor op klei dus meer kunstmest achterwege blijft dan op zand.

Voor veen, waar gerekend is met 10 en 20% grondbeslag door bufferstroken, zijn de kosten vrijwel nihil voor beide scenario's. Dit is onder andere een gevolg van de hoge productie die op veen behaald wordt zonder bemesting door de N mineralisatie op veengrond. Het stikstofleverend vermogen (NLV) van veen is 230 en van zand en klei 140 kg.ha⁻¹.j⁻¹. Over het hele bedrijf gerekend is de bruto drogestof opbrengst bij 10% bufferstrook op veen 240 kg ds per ha per jaar minder, bij klei is dat 360 en bij zand 380.

Voor alle grondsoorten geldt dat opstallen vanaf augustus een dure maatregel is. Opstallen vanaf augustus kost 200 tot 226 € per ha door hogere kosten voor loonwerk omdat er veel meer gemaaid moet worden. Dit geldt in nog sterkere mate

voor volledig opstallen. Dit kost 359 tot 430 € per ha door de sterke verhoging van loonwerkkosten en voeropslag kosten.

Uitmijnen is een duurdere maatregel dan bufferstroken maar ook veel effectiever in het verlagen van N en vooral P overschot.

Niet beweiden van bufferstroken kost ongeveer 12 € bij 10% bufferstroken. Het levert weinig op in termen van bedrijfsoverschot.

Mestafvoer levert wel wat op voor het P_2O_5 overschot maar kost ook wel een flink bedrag extra aan mestafzet ten opzichte van 10% bufferstrook.

7.3 Kosten van hydrologische maatregelen

Blokkeren van maaiveldafvoer

Blokkeren van maaiveldafvoer is in technische zin goed uit te voeren door het aanbrengen van een verhoogde rug (dammetje), eventueel gecombineerd met een greppel, parallel aan de waterloop. Als het perceel is begreppeld zouden de greppels moeten worden verwijderd of geblokkeerd. Aangezien de greppels er niet voor niets liggen zou dit kunnen leiden tot (ernstige) wateroverlast. Als draineren geen optie is, dan kan nog worden gedacht aan het aanleggen van een bezinkplaats waarin de greppels uitmonden. Een combinatie van blokkeren van maaiveld- en greppelafvoer met een teeltvrije zone, waarin afstromend water tijdelijk kan worden geborgen, ligt voor de hand. Voor de kosten is echter aangenomen dat er een dammetje en/of greppel moet worden aangelegd.

Met het blokkeren van de maaiveldafvoer neemt de kans op wateroverlast toe, omdat ook gedurende het teeltseizoen langduriger water op het land kan komen te staan. Daar staat tegenover dat de grondwateraanvulling hoger is waardoor de kans op droogteschade afneemt.

In sommige gevallen kan het nodig zijn het perceel te egaliseren en/of meer horizontaal te leggen, om afstroming naar lage plekken c.q. aangrenzende sloten te voorkomen. Deze kosten zijn niet begroot.

Drainage

Voor de kosten van conventioneel aangelegde drainage is uitgegaan van een drainafstand van 10 m en een draindiepte van 1,0 m. Bij het systeem van Iersel (verdiepte samengestelde peilgestuurde drainage) is aangenomen dat de verhoging van de ontwateringsbasis gepaard gaat met intensievere drainage om te voorkomen dat de grondwaterstand vaker tot in maaiveld stijgt. De aanleg is door de verzamelrain met put en pijp gecompliceerder en dus duurder. Ook het onderhoud is naar verwachting moeilijker en duurder. Bij conventioneel aangelegde drainage vindt geen peilsturing plaats, bij het systeem Van Iersel wel en daarom zijn er ook arbeidskosten aan verbonden. Overigens is bij de berekening van de effecten geen rekening gehouden met de landbouwkundige voordelen van de variatie in drainagebasis (minder opbrengstderving door natschade en droogteschade). Hierdoor is het saldo van baten – kosten onderschat. Bij het systeem Van Iersel kan een deel van de sloten worden gedempt. Daar zijn kosten aanverbonden maar daar staat landwinst tegenover. Er zijn daarom geen kosten voor dit onderdeel begroot.

Tabel 7.15: Kosten van hydrologische maatregelen

Maatregel		Aanleg €·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹	Afschrijf- termijn jr	onderhoud €·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹	Opbrengst- derving €·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹	bediening €·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹	Totaal €·ha ⁻¹ ·jr ⁻¹
Blokkeren	Zelf ploegen	0		20	50		70
maaiveldafvoer	Greppelfrees ¹	200	10	0	50		70
Conventionele drainage ²		1000	20 - 30	100 (40) ²		0	130 – 150 (70 - 110)
Drainage 'systeem Van Iersel ³		2500	15 - 20	500 (100)		100 (20)	725 – 765 (605 - 645)

¹ Loonwerk

² Kosten inclusief arbeidskosten. Tussen haakjes de kosten exclusief arbeidskosten.

³ Bedragen zijn voorlopige schattingen en worden nader onderzocht.

7.4 Kosten van zuiveringsystemen

Voor het berekenen van de kosten van vloeivelden en moerasbufferstroken zijn de volgende zaken van belang:

- de kosten van het uit de productie nemen van landbouwgrond;
- de kosten van aanleg van de zuiveringsystemen;
- de kosten van het beheer.

7.4.1 Kosten van grondbeslag

De kosten van het uit productie nemen van landbouwgrond kan op verschillende manieren worden berekend. Belangrijk onderscheid is of gronden worden aangekocht tegen marktconforme tarieven of dat gronden in eigendom blijven van de huidige grondeigenaren. In de berekeningen gaan wij er vanuit dat de grond in eigendom blijft van de huidige grondeigenaren. Op de langere termijn (>35 jaar) kan overigens aankoop goedkoper zijn dan jaarlijkse subsidiëring (zie Molenaar et al., 2007).

De vergoedingen van akkerrandenregelingen (SAN) en projecten als Actief Randenbeheer Brabant zijn grotendeels gebaseerd op saldoderving op een gemiddeld akkerbouwbedrijf. Hierbij worden de arbeidskosten en bedrijfskosten buiten beschouwing gelaten. Gemiddelde saldoderving in de akkerbouw is berekend op ca. 1300-1400 € per ha per jaar (Spruijt et al., 2005; Molenaar et al., 2007). Dit is ca. 2 x zo hoog als de berekende productiewaarde van landbouwgrond van 500-600 € per ha per jaar (Luijt et al., 2003). Het vergoeden van alleen de productiewaarde zal waarschijnlijk tot grote weerstanden bij agrariërs leiden, daarom wordt uitgegaan van een gemiddelde saldoderving van 1400 € per ha per jaar.

7.4.2 Kosten van aanleg

De aanlegkosten van een moerasbufferstrook worden geschat op 60.000 € per ha. Deze schatting is gebaseerd op berekeningen van Van der Meer & Schurink (2001), Van Well & Kloen (2004) en Clevering et al. (2004). De aanlegkosten van een

vloeveld zijn 80.000 € per ha (STOWA rapporten 2001-09 en 2005-18, en gegevens R. Veeningen van Wetterskip Fryslân). Er wordt uitgegaan van 4% rente over de inrichtingskosten, de jaarlijkse kosten voor een moerasbufferstrook zijn dan 2400 en van een vloeveld 3200 € per ha.

7.4.3 Kosten van beheer

Bij beide zuiveringsystemen worden de beheerkosten geschat op 500 als niet wordt gemaaid en op 1200 € per ha per jaar als wel wordt gemaaid. Dit is iets lager dan berekend voor het zuiveringsstelsel de Putten in Friesland, waarbij wordt uitgegaan van 1500 € per ha per jaar (data Johan Hager, Wetterskip Fryslân). Wij gaan er vanuit dat het beheer door boeren goedkoper is, en dat het maaisel op percelen wordt ondergewerkt.

De kosten van zesjaarlijks uitbaggeren en herinplanten worden geschat op 20.000 € per ha, dat is 14.000 € per ha op 70% van het oppervlak. De bagger en de rietresten worden ondergewerkt in aangrenzende landbouwpercelen of op maaispercelen op veehouderijbedrijven. Bij een afschrijving van de zuiveringsystemen van 25 jaar, en zesjaarlijks vervangen komt dit neer op totale extra inrichtingskosten van 56.000 € per ha, dat is met 4% afschrijving 2240 € per ha per jaar. Er wordt van uitgegaan dat in het jaar van aanplant, het daarop volgende jaar en in het jaar van vernieuwen geen kosten worden gemaakt voor het maaien van de rietvegetatie. Bij zesjaarlijks vernieuwen van de zuiveringsystemen zijn de extra kosten van onderhoud 600 € per ha per jaar, dat is in totaal 2840 € per ha per jaar.

Tabel 7.16: Kosten van zuiveringsystemen in € per hectare per jaar en € per 500 m² per jaar.

	moerasbufferstrook		vloeveld	
	ha	500 m ²	ha	500 m ²
-saldoderving (a)	1400	70	1400	70
-aanleg kosten (b)	2400	120	3200	160
<i>totale investeringskosten</i>	<i>3800</i>	<i>190</i>	<i>4600</i>	<i>230</i>
-minimaal beheer (c)	500	25	500	25
-maaien september (d)	1200	60	1200	60
-zesjaarlijks vernieuwen (e)	2840	142	2840	142
<i>Totale kosten</i>				
-minimaal beheer (a,b,c)	4300	215	5000	250
-maaien september (a,b,d)	5000	250	5700	285
-zesjaarlijks vernieuwen (a,b,e)	6640	332	7440	372

Referenties

- Bakel, Jan van, Harry Massop en Arie van Kekem, 2007. Locatiekeuze ten behoeve van het onderzoek naar bemestingvrije perceelsranden. Hydrologische en bodemkundige karakterisering van de proeflocaties. Effectiveness of buffer strips publication series 4. Alterra-rapport 1457, Wageningen.
- Bakel, P.J.T. van, E.M.P.M. van Boekel en I.G.A.M. Noij, 2008. Modelonderzoek naar effecten van conventionele en peilgestuurde drainage op de hydrologie en nutriëntenbelasting. Alterra-rapport 1649, Wageningen.
- Bakker W. 2001. Helofytenfilters voor de zuivering van oppervlaktewater. Een onderzoek naar de gemeten zuiveringsresultaten van vier helofytenfilters. Rapportnummer 009/2001. Leerstoel Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer, Wageningen Universiteit.
- Berge, H. ten, J.C.M. Withagen, F.J. de Ruyter, M.J.W. Jansen & H.G. van der Meers, 2000. Nitrogen responses in grass and selected field crops. QUAD-MOD parameterisation and extensions for STONE application. Report 24, Plant Research International, Wageningen.
- Boers, P. (mond. med). Waterdienst, Lelystad.
- Braskerud, B.C. 2002a. Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. - Ecological Engineering 19: 41-61.
- Braskerud, B.C. 2002b. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution. - Ecological Engineering 18: 351-370.
- Braskerud B.C et al., 2005. Can constructed wetlands reduce the diffuse phosphorus loads to eutrophic water in cold temperate regions? Journal of Environmental Quality 34:2145-2155
- Brix, H. 1994. Use of constructed wetlands in water pollution control: Historical development, present status, and future perspectives. - Wat. Sci. Tech. 30: 209-223.
- Carleton J.N, Grizzard T.J, Godrej A.N, Post H.E 2001. Factors affecting the performance of stormwater treatment wetlands. Water Research Oxford. 2001, 35: 6, 1552 1562; 55 ref.
- Chardon W.J., M. Pleijter, C. van der Salm, O.F. Schoumans en O. Oenema, 2007. Milieukundige gevolgen van aanscherping en differentiatie van fosfaatgebruiksnormen in de landbouw. Alterra- rapport 1571, Wageningen.
- Clevering, O.A., Smit, B., Aendekerk, T & Wees, N. van, 2004. Mogelijkheden voor hergebruik en zuivering van uitgespoelde nutriënten. PPO 530133.
- Clevering OA, Visser AJ (2005). Beheeradvies grasbufferstroken voor het project Actief Randenbeheer Brabant. PPO 500149 (www.randenbeheerbrabant.nl).
- Clevering OA, Hopster GK, Beek, AJCM van, Spruijt J & Visser AJ (2005). Natuurontwikkeling langs akkers. Evaluatie van zes jaar onderzoek naar het beheer van akkerranden en slootkanten op proefbedrijven. PPO 530055 (www.syscope.nl).

- Cooper, A. B., Bavor, H. J. and Mitchell, D. S. 1994. Coupling wetland treatment to land treatment: an innovative method for nitrogen stripping. - Wetland systems in water pollution control. Proceedings of the IAWQ 3rd International Specialist Conference, Sydney, Australia, 23-25 November 1992. Water Science and Technology. 1994, 29: 4, 141-149; 16 ref.
- Corré, Wim, Gert-Jan Noij, Wim van Dijk, Jantine van Middelkoop, Henk Oosterom, Olga Clevering, Jan van Bakel, Leo Renaud, in voorb.. Kosteneffectiviteit van maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit in het landelijk gebied. Maatregelen voor fosfaat lekkende gronden.
- Craft, C. B. 1997. Dynamics of nitrogen and phosphorus retention during wetland ecosystem succession. - Wetl. Ecol. and Man. 4: 177-187.
- Crumpton, W. G. 2001. Using wetlands for water quality improvement in agricultural watersheds; the importance of a watershed scale approach. - Wat. Sci. Tech. 44: 559-564.
- Delaney, T. 1995. Benefits to Downstream Flood Attenuation and Water-Quality as a Result of Constructed Wetlands in Agricultural Landscapes. - Journal of Soil and Water Conservation 50: 620-626.
- Dijk, W. van, 2003. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 307, 66 pp.
- Dijk, Wim van, Olga Clevering, David van der Schans, Jan van der Zande, Henk Porskamp, Marius Heinen, Rob Smidt en Rob Merkelbach, 2003. Effecten bufferstroken op de kwaliteit van oppervlaktewater in Noord-Brabant. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Wageningen.
- Dijkstra, J.P., Y. Hofmeester, M.J.D. Hack-tenBroeke en F.G. Wijnands, 1996. Stikstofemissie naar het grondwater van geïntegreerde en gangbare bedrijfssystemen in de akkerbouw op de proefboerderijen Borgerswold en Vredepeel. Simulatie van de vocht- en nitraathuishouding op de proefboerderij Borgerswold voor de jaren 1990-1993. Rapport 287.3, SC-DLO, Wageningen.
- Doriot, J.M., D. Wang, J. Poulenard & D. Trevisan, 2006. The effect of grass buffer strips on phosphorus dynamics – A critical review and synthesis as a basis for application in agricultural landscapes in France. Agriculture, Ecosystems and Environment 117: 4-21.
- Dykjova, D. and Kvet J. 1978. Pond Littoral Ecosystems, Structure and Functioning. Methods and results of quantitative ecosystem research in the Czechoslovakian IBP Wetland Project, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Eertwegh, G. A. P. H., van den, Hoekstra, J.R., Meinardi, C.R. 1995. Praktijkproef Nutriëntenbalans. Nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater via drainagewater van akkerbouwpercelen op zavelgrond.
- Fink, D. F. and Mitsch, W. J. 2004. Seasonal and storm event nutrient removal by a created wetland in an agricultural watershed. - Ecological Engineering 23: 313-325.
- Fleischer, S., Joelsson, A., Stibe, L. 1997. 15: The Potential Role of Ponds as Buffer Zones. - In: Haycock, N. E., 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, pp. 140-146.

- Gaast, J.W.J. van der en P.J.T. van Bakel, 1997. Differentiatie van waterlopen ten behoeve van het bestrijdingsmiddelenbeleid in Nederland. Rapport 526, DLO Staring Centrum, Wageningen.
- Geus - van der Eijk, J., van der Plas, L.J.T, Leistra M, Mul, M.I., Vader C., Matser A.M., Smelt, J.H. & Roelsma, J. (1997). 'Uitspoeling van nutriënten en bestrijdingsmiddelen vanuit de akkerbouw en groenteteelt op kleigrond naar grondwater en waterlopen,' Rep. No. 0927-4499.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud and J. Roelsma, 2005. Prediction of Nitrogen and Phosphorus leaching to groundwater and surface waters. Process descriptions of the ANIMO4.0 model. Report 983. Alterra, Wageningen.
- Hey, D.L, Kostel J.A., Hurter, A.P., Kadlec R.H. (2005) Nutriënt farming and traditional removal: an economic comparison. Water Environment Research Foundation (WERF) 03-wsm-6co
- Hopster GK, Voort M van der 2004. Verschraalbeheer is goed voor boer en natuur. Boerderij/Akkerbouw 89(19).
- Kadlec, R. H. 1999. The limits of phosphorus removal in wetlands. - Wetlands 7: 165-175.
- Kadlec, R. H. Knight, R.L. 1996. Treatment Wetlands. - Lewis Publishers, Boca Raton.
- Klieverik, M., Spruijt J. Hopster GK (2005). Ondernemers aan het werk. Arbeid en kosten van agrarisch natuurbeheer op Natuur breed bedrijven. Eindrapport Natuur breed deel C (www.syscope.nl).
- Kroes, J.G., J.C. Van Dam, P. Groenendijk, R.F.A. Hendriks, C.M.J. Jacobs, 2008. SWAP version 3.2. Theory description and user manual. Alterra Report 1649, Alterra, Wageningen. Gebruikte release: Swap 3.1.7.8_divd.
- Liikanen, A., Puustinen, M., Koskiahio, J., Vaisanen, T., Martikainen, P. and Hartikainen, H. 2004. Phosphorus removal in a wetland constructed on former arable land. - Journal of Environmental Quality 33: 1124-1132.
- Mayer, P.M., S.K. Reynolds, M.D. McCutchen & T.J. Canfield, 2007. Meta-analysis of nitrogen removal in riparian buffers. Journal of Environmental Quality 36: 1172-1180.
- Mitsch, W. J. 1992. Landscape design and the role of created, restored, and natural riparian wetlands in controlling nonpoint source pollution. - Ecological Engineering 1: 27-47.
- Mitsch, W. J. and Gosselink, J. G. 2000. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting. - Ecological Economics 35: 25-33.
- Mitsch, W. J., Cronk, J. K., Wu, X. Y., Nairn, R. W. and Hey, D. L. 1995. Phosphorus Retention in Constructed Fresh-Water Riparian Marshes. - Ecological Applications 5: 830-845.
- Milieu- en Natuurplanbureau, 2007. Werking van de Meststoffenwet 2006. Overgang van verliesnormenstelsel naar een gebruiksnormenstelsel: evaluatie van werking in verleden (1998-2005), heden (2006-2007) en toekomst (2008-2015). MNP-publicatienummer 500124001, Bilthoven.
- Nairn, R. W., Mitsch, W.J. 2000. Phosphorus removal in created wetland ponds receiving river overflow. - Ecological Engineering 14: 107-126.
- Noij, Gert-Jan, 2006. Effectiveness of buffer strips in the Netherlands. Research plan. Effectiveness of buffer strips publication series 1. Alterra, Wageningen.

- Noij, I.G.A.M., A.H.J. van der Putten, J. Roelsma, J. Dijk, H. Leneman en C.W.J. Roest, 1997. Naar een geïntegreerde berekening van nutriëntenstromen op landbouwbedrijven en uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Integratie van STONE met het Stofstromenmodel. Rapport 538 SC-DLO, Wageningen.
- Noij, Gert-Jan, Marius Heinen en Piet Groenendijk, 2008. Effectiveness of unfertilized buffer strips in the Netherlands. Mid-term report. Effectiveness of buffer strips publication series 7, Alterra, Wageningen the Netherlands.
- Paludan C et al. (2002) Wetland management to reduce Baltic sea eutrophication. *Water Science and Technology* 45:87-94
- Plette, S., Beek van C., Salm, van der C (2004). Mest en oppervlaktewater. Een synthese van de 3 DOVE projecten ten behoeve van de evaluatie meststoffenwet 2004. RIZA werkrapport nr 2004.092x
- 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
- Ridder, de R. P. 1996. Helofytenfilters Integratie van oppervlaktewaterzuivering, natuur en andere functies van moerassen. - LBL Dienst Landinrichting en Beheer Landbouwgronden Medeling 206.
- Ruijter, F.J. de & R. Postma (2004). Afvoer van gewasresten ter beperking van stikstofverliezen. Bureaustudie naar de effecten op de stikstofbalans, mineralisatie en organische stof. Telen met Toekomst, rapport nr. OV0412.
- Schierup, H. H. and Brix, H. 1990. Danish experience with emergent hydrophyte treatment systems (EHTS) and prospects in the light of future requirements on outlet water quality. - *Water Science and Technology*. 1990, 22: 3 4, 65 72; 14 ref.
- Schils, R.L.M. M.H.A. de Haan, J.G.A. Hemmer, A. van den Pol-van Dasselaar, J.A. de Boer, A.G. Evers, G. Holshof, J.C. van Middelkoop, R.L.G. Zom, 2007. Dairywise, a whole-farm dairy model. *Journal of Dairy Science* 2007,90:5334-5346.
- Schreuder, R. & J.W. van der Wekken, 2005. Kwantitatieve Informatie Bloembollen en Bolbloemen. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, publicatie nr. 719, Lisse, 219 pp.
- 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. MEBOT, versie 1 Geïntegreerde bedrijfssimulatie in open teelten, PPO nr. 373, Lelystad.
- Schröder, J.J., H.F.M. Aarts, M.J.C. de Bode, W. van Dijk, J.C. van Middelkoop, M.H.A. de Haan, R.L.M. Schils, G.L. Velthof, J.W. Willems, 2004. Gebruiksnormen bij verschillende landbouwkundige en milieukundige uitgangspunten. Rapport 79, Plant Research International, Wageningen.
- 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. MEBOT, versie 1 Geïntegreerde bedrijfssimulatie in open teelten, PPO nr. 373, Lelystad.
- Soesbergen, Arnout van, Roy Brouwer, Paul Baan, Petra Hellegers and Nico Polman, 2007. Assessing the cost-effectiveness of pollution abatement measures in

- agriculture, industry and the wastewater treatment sector. WEMPA report-07. IVM, Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit Amsterdam.
- Spieles, D.J. and Mitsch, W.J. 2000. The effects of season and hydrologic and chemical loading on nitrate retention in constructed wetlands: a comparison of low- and high-nutriënt riverine systems. - Special Issue. Nitrogen and phosphorus retention in wetlands. *Ecological Engineering*. 2000, 14: 1 2, 77 91; 68 ref.
- Spruijt J, Munneke K, Hopster GK, 2006. KWIN Vollegrondsgroenteteelt, PPO, Lelystad.
- Tonderski, K. S., Arheimer, B. and Pers, C. B. 2005. Modeling the impact of potential wetlands on phosphorus retention in a Swedish catchment. - *Ambio* 34: 544-551.
- Uusi-Kämpä, T., E., Hartikainen, H., Yläntä, T. 1997. 5: The interactions of buffer zones and phosphorus runoff. - In: Haycock, N. E., 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*, pp. 43-53.
- Uusi-Kämpä, J., Braskerud, B., Jansson, H., Syversen, N. and Uusitalo, R. 2000. Buffer zones and constructed wetlands as filters for agricultural phosphorus. - *Journal of Environmental Quality* 29: 151-158.
- Visser AJ, 2005. Kwantitatieve Informatie Bloembollen. Grondslagen en vergoedingen akkerranden. SAN Faunaland en Natuurbraak. PPO 500206, Lelystad.
- Vos, J.A. de, P.J.T. van Bakel, I.E. Hoving & J.G. Conijn, 2006. Waterpas-model: A predictive tool for water management, agriculture, and environment. *Agricultural Water Management* 86: 187-195.
- Wedding, B. 2003. Ponds as purification systems. Sampling of nutriënt reduction in new constructed ponds 1993-2002. (In Swedish.) *Ekologgrupper-rapport*. Landskrona, Sweden.
- Wolf J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R.Rötter, H. van Zeijts, 2003. The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. *Environmental Modelling & Software* 18 (2003) 597-617.

Bijlage 1: Resultaten brongerichte maatregelen

Tabel 1.1 Stikstof akkerbouw: N-bemesting met kunstmest (km) en dierlijke mest (dm), N-gewasafvoer (gaf) en -overschot (over) op bouwland volgens MEBOT en ANIMO, en N-vracht (vr) naar oppervlaktewater van ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in kg,ha⁻¹, jr⁻¹ N).

Scenario	Bedrijfsysteem	Plot	Bemesting			MEBOT		ANIMO			Verschil Nvr met ref
			Nkm	Ndm	Ntot	Ngaf	Nover	Ngaf	Nover	Nvr	
1) Referentie: toediening mest op zandgrond in het voorjaar	CZK	2082	140	60	200	138	65	145	55	19.5	
	ZWK	4879	163	70	233	138	99	148	84	15.7	
	Gem		151	65	216	138	82	147	70	17.6	
	ZON	5428	78	131	209	124	85	143	66	16.0	
	ZON	5558	78	130	209	124	85	136	72	17.2	
	ZON	6070	78	130	208	124	85	113	95	52.1	
	Gem		78	130	209	124	85	131	78	28.4	
	NON	1000	71	102	173	106	67	124	49	45.7	
	NON	1013	71	102	173	106	67	115	58	53.3	
	NON	3150	71	102	173	106	67	117	57	10.4	
	NON	3420	71	102	173	106	67	143	31	7.1	
	Gem		71	102	173	106	67	125	49	29.1	
5) Geen dierlijke mest	CZK	2082	165	0	165	135	30	135	30	16.0	3.54
	ZWK	4879	185	0	185	138	47	137	48	10.8	4.94
	Gem		175	0	175	137	39	136	39	13.4	4.24
Extra) Alle gewassen -20% bemesting	CZK	2082	112	48	160			128	24	17.7	1.80
	ZWK	4879	130	56	186			130	52	14.1	1.63
	Gem		121	52	173			129	38	15.9	1.71
	ZON	5428	62	104	167			134	43	11.9	4.11
	ZON	5558	62	104	167			122	43	13.7	3.55
	ZON	6070	62	104	167			101	43	51.2	0.85
	Gem		62	104	167			119	43	25.6	2.84
	NON	1000	57	82	139			112	33	41.8	3.87
	NON	1013	57	82	139			103	33	51.6	1.71
	NON	3150	57	82	139			104	33	9.2	1.17
	NON	3420	57	82	139			126	13	5.6	1.45
	Gem		57	82	139			111	28	27.1	2.05
2) Toediening mest op graan/kleigrond in het voorjaar	CZK	2082	137	45	182	138	44	139	43	17.3	2.19
	ZWK	4879	155	54	209	138	71	143	66	11.4	4.27
	Gem		146	50	196	138	58	141	54	14.4	3.23

Scenario	Bedrijfsysteem	Plot	Bemesting			MEBOT		ANIMO			Verschil Nvr met ref
			Nkm	Ndm	Ntot	Ngaf	Nover	Ngaf	Nover	Nvr	
7b) Toediening mest op graan/kleigrond in het voorjaar + Bemesting graan -20%gebruiksnorm	CZK	2082	117	45	162	131	31	130	32	16.7	2.83
	ZWK	4879	125	54	179	127	52	132	47	11.0	4.76
	Gem		121	50	171	129	42	131	39	13.8	3.80
	ZON	5428	70	131	201	124	77	145	56	14.7	1.29
	ZON	5558	70	131	201	124	77	134	67	16.3	0.92
	ZON	6070	70	131	201	124	77	108	93	52.3	-0.21
	Gem		70	131	201	124	77	129	72	27.8	0.66
	NON	1000	62	102	164	104	60	123	41	44.5	1.20
	NON	1013	62	102	164	104	60	110	54	53.5	-0.15
	NON	3150	62	102	164	104	60	112	52	10.0	0.36
	NON	3420	62	102	164	104	60	137	27	6.6	0.45
	Gem		62	102	164	104	60	120	44	28.7	0.47
	Gem									25.1	1.27
8a) Toediening mest op graan/kleigrond in het voorjaar + Pover = 0	CZK	2082	137	45	182	138	44	139	43	17.3	2.19
	ZWK	4879	155	54	209	138	71	143	66	11.4	4.27
	Gem		146	50	196	138	58	141	54	14.4	3.23
	ZON	5428	122	79	201	124	77	143	58	16.8	-0.82
	ZON	5558	122	79	201	124	77	141	60	19.7	-2.44
	ZON	6070	122	79	201	124	77	127	74	51.1	0.94
	Gem		122	79	201	124	77	137	64	29.2	-0.77
	NON	1000	102	67	169	106	63	126	43	45.8	-0.08
	NON	1013	102	67	169	106	63	121	48	51.6	1.69
	NON	3150	102	67	169	106	63	122	47	10.4	-0.04
	NON	3420	102	67	169	106	63	146	23	6.9	0.15
	Gem		102	67	169	106	63	129	40	28.7	0.43
	Gem									25.7	0.65

Tabel 1.2 **Fosfor akkerbouw**: P-bemesting met kunstmest (km) en dierlijke mest (dm), P-gewasafvoer (gaf) en -overschot (over) op bouwland volgens MEBOT en ANIMO, en P-vracht (vr) naar oppervlaktewater volgens ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in kg.ha⁻¹.jr⁻¹ P).

Scenario	Bsyst	plot	Bemesting			MEBOT		ANIMO			Verschil Pvr met ref
			Pkm	Pdm	Ptot	Pgaf	Pover	Pgaf	Pover	Pvr ²²	
1) Referentie toediening mest op zandgrond in het voorjaar	CZK	2082	13	16	29	23	6	26	3	0.69	
	ZWK	4879	12	19	31	24	7	26	5	0.32	
	Gem		13	18	30	24	7	26	4	0.50	
	ZON	5428	1	33	35	22	13	24	11	0.36	
	ZON	5558	1	33	35	22	13	24	11	0.57	
	ZON	6070	1	33	35	22	13	24	11	4.87	
	Gem		1	33	35	22	13	24	11	1.94	
	NON	1000	3	26	29	19	10	23	6	4.46	
	NON	1013	3	26	29	19	10	23	6	4.56	
	NON	3150	3	26	29	19	10	23	6	3.64	
	NON	3420	1	28	28	19	10	25	3	0.75	
	Gem		2	26	29	19	10	23	5	3.35	
	Gem									2.25	
5) Geen dierlijke mest	CZK	2082	31	0	0	22	5	26	7	0.75	-0.06
	ZWK	4879	29	0	0	24	3	26	7	0.35	-0.04
	Gem		30	0	0	23	4	26	7	0.55	-0.05
Extra) Alle gewassen -20% bemesting	CZK	2082	11	11	22	23	-1	26	-1	0.67	0.02
	ZWK	4879	9	15	25	24	1	26	1	0.30	0.01
	Gem		10	13	23	24	0	26	0	0.49	0.02
	ZON	5428	1	27	28	22	6	23	6	0.35	0.02
	ZON	5558	1	27	28	22	6	23	6	0.53	0.04
	ZON	6070	1	27	28	22	6	23	6	4.78	0.09
	Gem		1	27	28	22	6	23	6	1.89	0.05
	NON	1000	2	21	23	19	4	22	4	4.44	0.03
	NON	1013	2	21	23	19	4	22	4	4.54	0.02
	NON	3150	2	21	23	19	4	23	4	3.40	0.25
	NON	3420	2	21	23	19	4	24	-1	0.72	0.03
	Gem		2	21	23	19	4	23	3	3.27	0.08
	Gem									2.19	0.06
2) Toediening mest op graan/kleigrond in het voorjaar	CZK	2082	18	11	29	22	7	26	3	0.70	-0.01
	ZWK	4879	17	14	31	24	7	26	5	0.32	0.00
	Gem		17	13	30	23	7	26	4	0.51	-0.01

²² Wij pretenderen geen nauwkeurigheid van twee cijfers achter de komma, maar ronden niet af om verschillen te kunnen duiden.

Scenario	Bsyst	plot	Bemesting			MEBOT		ANIMO			Vershil Pvr met ref
			Pkm	Pdm	Ptot	Pgaf	Pover	Pgaf	Pover	Pvr ²²	
7b) Toediening mest op graan / kleigrond in het voorjaar + Bemesting -20% gebruiksnorm op graan	CZK	2082	18	11	29	21	8	26	3	0.70	-0.01
	ZWK	4879	17	14	31	22	9	26	5	0.32	-0.01
	Gem		17	13	30	22	9	26	4	0.51	-0.01
	ZON	5428	1	33	35	22	12	24	11	0.37	0.00
	ZON	5558	1	33	35	22	12	24	11	0.57	0.00
	ZON	6070	1	33	35	22	12	24	11	4.88	-0.01
	Gem		1	33	35	22	12	24	11	1.94	0.00
	NON	1000	3	26	29	19	10	23	6	4.47	-0.01
	NON	1013	3	26	29	19	10	23	6	4.57	0.00
	NON	3150	3	26	29	19	10	23	6	3.65	-0.01
	NON	3420	3	26	29	19	10	25	4	0.76	-0.01
	Gem		3	26	29	19	10	23	5	3.36	-0.01
	Gem									2.26	-0.01
8a) Toediening mest op graan / kleigrond in het voorjaar + Pover = 0	CZK	2082	9	11	21	22	-2	26	-6	0.66	0.03
	ZWK	4879	9	14	23	24	-1	26	-3	0.29	0.03
	Gem		9	13	22	23	-1	26	-4	0.47	0.03
	ZON	5428	1	20	21	22	-1	24	-2	0.33	0.03
	ZON	5558	1	20	21	22	-1	24	-2	0.50	0.08
	ZON	6070	1	20	21	22	-1	24	-2	4.73	0.15
	Gem		1	20	21	22	-1	24	-2	1.85	0.09
	NON	1000	1	17	18	19	-1	23	-4	4.45	0.01
	NON	1013	1	17	18	19	-1	23	-5	4.55	0.01
	NON	3150	1	17	18	19	-1	23	-5	3.21	0.43
	NON	3420	1	17	18	19	-1	25	-7	0.69	0.06
	Gem		1	17	18	19	-1	23	-5	3.23	0.13
	Gem									2.16	0.09

Tabel 1.3 **Stikstof gras**: N-bemesting met kunstmest (*km*) en dierlijke mest (*dm*), N-afvoer met gras (*gaf*) en N-overschot (*over*) volgens BBPR en ANIMO, en N-vracht (*vr*) naar oppervlaktewater volgens ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in kg.ha⁻¹.jr⁻¹ N).

Scenario-code		Plot	Bemesting				BBPR		ANIMO			Verskil Nvr met ref
BBPR	ANIMO ²³		Nkm	Ndm	Nw	Ntot	Ngaf	Nover	Ngaf	Nover	Nvr	
Z-Stdrrd	i	3752	133	200	74	333	240	93	244	89	25.8	
		4294	133	200	74	333	240	93	247	86	13.9	
		5344	133	200	74	333	240	93	245	88	32.3	
		5724	133	200	74	333	240	93	245	88	12.8	
		6063	133	200	74	333	240	93	245	88	14.3	
	<i>Gem</i>		<i>133</i>	<i>200</i>	<i>74</i>	<i>333</i>	<i>240</i>	<i>93</i>	<i>245</i>	<i>88</i>	<i>19.8</i>	
Z-Buf5% beweide buffer	V	3752	0	74	27	74	95	-20	102	-28	21.5	4.3
		4294	0	74	27	74	95	-20	102	-28	11.8	2.0
		5344	0	74	27	74	95	-20	101	-27	30.6	1.7
		5724	0	74	27	74	95	-20	101	-27	11.3	1.5
		6063	0	74	27	74	95	-20	101	-27	12.1	2.3
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>74</i>	<i>27</i>	<i>74</i>	<i>95</i>	<i>-20</i>	<i>102</i>	<i>-28</i>	<i>17.5</i>	<i>2.4</i>
Z-Buf5% onbemest	X	3752	0	0	0	0	95	-95	70	-70	15.9	9.9
		4294	0	0	0	0	95	-95	73	-73	6.3	7.6
		5344	0	0	0	0	95	-95	74	-74	20.9	11.3
		5724	0	0	0	0	95	-95	74	-74	6.1	6.7
		6063	0	0	0	0	95	-95	74	-74	6.6	7.8
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>95</i>	<i>-95</i>	<i>73</i>	<i>-73</i>	<i>11.1</i>	<i>8.7</i>

²³ Voor verklaring ANIMO-code zie tabel 5.10

Scenario-code		Plot	Bemesting				BBPR		ANIMO			Verschil Nvr met ref
BBPR	ANIMO ²³		Nkm	Ndm	Nw	Ntot	Ngaf	Nover	Ngaf	Nover	Nvr	
Bufl0%-nbew, gem. wel/niet buffer	i	3752	118	187	66	305	222	83	230	75	24.9	0.9
		4294	118	187	66	305	222	83	232	73	13.3	0.6
		5344	118	187	66	305	222	83	232	73	31.1	1.1
		5724	118	187	66	305	222	83	231	74	12.2	0.6
		6063	118	187	66	305	222	83	231	75	13.6	0.7
	<i>Gem</i>		<i>118</i>	<i>187</i>	<i>66</i>	<i>305</i>	<i>222</i>	<i>83</i>	<i>231</i>	<i>74</i>	<i>19.0</i>	<i>0.8</i>
Bufl0%-onbeweid niet buffer	H	3752	131	208	73	339	236	103	247	92	25.7	0.1
		4294	131	208	73	339	236	103	250	89	13.8	0.0
		5344	131	208	73	339	236	103	249	90	31.8	0.4
		5724	131	208	73	339	236	103	248	91	12.7	0.1
		6063	131	208	73	339	236	103	248	91	14.2	0.2
	<i>Gem</i>		<i>131</i>	<i>208</i>	<i>73</i>	<i>339</i>	<i>236</i>	<i>103</i>	<i>249</i>	<i>90</i>	<i>19.7</i>	<i>0.2</i>
Z-Bufl0% maf, gem. wel niet buffer	I	3752	126	180	72	306	232	74	230	76	25.3	0.5
		4294	126	180	72	306	232	74	231	75	13.7	0.1
		5344	126	180	72	306	232	74	231	75	32.0	0.3
		5724	126	180	72	306	232	74	231	75	12.7	0.1
		6063	126	180	72	306	232	74	230	76	14.2	0.1
	<i>Gem</i>		<i>126</i>	<i>180</i>	<i>72</i>	<i>306</i>	<i>232</i>	<i>74</i>	<i>231</i>	<i>75</i>	<i>19.6</i>	<i>0.2</i>
Z-Bufl0% maf, niet buffer	S	3752	140	192	72	332	247	85	245	87	25.7	0.1
		4294	140	192	72	332	247	85	248	84	13.7	0.2
		5344	140	192	72	332	247	85	247	85	31.9	0.3
		5724	140	192	72	332	247	85	247	85	12.6	0.2
		6063	140	192	72	332	247	85	246	86	14.1	0.3
	<i>Gem</i>		<i>140</i>	<i>192</i>	<i>72</i>	<i>332</i>	<i>247</i>	<i>85</i>	<i>247</i>	<i>85</i>	<i>19.6</i>	<i>0.2</i>

Scenario-code		Plot	Bemesting				BBPR		ANIMO			Verschil Nvr met ref
BBPR	ANIMO ²³		Nkm	Ndm	Nw	Ntot	Ngaf	Nover	Ngaf	Nover	Nvr	
Z-aug-SF	J	3752	135	239	43	374	279	95	261	113	25.8	0.0
		4294	135	239	43	374	279	95	278	96	12.3	1.6
		5344	135	239	43	374	279	95	282	92	28.1	4.2
		5724	135	239	43	374	279	95	279	95	10.4	2.4
		6063	135	239	43	374	279	95	282	92	11.5	2.9
	<i>Gem</i>		<i>135</i>	<i>239</i>	<i>43</i>	<i>374</i>	<i>279</i>	<i>95</i>	<i>276</i>	<i>98</i>	<i>17.6</i>	<i>2.2</i>
Z-SF	K	3752	170	286	0	456	359	97	288	168	28.2	-2.4
		4294	170	286	0	456	359	97	330	126	12.0	1.9
		5344	170	286	0	456	359	97	336	120	26.1	6.1
		5724	170	286	0	456	359	97	339	117	9.0	3.7
		6063	170	286	0	456	359	97	349	107	9.4	5.0
	<i>Gem</i>		<i>170</i>	<i>286</i>	<i>0</i>	<i>456</i>	<i>359</i>	<i>97</i>	<i>328</i>	<i>128</i>	<i>16.9</i>	<i>2.9</i>
K-Stdrrd	L	2275	188	300	74	488	349	139	323	165	14.1	
		4566	188	300	74	488	349	139	322	166	19.0	
	<i>Gem</i>		<i>188</i>	<i>300</i>	<i>74</i>	<i>488</i>	<i>349</i>	<i>139</i>	<i>322</i>	<i>166</i>	<i>16.6</i>	
K-Buf5% Beweide buffer	W	2275	0	72	10	72	95	-22	106	-34	8.2	5.9
		4566	0	72	10	72	95	-22	106	-34	15.6	3.5
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>72</i>	<i>10</i>	<i>72</i>	<i>95</i>	<i>-22</i>	<i>106</i>	<i>-34</i>	<i>11.9</i>	<i>4.7</i>
K-Buf5% onbemest	Y	2275	0	0	0	0	95	-95	54	-54	7.6	6.5
		4566	0	0	0	0	95	-95	55	-55	15.1	4.0
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>95</i>	<i>-95</i>	<i>55</i>	<i>-55</i>	<i>11.3</i>	<i>5.2</i>
K-Buf10% niet buffer	T	2275	182	309	74	491	361	130	322	169	14.2	0.0
		4566	182	309	74	491	361	130	321	170	19.0	0.0
	<i>Gem</i>		<i>182</i>	<i>309</i>	<i>74</i>	<i>491</i>	<i>361</i>	<i>130</i>	<i>321</i>	<i>170</i>	<i>16.6</i>	<i>0.0</i>
K-Buf10% gem. wel/niet buffer	M	2275	164	285	74	449	334	115	300	149	13.5	0.6
		4566	164	285	74	449	334	115	298	151	18.7	0.4
	<i>Gem</i>		<i>164</i>	<i>285</i>	<i>74</i>	<i>449</i>	<i>334</i>	<i>115</i>	<i>299</i>	<i>150</i>	<i>16.1</i>	<i>0.5</i>

Scenario-code		Plot	Bemesting				BBPR		ANIMO			Verschil Nvr met ref
BBPR	ANIMO ²³		Nkm	Ndm	Nw	Ntot	Ngaf	Nover	Ngaf	Nover	Nvr	
K-SF	N	2275	195	333	0	528	393	135	310	218	14.7	-0.6
		4566	195	333	0	528	393	135	306	222	19.1	-0.1
	<i>Gem</i>		<i>195</i>	<i>333</i>	<i>0</i>	<i>528</i>	<i>393</i>	<i>135</i>	<i>308</i>	<i>220</i>	<i>16.9</i>	<i>-0.3</i>
V-Stdrrd	P	3423	151	264	118	415	280	135	354	61	5.2	
V-Buf10% onbemest	Z	3423	0	0	0	0	176	-176	132	-132	1.9	3.4
V-Buf10% beweide buf	i	3423	0	115	50	115	176	-61	198	-83	3.1	2.1
V-Buf20% niet buffer	U	3423	139	280	114	419	276	143	352	67	5.2	0.0
V-Buf20%g, wel/niet buf	Q	3423	111	247	114	358	256	102	319	39	4.7	0.5
V-SF	R	3423	164	306	0	470	379	91	362	108	5.0	0.2

Tabel 1.4 **Fosfor gras**: P-bemesting met kunstmest (km) en dierlijke mest (dm), P-afvoer met gras (gaf) en P-overschot volgens BBPR en ANIMO, en P-vracht (vr) naar het oppervlaktewater volgens ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in kg.ha⁻¹.jr⁻¹ P).

Scenario-code		Plot	Gelijke bemesting				BBPR		ANIMO			Verschil Pvr met ref
BBPR	ANIMO		Pkm	Pdm	Pw	Ptot	Pgaf	Pover	Pgaf	Pover	Pvr ²²	
Z-Stdnd	i ¹³	3752	0	31	10	31	36	-5	33	-2	2.29	0.00
		4294	0	31	10	31	36	-5	33	-2	1.28	0.00
		5344	0	31	10	31	36	-5	33	-2	1.90	0.00
		5724	0	31	10	31	36	-5	33	-2	0.72	0.00
		6063	0	31	10	31	36	-5	33	-2	0.61	0.00
	Gem		0	31	10	31	36	-5	33	-2	1.36	0.00
Z-Buf5% beweide buffer	V	3752	0	10	4	10	21	-11	16	-6	1.94	0.35
		4294	0	10	4	10	21	-11	16	-6	1.10	0.18
		5344	0	10	4	10	21	-11	16	-6	1.64	0.25
		5724	0	10	4	10	21	-11	16	-6	0.67	0.05
		6063	0	10	4	10	21	-11	16	-6	0.59	0.03
	Gem		0	10	4	10	21	-11	16	-6	1.19	0.17
Z-Buf5% Onbemest	X	3752	0	0	0	0	21	-21	12	-12	1.75	0.54
		4294	0	0	0	0	21	-21	12	-12	0.99	0.30
		5344	0	0	0	0	21	-21	12	-12	1.57	0.33
		5724	0	0	0	0	21	-21	12	-12	0.62	0.09
		6063	0	0	0	0	21	-21	12	-12	0.55	0.07
	Gem		0	0	0	0	21	-21	12	-12	1.10	0.26
Buf10%- onbeweid wel/niet buffer	H	3752	0	29	10	29	34	-4	32	-2	2.33	-0.04
		4294	0	29	10	29	34	-4	32	-2	1.31	-0.03
		5344	0	29	10	29	34	-4	32	-2	1.91	-0.01
		5724	0	29	10	29	34	-4	32	-2	0.73	-0.01
		6063	0	29	10	29	34	-4	32	-2	0.62	-0.01
	Gem		0	29	10	29	34	-4	32	-2	1.38	-0.02

Scenario-code		Plot	Gelijke bemesting				BBPR		ANIMO			Verschil Pvr met ref
BBPR	ANIMO		Pkm	Pdm	Pw	Ptot	Pgaf	Pover	Pgaf	Pover	Pvr ²²	
Buf10%-onbeweid niet buffer	I	3752	0	33	11	33	35	-3	34	-1	2.27	0.03
		4294	0	33	11	33	35	-3	34	-1	1.27	0.01
		5344	0	33	11	33	35	-3	34	-1	1.88	0.02
		5724	0	33	11	33	35	-3	33	-1	0.72	0.00
		6063	0	33	11	33	35	-3	33	-1	0.61	0.00
		<i>Gem</i>	<i>0</i>	<i>33</i>	<i>11</i>	<i>33</i>	<i>35</i>	<i>-3</i>	<i>34</i>	<i>-1</i>	<i>1.35</i>	<i>0.01</i>
Z-Buf10% maf, gem. wel/niet buffer	I	3752	0	27	10	27	35	-8	32	-5	2.21	0.09
		4294	0	27	10	27	35	-8	32	-5	1.23	0.05
		5344	0	27	10	27	35	-8	32	-5	1.87	0.03
		5724	0	27	10	27	35	-8	32	-5	0.69	0.03
		6063	0	27	10	27	35	-8	32	-5	0.59	0.02
		<i>Gem</i>	<i>0</i>	<i>27</i>	<i>10</i>	<i>27</i>	<i>35</i>	<i>-8</i>	<i>32</i>	<i>-5</i>	<i>1.32</i>	<i>0.04</i>
Z-Buf10% maf, niet buffer	S	3752	0	29	10	29	37	-8	34	-5	2.24	0.05
		4294	0	29	10	29	37	-8	34	-5	1.25	0.04
		5344	0	29	10	29	37	-8	33	-5	1.90	0.00
		5724	0	29	10	29	37	-8	33	-4	0.70	0.02
		6063	0	29	10	29	37	-8	33	-5	0.59	0.02
		<i>Gem</i>	<i>0</i>	<i>29</i>	<i>10</i>	<i>29</i>	<i>37</i>	<i>-8</i>	<i>33</i>	<i>-5</i>	<i>1.33</i>	<i>0.03</i>
Z-aug-SF	J	3752	0	38	6	38	40	-2	37	2	2.45	-0.15
		4294	0	38	6	38	40	-2	36	2	1.38	-0.09
		5344	0	38	6	38	40	-2	36	2	1.95	-0.05
		5724	0	38	6	38	40	-2	36	2	0.76	-0.05
		6063	0	38	6	38	40	-2	36	2	0.65	-0.04
		<i>Gem</i>	<i>0</i>	<i>38</i>	<i>6</i>	<i>38</i>	<i>40</i>	<i>-2</i>	<i>36</i>	<i>2</i>	<i>1.44</i>	<i>-0.08</i>

Scenario-code		Plot	Gelijke bemesting				BBPR		ANIMO			Verschil Pvr met ref
BBPR	ANIMO		Pkm	Pdm	Pw	Ptot	Pgaf	Pover	Pgaf	Pover	Pvr ²²	
Z-SF	K	3752	0	46	0	46	50	-4	42	4	2.53	-0.23
		4294	0	46	0	46	50	-4	42	4	1.42	-0.14
		5344	0	46	0	46	50	-4	42	4	1.99	-0.09
		5724	0	46	0	46	50	-4	42	4	0.78	-0.07
		6063	0	46	0	46	50	-4	42	4	0.67	-0.05
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>46</i>	<i>0</i>	<i>46</i>	<i>50</i>	<i>-4</i>	<i>42</i>	<i>4</i>	<i>1.48</i>	<i>-0.12</i>
K-Stdrrd	L	2275	0	45	10	45	49	-4	42	3	0.65	0.00
		4566	0	45	10	45	49	-4	42	3	17.03	0.00
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>45</i>	<i>10</i>	<i>45</i>	<i>49</i>	<i>-4</i>	<i>42</i>	<i>3</i>	<i>8.84</i>	<i>0.00</i>
K-Buf5% Beweide buffer	W	2275	0	10	2	10	21	10	21	-11	0.41	0.24
		4566	0	10	2	10	21	10	21	-11	16.87	0.16
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>10</i>	<i>2</i>	<i>10</i>	<i>21</i>	<i>10</i>	<i>21</i>	<i>-11</i>	<i>8.64</i>	<i>0.20</i>
K-Buf5% onbemest	Y	2275	0	0	0	0	21	-21	16	-16	0.35	0.30
		4566	0	0	0	0	21	-21	16	-16	16.83	0.19
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>21</i>	<i>-21</i>	<i>16</i>	<i>-16</i>	<i>8.59</i>	<i>0.25</i>
K-Buf10% niet buffer	T	2275	0	49	10	49	51	-2	42	8	0.67	-0.02
		4566	0	49	10	49	51	-2	42	8	17.04	-0.01
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>49</i>	<i>10</i>	<i>49</i>	<i>51</i>	<i>-2</i>	<i>42</i>	<i>8</i>	<i>8.85</i>	<i>-0.01</i>
K-Buf10% gem. wel/ niet buffer	M	2275	0	45	10	45	48	-3	41	4	0.65	0.00
		4566	0	45	10	45	48	-3	41	4	17.03	0.00
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>45</i>	<i>10</i>	<i>45</i>	<i>48</i>	<i>-3</i>	<i>41</i>	<i>4</i>	<i>8.84</i>	<i>0.00</i>
K-SF	N	2275	0	49	0	49	52	-4	46	2	0.62	0.03
		4566	0	49	0	49	52	-4	46	2	16.98	0.04
	<i>Gem</i>		<i>0</i>	<i>49</i>	<i>0</i>	<i>49</i>	<i>52</i>	<i>-4</i>	<i>46</i>	<i>2</i>	<i>8.80</i>	<i>0.04</i>
V-Stdrrd	P	3423	0	39	15	39	38	2	44	-5	1.00	0.00
V-Buf10% Onbemest	Z	3423	0	0	0	0	30	-30	25	-25	0.77	0.23

Scenario-code		Plot	Gelijke bemesting				BBPR		ANIMO			Verskil Pvr met ref
BBPR	ANIMO		Pkm	Pdm	Pw	Ptot	Pgaf	Pover	Pgaf	Pover	Pvr ²²	
V-Buf10% beweide buf	i	3423	0	15	6	15	30	-15	30	-15	0.87	0.13
V-Buf20% niet buffer	Q	3423	0	45	15	45	37	8	44	1	1.04	-0.04
V-Buf20%, gem.wel/ niet buffer	U	3423	0	39	15	39	36	3	42	-3	1.06	-0.05
V-SF	R	3423	0	46	0	46	48	-1	49	-3	0.96	0.04

Tabel 1.5 Stikstof maïs: N-bemesting met kunstmest (km) en dierlijke mest (dm), N-afvoer (gaf) en -overschot (over) van maïs volgens ANIMO en BBPR, en N-vracht (vr) naar het oppervlaktewater van ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in kg.ha⁻¹.jr⁻¹ N).

Scenario-code		Gelijke bemesting				BBPR		ANIMO			Verschil Nvr met ref
BBPR	ANIMO	Plot	Nkm	Ndm	Ntot	Ngaf	Nover	Ngaf	Nover	Nvr	
Z-Stdnd		2773	78	121	198	173	25	153	45	10.8	0.0
		3176	78	121	198	173	25	146	52	11.6	0.0
		5346	78	121	198	173	25	158	40	35.9	0.0
		5626	78	121	198	173	25	158	41	11.0	0.0
	Gem		78	121	198	173	25	154	45	17.31	0.00
Z-Buf10%-nbew_nietbuf	A	2773	70	134	204	173	31	153	51	10.7	0.1
		3176	70	134	204	173	31	145	59	11.8	-0.3
		5346	70	134	204	173	31	159	45	35.7	0.1
		5626	70	134	204	173	31	158	46	11.2	-0.1
	Gem		70	134	204	173	31	154	50	17.35	-0.04
Z-Buf10%-maf-wel niet buffer	B	2773	93	95	188	173	15	153	35	11.0	-0.3
		3176	93	95	188	173	15	147	41	11.3	0.3
		5346	93	95	188	173	15	156	32	36.3	-0.4
		5626	93	95	188	173	15	156	32	10.8	0.2
	Gem		93	95	188	173	15	153	35	17.36	-0.05
Z-SF	C	2773	70	133	203	173	30	153	50	10.6	0.1
		3176	70	133	203	173	30	145	58	11.8	-0.2
		5346	70	133	203	173	30	159	45	35.7	0.2
		5626	70	133	203	173	30	158	45	11.1	-0.1
	Gem		70	133	203	173	30	154	50	17.32	-0.01
K-Stdnd	D	2832	125	63	188	174	14	154	34	8.4	0.0
K-SF	E	2832	56	189	245	174	71	167	78	9.4	-1.0
V-Stdnd		1888	112	87	199	131	68	142	57	20.2	0.0
V-Buf20%-niet buffer	F	1888	108	89	197	131	66	141	56	20.4	-0.1
V-SF	G	1888	54	193	247	131	116	147	100	31.3	-11.0

Tabel 1.6 **Fosfor maïs**: P-bemesting met kunstmest (km) en dierlijke mest (dm), P-gewasafvoer (gaf) en -overschot van maïs volgens ANIMO en BBPR, en P-vracht (vr) naar het oppervlaktewater volgens ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in kg.ha⁻¹.jr⁻¹ P).

Scenario-code		Gelijke bemesting				BBPR		ANIMO			verschil
BBPR	ANIMO	Plot	Pkm	Pdm	Ptot	Pgaf	Pover	Pgaf	Pover	Pvr ²²	Pvr-ref
Z-Stdrrd		2773	0	19	19	27	-8	26	-7	0.58	0.00
		3176	0	19	19	27	-8	26	-7	1.40	0.00
		5346	0	19	19	27	-8	26	-7	2.44	0.00
		5626	0	19	19	27	-8	26	-7	1.87	0.00
	Gem		0	19	19	27	-8	26	-7	1.57	0.00
Bufl0%-nbew_nietbuf	A	2773	0	22	22	27	-5	26	-4	0.60	-0.02
		3176	0	22	22	27	-5	26	-4	1.46	-0.05
		5346	0	22	22	27	-5	26	-4	2.44	0.00
		5626	0	22	22	27	-5	26	-4	1.92	-0.05
	Gem		0	22	22	27	-5	26	-4	1.60	-0.03
Z-Bufl0%-maf-wnbuf	B	2773	0	15	15	27	-12	26	-11	0.56	0.03
		3176	0	15	15	27	-12	26	-11	1.33	0.07
		5346	0	15	15	27	-12	26	-11	2.44	0.00
		5626	0	15	15	27	-12	26	-11	1.80	0.07
	Gem		0	15	15	27	-12	26	-11	1.53	0.04
Z-SF	C	2773	0	20	20	27	-7	26	-6	0.59	-0.01
		3176	0	20	20	27	-7	26	-6	1.43	-0.03
		5346	0	20	20	27	-7	26	-6	2.44	0.00
		5626	0	21	21	27	-7	26	-6	1.89	-0.02
	Gem		0	20	20	27	-7	26	-6	1.59	-0.01
K-Stdrrd K-SF V-Stdrrd V-Bufl20%-nietbuf V-SF	D		0	9	9	27	-18	31	-22	0.15	0.00
	E		0	26	26	27	-1	31	-5	0.16	-0.01
			0	12	12	21	-8	25	-13	5.76	0.00
	F		0	13	13	21	-7	25	-12	5.84	-0.08
	G		0	25	25	21	5	25	0	6.98	-1.22

Bijlage 2: Resultaten melkveehouderij

Tabel 2.1. Bedrijfseconomische resultaten van de berekeningen met BBPR $\text{€}.\text{ha}^{-1}$ voor zandgrond, bufferstroken:

scenario Z-Stdnd standaard, beperkt weiden

scenario Z-Buf5% 5% buffer, maïsbuffer niet beweide, grasbuffer wel beweide

scenario Z-Buf10% 10% buffer, maïsbuffer niet beweide, grasbuffer wel beweide

scenario Z-Buf10%-nbew 10% buffer, maïsbuffer en grasbuffer niet beweide

scenario Z-Buf10%-maf 10% buffer, maïsbuffer niet beweide, grasbuffer wel beweide, mest van buffer afgevoerd totaal

areaal 32.1 ha

Scenario	Z-Stdnd	Z-Buf5%	Z-Buf10%	Z-Buf10% -nbew	Z-Buf10% -maf
Beweidingsstelsysteem	beperkt	Beperkt	beperkt	beperkt	beperkt
bufferstroken gras, % van grasareaal	0	5%	10%	10%	10%
bufferstroken maïs, % van maïsareaal	0	5%	10%	10%	10%
beweidings bufferstroken gras	nvt	Ja	ja	nee	ja
beweidings bufferstroken maïs	nvt	Nee	nee	nee	nee
extra mestafvoer, kg N ha^{-1}	0	0	0	0	25
arbeidsopbrengst $\text{€}.\text{ha}^{-1}.\text{j}^{-1}$	299	287	256	245	192
arbeidsopbrengst, verschil met standaard $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	0	-12	-43	-55	-107
arbeidsopbrengst €	9588	9219	8231	7850	6155
arbeidsopbrengst, verschil met standaard €	0	369	-1357	-1738	-3433
afzet mest $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	15	15	15	16	23
kosten mestafzet $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	120	121	121	124	184
voerkosten $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	802	824	861	869	861
ruwvoer $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	375	388	405	441	405
krachtvoer $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	238	241	255	214	255
inkuilen aankoop voer $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	141	145	152	165	152
kosten kunstmest $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	75	71	67	73	86
kosten loonwerk $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	450	446	445	438	427
uitrijden mest $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$	42	42	42	41	34
kosten uitrijden mest $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	95	95	96	93	79
kosten loonwerk voederwinning $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	109	113	120	117	120
brandstof $\text{€}.\text{ha}^{-1}$	32	32	33	33	33

Tabel 2.2. resultaten berekeningen met BBPR voor stikstof in $\text{kg ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$ voor zandgrond, bufferstroken

Scenario	Z-Std	Z-Buf5%	Z-Buf10%	Z-Buf10% -nbew	Z-Buf10% -maf
Toegediend gras:					
N drm gras werkzaam					
N drm gras werkzaam niet buffer	53	56	61	54	49
N drm gras werkzaam buffer beweide		0	0		0
N drm gras werkzaam buffer niet beweide		0	0	0	0
N km gras					
N km gras niet buffer	133	130	128	131	140
N km gras buffer beweide		0	0		0
N km gras buffer niet beweide		0	0	0	0
N totaal werkzaam gras					
N totaal werkzaam gras niet buffer	185	186	189	185	189
N totaal werkzaam gras buffer beweide		0	0		0
N totaal werkzaam gras buffer niet beweide		0	0	0	0
N drm gras totaal (incl weidemest)					
N drm gras tot (incl wmst) niet buffer	200	207	216	208	192
N drm gras tot (incl wmst) buffer beweide		74	72		72
N drm gras tot (incl wmst) buffer niet beweide		0	0	0	0
N gras weidemest					
N gras wmst niet buffer	75	74	72	73	72
N gras wmst buffer beweide		74	72		72
N gras wmst buffer niet beweide		0	0	0	0
N aanvoer gras					
N aanvoer gras niet buffer	333	337	343	339	332
N aanvoer gras buffer beweide		74	72		72
N aanvoer gras buffer niet beweide		0	0	0	0
N opname gras					
N opname gras niet buffer	240	244	247	236	247
N opname gras buffer beweide		95	95		95
N opname gras buffer niet beweide		95	95	95	95
N overschot gras					
N overschot gras niet buffer	93	93	96	103	86
N overschot gras buffer beweide		-20	-23		-23
N overschot gras buffer niet beweide		-95	-95	-95	-95
Toegediend maïs:					
N drm maïs werkzaam	70	71	74	77	55
N km maïs	78	77	74	70	93
N totaal werkzaam maïs	147	148	148	147	147
N drm maïs totaal	121	123	128	134	95
N aanvoer maïs	199	200	202	204	188
N opname maïs	173	173	173	173	173
N overschot maïs	26	26	29	31	14
Toegediend percelen bedrijf:					
N drm bedrijf werkzaam	58	57	59	55	46
N km bedrijf	117	108	100	101	113
N totaal werkzaam bedrijf	175	166	159	157	159
N drm bedrijf totaal (excl weidemest)	124	123	125	118	102
N drm bedrijf totaal (incl weidemest)	176	175	175	167	152
N aanvoer percelen bedrijf	293	283	275	268	265
N opname bedrijf	220	216	212	205	212
N overschot percelen bedrijf	72	67	64	64	53

Tabel 2.3. resultaten berekeningen met BBPR voor fosfaat (P_2O_5) in $kg\cdot ha^{-1}\cdot j^{-1}$ voor zandgrond, bufferstroken.

NB: berekend zonder aanvullende kunstmestgift.

drm: dunne rundermest

scenario	Z-Std	Z-Buf5%	Z-Buf10%	Z-Buf10% -nbew	Z-Buf10% -maf
Toegediend gras:					
P_2O_5 totaal gras (incl weidemest)					
P_2O_5 tot gras (incl wmst) niet buffer	71	73	73	75	66
P_2O_5 tot gras (incl wmst) buffer beweide		24	23		23
P_2O_5 tot gras (incl wmst) buffer niet beweide	0	0	0	0	0
P_2O_5 gras weidemest					
P_2O_5 gras wmst niet buffer	24	24	23	25	23
P_2O_5 gras wmst buffer beweide		24	23		23
P_2O_5 gras wmst buffer niet beweide		0	0	0	0
P_2O_5 opname gras					
P_2O_5 opname gras niet buffer	82	84	84	80	84
P_2O_5 opname gras buffer beweide		48	48	48	48
P_2O_5 opname gras buffer niet beweide		48	48	48	48
P_2O_5 overschot gras					
P_2O_5 overschot gras niet buffer	-11	-8	-6	-6	-14
P_2O_5 overschot gras buffer beweide		-25	-25		-25
P_2O_5 overschot gras buffer niet beweide		-48	-48	-48	-48
Toegediend maïs:					
P_2O_5 drm maïs	44	45	48	50	35
P_2O_5 opname maïs	62	62	62	62	62
P_2O_5 overschot maïs	-18	-17	-14	-12	-27
Toegediend percelen bedrijf:					
P_2O_5 drm bedrijf totaal (exc weidemest)	46	47	48	45	39
P_2O_5 totaal bedrijf (incl weidemest)	63	64	64	61	55
P_2O_5 opname percelen bedrijf	76	76	74	72	74
P_2O_5 overschot percelen bedrijf	-13	-12	-10	-11	-19

Tabel 2.4. Bedrijfseconomische resultaten van de berekeningen met BBPR $\text{€}\cdot ha^{-1}\cdot j^{-1}$ voor kleigrond, bufferstroken

scenario K-Std standaard, beperkt weiden

scenario K-Buf5% 5% buffer, maïsbuffer niet beweide, grasbuffer wel beweide

scenario K-Buf5% 10% buffer, maïsbuffer niet beweide, grasbuffer wel beweide

Totaal areaal 41.8 ha.

NB: K-Buf10% gecorrigeerd voor te hoog herinzaai%: loonwerk en poot/plant/zaaigoed.

Scenario	K-Std	K-Buf5%	K-Buf10%
Beweidingsstelsel	beperkt	Beperkt	beperkt
bufferstroken gras, % van grasareaal	0	5%	10%
bufferstroken maïs, % van maïsareaal	0	5%	10%
beweidings bufferstroken gras	nvt	ja	ja
beweidings bufferstroken maïs	nvt	nee	nee
extra mestafvoer	0	0	0
arbeidsopbrengst $\text{€}\cdot ha^{-1}$	750	751	739
arbeidsopbrengst, verschil met standaard (K-Std) $\text{€}\cdot ha^{-1}$	0	1	-11
arbeidsopbrengst €	31339	31398	30907
arbeidsopbrengst, verschil met standaard (K-Std) €	0	+59	-432
afzet mest $m^3\cdot ha^{-1}$	3	3	3
kosten mestafzet $\text{€}\cdot ha^{-1}$	26	26	26
voerkosten $\text{€}\cdot ha^{-1}$ (minus evt verkoop ruwvoer)	358	362	382
ruwvoer $\text{€}\cdot ha^{-1}$	3	5	21
krachtvoer $\text{€}\cdot ha^{-1}$	315	317	322
inkuilen aankoop voer $\text{€}\cdot ha^{-1}$	9	9	9
kosten kunstmest $\text{€}\cdot ha^{-1}$	143	136	128
kosten loonwerk $\text{€}\cdot ha^{-1}$	490	492	491
uitrijden mest $m^3\cdot ha^{-1}$	43	43	43
kosten uitrijden mest $\text{€}\cdot ha^{-1}$	104	104	104
kosten loonwerk voederwinning $\text{€}\cdot ha^{-1}$	272	274	273
brandstof $\text{€}\cdot ha^{-1}$	57	57	56

Tabel 2.5. resultaten berekeningen met BBPR voor stikstof in $\text{kg.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}$ voor kleigrond, bufferstroken.

Scenario	K-Stdnd	K-Buf5%	K-Buf10%
Toegediend gras:			
N drm gras werkzaam			
<i>N drm gras werkzaam niet buffer</i>	100	104	109
<i>N drm gras werkzaam buffer beweide</i>		0	0
<i>N drm gras werkzaam buffer niet beweide</i>		0	0
N km gras			
<i>N km gras niet buffer</i>	188	184	182
<i>N km gras buffer beweide</i>		0	0
<i>N km gras buffer niet beweide</i>		0	0
N totaal werkzaam gras			
<i>N totaal werkzaam gras niet buffer</i>	288	288	291
<i>N totaal werkzaam gras buffer beweide</i>		0	0
<i>N totaal werkzaam gras buffer niet beweide</i>		0	0
N drm gras totaal (incl weidemest)			
<i>N drm gras tot (incl wmst) niet buffer</i>	300	297	309
<i>N drm gras tot (incl wmst) buffer beweide</i>		73	74
<i>N drm gras tot (incl wmst) buffer niet beweide</i>		0	0
N gras weidemest			
<i>N gras wmst niet buffer</i>	74	73	74
<i>N gras wmst buffer beweide</i>		73	74
<i>N gras wmst buffer niet beweide</i>		0	0
N aanvoer gras			
<i>N aanvoer gras niet buffer</i>	300	297	309
<i>N aanvoer gras buffer beweide</i>		73	74
<i>N aanvoer gras buffer niet beweide</i>		0	0
N opname gras			
<i>N opname gras niet buffer</i>	349	357	361
<i>N opname gras buffer beweide</i>		47	48
<i>N opname gras buffer niet beweide</i>		95	95
N overschot gras			
<i>N overschot gras niet buffer</i>	139	124	130
<i>N overschot gras buffer beweide</i>		-21	-21
<i>N overschot gras buffer niet beweide</i>		-95	-95
Toegediend maïs:			
N drm maïs werkzaam	35	35	42
N km maïs	125	125	118
N totaal werkzaam maïs	160	160	160
N drm maïs totaal	63	60	72
N aanvoer maïs	188	185	190
N opname maïs	174	174	174
N overschot maïs	14	11	16
Toegediend percelen bedrijf:			
N drm bedrijf werkzaam	93	90	89
N km bedrijf	181	170	159
N totaal werkzaam bedrijf	275	260	248
N drm bedrijf totaal (excl weidemest)	209	195	194
N drm bedrijf totaal (incl weidemest)	275	260	260
N aanvoer percelen bedrijf	456	430	419
N opname bedrijf	331	324	315
N overschot percelen bedrijf	126	106	104

Tabel 2.6. Resultaten berekeningen met BBPR voor fosfaat (P_2O_5) in $kg\ ha^{-1}\cdot j^{-1}$ voor kleigrond, bufferstroken.

NB: berekend zonder aanvullende kunstmestgift.

drm: dunne rundermest

Scenario	K-Stdnd	K-Buf5%	K-Buf10%
Toegediend gras:			
P_2O_5 totaal gras (incl weidemest)			
P_2O_5 tot gras (incl wmst) niet buffer	103	108	113
P_2O_5 tot gras (incl wmst) buffer beweide		23	23
P_2O_5 tot gras (incl wmst) buffer niet beweide		0	0
P_2O_5 gras weidemest			
P_2O_5 gras wmst niet buffer	22	23	23
P_2O_5 gras wmst buffer beweide		23	23
P_2O_5 wmst buffer niet beweide		0	0
P_2O_5 opname gras			
P_2O_5 opname gras niet buffer	113	116	117
P_2O_5 opname gras buffer beweide		47	48
P_2O_5 opname gras buffer niet beweide		47	48
P_2O_5 overschot gras			
P_2O_5 overschot gras niet buffer	-10	-8	-4
P_2O_5 overschot gras buffer beweide		-24	-25
P_2O_5 overschot gras buffer niet beweide		-47	-48
Toegediend maïs:			
P_2O_5 drm maïs	21	22	27
P_2O_5 opname maïs	62	62	62
P_2O_5 overschot maïs	-41	-40	-35
Toegediend percelen bedrijf:			
P_2O_5 drm bedrijf totaal (exc weidemest)	75	75	75
P_2O_5 totaal bedrijf (incl weidemest)	94	95	95
P_2O_5 opname percelen bedrijf	108	107	104
P_2O_5 overschot percelen bedrijf	-13	-12	-10

Tabel 2.7. Bedrijfseconomische resultaten van de berekeningen met BBPR €·ha⁻¹·j⁻¹ voor veengrond, bufferstroken

scenario V-Stdtd standaard, onbeperkt weiden

scenario V-Buf10% 10% buffer, maïsbuffer niet beweide, grasbuffer wel beweide

scenario V-Buf20% 30% buffer, maïsbuffer niet beweide, grasbuffer wel beweide

Totaal areaal 39,3 ha

Scenario	V-Stdtd	V-Buf10%	V-Buf20%
Beweidingsstelsel	onbeperkt	onbeperkt	onbeperkt
Bufferstroken gras, % van grasareaal	0	5%	10%
Bufferstroken maïs, % van maïsareaal	0	5%	10%
beweidings bufferstroken gras	nvt	ja	ja
beweidings bufferstroken maïs	nvt	nec	nec
extra mestafvoer	0	0	0
arbeidsopbrengst €·ha ⁻¹	259	262	255
arbeidsopbrengst, verschil met standaard (V-Stdtd) €·ha ⁻¹	0	+3	-4
arbeidsopbrengst €	10188	10281	10036
arbeidsopbrengst, verschil met standaard (V-Stdtd) €	0	+93	-152
afzet mest m ³ ·ha ⁻¹	0	0	0
kosten mestafzet €·ha ⁻¹	0	0	0
voerkosten €·ha ⁻¹	566	580	616
ruwvoer €·ha ⁻¹	208	232	263
krachtvoer €·ha ⁻¹	251	242	237
inkuilen aankoop voer €·ha ⁻¹	73	78	89
kosten kunstmest €·ha ⁻¹	118	109	95
kosten loonwerk €·ha ⁻¹	349	338	321
uitrijden mest m ³ ·ha ⁻¹	36	36	36
kosten uitrijden mest €·ha ⁻¹	86	86	85
kosten loonwerk voederwinning €·ha ⁻¹	187	178	161
brandstof €·ha ⁻¹	46	46	44

Tabel 2.8. resultaten berekeningen met BBPR voor stikstof in $\text{kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ voor veengrond, bufferstroken.

Scenario	V-Stdrd	V-Buf10%	V-Buf20%
Toegediend gras:			
N drm gras werkzaam			
<i>N drm gras werkzaam niet buffer</i>	60	65	72
<i>N drm gras werkzaam buffer beweide</i>		0	0
<i>N drm gras werkzaam buffer niet beweide</i>		0	0
N km gras			
<i>N km gras niet buffer</i>	151	148	139
<i>N km gras buffer beweide</i>		0	0
<i>N km gras buffer niet beweide</i>		0	0
N totaal werkzaam gras			
<i>N totaal werkzaam gras niet buffer</i>	211	213	211
<i>N totaal werkzaam gras buffer beweide</i>		0	0
<i>N totaal werkzaam gras buffer niet beweide</i>		0	0
N drm gras totaal (incl weidemest)			
<i>N drm gras tot (incl wmst) niet buffer</i>	264	267	280
<i>N drm gras tot (incl wmst) buffer beweide</i>		115	114
<i>N drm gras tot (incl wmst) buffer niet beweide</i>		0	0
N gras weidemest			
<i>N gras wmst niet buffer</i>	118	115	114
<i>N gras wmst buffer beweide</i>		115	114
<i>N gras wmst buffer niet beweide</i>		0	0
N aanvoer gras			
<i>N aanvoer gras niet buffer</i>	415	415	419
<i>N aanvoer gras buffer beweide</i>		115	114
<i>N aanvoer gras buffer niet beweide</i>		0	0
N opname gras			
<i>N opname gras niet buffer</i>	280	281	276
<i>N opname gras buffer beweide</i>		176	176
<i>N opname gras buffer niet beweide</i>		176	176
N overschot gras			
<i>N overschot gras niet buffer</i>	135	134	143
<i>N overschot gras buffer beweide</i>		-61	-61
<i>N overschot gras buffer niet beweide</i>		-176	-176
Toegediend maïs:			
N drm maïs werkzaam	48	48	52
N km maïs	112	112	108
N totaal werkzaam maïs	160	160	160
N drm maïs totaal	87	82	89
N aanvoer maïs	199	194	197
N opname maïs	131	131	131
N overschot maïs	68	63	66
Toegediend percelen bedrijf:			
N drm bedrijf werkzaam	59	57	54
N km bedrijf	149	132	112
N totaal werkzaam bedrijf	208	189	166
N drm bedrijf totaal (excl weidemest)	143	133	128
N drm bedrijf totaal (incl weidemest)	254	241	234
N aanvoer percelen bedrijf	403	373	346
N opname bedrijf	271	262	248
N overschot percelen bedrijf	131	110	99

Tabel 2.9. resultaten berekeningen met BBPR voor fosfaat (P_2O_5) in $kg\cdot ha^{-1}\cdot j^{-1}$ voor veengrond, bufferstroken.

NB: berekend zonder aanvullende kunstmestgift.

drm: dunne rundermest

Scenario	V-Stdnd	V-Buf10%	V-Buf20%
Toegediend gras:			
P_2O_5 totaal gras (incl weidemest)			
P_2O_5 tot gras (incl wmst) niet buffer	90	96	103
P_2O_5 tot gras (incl wmst) buffer		35	35
P_2O_5 tot gras (incl wmst) buffer		0	0
P_2O_5 gras weidemest			
P_2O_5 gras wmst niet buffer	35	35	35
P_2O_5 gras wmst buffer beweide		35	35
P_2O_5 wmst buffer niet beweide		0	0
P_2O_5 opname gras			
P_2O_5 opname gras niet buffer	86	87	85
P_2O_5 opname gras buffer		69	69
P_2O_5 opname gras buffer		69	69
P_2O_5 overschot gras			
P_2O_5 overschot gras niet buffer	4	9	18
P_2O_5 overschot gras buffer		-34	-34
P_2O_5 overschot gras buffer		-69	-69
Toegediend maïs:			
P_2O_5 drm maïs	28	29	30
P_2O_5 opname maïs	47	47	47
P_2O_5 overschot maïs	-19	-18	-17
Toegediend percelen bedrijf:			
P_2O_5 drm bedrijf totaal (exc weidemest)	53	54	53
P_2O_5 totaal bedrijf (incl weidemest)	86	86	85
P_2O_5 opname percelen bedrijf	84	83	80
P_2O_5 overschot percelen bedrijf	3	3	5

Tabel 2.10. Bedrijfseconomische resultaten berekeningen BBPR $€\cdot ha^{-1}\cdot j^{-1}$ voor zandgrond, alternatieve maatregelen.

scenario Z-Stdnd standaard, beperkt weiden

scenario Z-aug-SF summerfeeding per 1 aug

scenario Z-SF summerfeeding hele jaar

Totaal areaal 32.1 ha

scenario	Z-Stdnd	Z-aug-SF	Z-SF
beweidingsstelsel	beperkt	beperkt tot 1-8, summerfeeding v.a. 1-8	summerfeeding
arbeidsopbrengst $€\cdot ha^{-1}$	299	83	-60
arbeidsopbrengst, verschil met standaard (Z-Stdnd) $€\cdot ha^{-1}$	0	-215	-359
arbeidsopbrengst $€$	9588	2675	-1917
arbeidsopbrengst, verschil met standaard (Z-Stdnd) $€$	0	-6913	-11505
afzet mest $m^3\cdot ha^{-1}$	15	13	13
kosten mestafzet $€\cdot ha^{-1}$	120	107	100
voerkosten $€\cdot ha^{-1}$	802	808	650
ruwvoer $€\cdot ha^{-1}$	375	285	102
krachtvoer $€\cdot ha^{-1}$	238	367	460
inkuilen aankoop voer $€\cdot ha^{-1}$	141	107	38
kosten kunstmest $€\cdot ha^{-1}$	75	85	104
kosten loonwerk $€\cdot ha^{-1}$	450	610	835
uitrijden mest $m^3\cdot ha^{-1}$	42	53	68
kosten uitrijden mest $€\cdot ha^{-1}$	95	122	158
kosten loonwerk voederwinning $€\cdot ha^{-1}$	109	244	438
brandstof $€\cdot ha^{-1}$	32	44	71

Tabel 2.11. resultaten berekeningen met BBPR voor stikstof in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ voor zandgrond, alternatieve maatregelen.

Scenario	Z-Std	Z-aug-SF	Z-SF
Toegediend gras:			
N drm gras werkzaam	53	89	126
N km gras	133	135	170
N totaal werkzaam gras	185	224	296
N drm gras totaal (excl weidemest)	125	196	286
N drm gras totaal (incl weidemest)	200	239	286
N weidemest	75	43	0
N aanvoer gras	333	374	456
N opname gras	240	279	359
N overschot gras	93	95	97
Toegediend maïs:			
N drm maïs werkzaam	70	77	77
N km maïs	78	70	70
N totaal werkzaam maïs	147	147	147
N drm maïs totaal	121	134	133
N aanvoer maïs	199	204	203
N opname maïs	173	172	173
N overschot maïs	26	30	30
Toegediend percelen bedrijf:			
N drm bedrijf werkzaam	58	85	111
N km bedrijf	117	116	140
N totaal werkzaam bedrijf	175	201	252
N drm bedrijf totaal (excl weidemest)	124	177	240
N drm bedrijf totaal (incl weidemest)	176	207	240
N aanvoer percelen bedrijf	293	323	380
N opname bedrijf	220	247	303
N overschot percelen bedrijf	72	76	77

Tabel 2.12. resultaten berekeningen BBPR voor fosfaat (P_2O_5) in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, zandgrond, alternatieve maatregelen.

NB: berekend zonder aanvullende kunstmestgift.

drm: dunne rundermest

scenario	Z-Std	Z-aug-SF	Z-SF
Toegediend gras:			
P_2O_5 drm gras (excl weidemest)	47	74	106
P_2O_5 totaal gras (incl weidemest)	71	87	106
P_2O_5 gras weidemest	24	13	0
P_2O_5 opname gras	82	91	114
P_2O_5 overschot gras	-11	-4	-8
Toegediend maïs:			
P_2O_5 drm maïs	44	48	47
P_2O_5 opname maïs	62	62	62
P_2O_5 overschot maïs	-18	-14	-15
Toegediend percelen bedrijf:			
P_2O_5 drm bedrijf totaal (excl weidemest)	46	66	88
P_2O_5 totaal bedrijf (incl weidemest)	63	75	88
P_2O_5 opname percelen bedrijf	76	82	98
P_2O_5 overschot percelen bedrijf	-13	-7	-10

Tabel 2.13. Bedrijfseconomische resultaten berekeningen BBPR $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ voor kleigrond, alternatieve maatregelen.
 scenario K-Stdnd standaard, beperkt weiden
 scenario K-aug-SF summerfeeding per 1 aug
 scenario K-SF summerfeeding hele jaar
 Totaal areaal 41.8 ha

scenario	K-Stdnd	K-aug-SF	K-SF
beweidingsstelsel	beperkt	beperkt tot 1-8, summerfeeding v.a. 1-8	summerfeeding
arbeidsopbrengst $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	750	524	320
arbeidsopbrengst, verschil met standaard (K-Stdnd) $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	0	-226	-430
arbeidsopbrengst €	31339	21914	13374
arbeidsopbrengst, verschil met standaard (K-Stdnd) €	0	-9425	-17965
afzet mest $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	3	3	3
kosten mestafzet $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	26	24	23
voerkosten $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$ (minus evt opbr)	358	369	363
ruwvoer $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	3	-33	-99
krachtvoer $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	315	362	422
inkuilen aankoop voer $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	9	0	0
kosten kunstmest $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	143	140	139
kosten loonwerk $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	490	659	786
uitrijden mest $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	43	51	59
kosten uitrijden mest $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	104	121	140
kosten loonwerk voederwinning $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	272	426	560
brandstof $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	57	74	108

Tabel 2.14. resultaten berekeningen BBPR voor stikstof in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$, kleigrond, alternatieve maatregelen.

scenario	K-Stdnd	K-aug-SF	K-SF
Toegediend gras:			
N drm gras werkzaam	100	120	143
N km gras	188	200	195
N totaal werkzaam gras	288	320	338
N drm gras totaal (excl weidemest)	226	272	333
N drm gras totaal (incl weidemest)	300	308	333
N weidemest	74	36	0
N aanvoer gras	488	508	528
N opname gras	349	362	393
N overschot gras	139	146	135
Toegediend maïs:			
N drm maïs werkzaam	35	97	104
N km maïs	125	63	56
N totaal werkzaam maïs	160	160	160
N drm maïs totaal	63	176	189
N aanvoer maïs	188	239	245
N opname maïs	174	174	174
N overschot maïs	14	65	71
Toegediend percelen bedrijf:			
N drm bedrijf werkzaam	93	118	139
N km bedrijf	181	186	180
N totaal werkzaam bedrijf	275	303	319
N drm bedrijf totaal (excl weidemest)	209	262	318
N drm bedrijf totaal (incl weidemest)	275	294	318
N aanvoer percelen bedrijf	456	480	489
N opname bedrijf	331	342	370
N overschot percelen bedrijf	126	138	128

Tabel 2.15. resultaten berekeningen BBPR voor fosfaat (P_2O_5) in $kg \cdot ha^{-1} \cdot j^{-1}$, kleigrond, alternatieve maatregelen.

NB: berekend zonder aanvullende kunstmestgift.

drm: dunne rundermest

Scenario	K-Std	K-aug-SF	K-SF
Toegediend gras:			
P_2O_5 drm gras (excl weidemest)	81	94	111
P_2O_5 totaal gras (incl weidemest)	103	104	111
P_2O_5 weidemest	22	10	0
P_2O_5 opname gras	113	113	120
P_2O_5 overschot gras	-10	-9	-9
Toegediend maïs:			
P_2O_5 drm maïs	21	58	60
P_2O_5 opname maïs	62	62	62
P_2O_5 overschot maïs	-41	-4	-2
Toegediend percelen bedrijf:			
P_2O_5 drm bedrijf totaal (exc weidemest)	75	90	106
P_2O_5 totaal bedrijf (incl weidemest)	94	99	106
P_2O_5 opname percelen bedrijf	108	108	114
P_2O_5 overschot percelen bedrijf	-13	-9	-8

Tabel 2.16. Bedrijfs-economische resultaten berekeningen BBPR $€ \cdot ha^{-1} \cdot j^{-1}$ voor veengrond, alternatieve maatregelen.

scenario V-Std standaard, onbeperkt weiden

scenario V-aug-SF summerfeeding per 1 aug

scenario V-SF summerfeeding hele jaar

Totaal areaal 39.3 ha

Scenario	V-Std	V-aug-SF	V-SF
Beweidingsstelsel	onbeperkt	onbeperkt tot 1-8, summerfeeding v.a. 1-8	summerfeeding
arbeidsopbrengst $€ \cdot ha^{-1}$	259	59	-117
arbeidsopbrengst, verschil met standaard (V-Std) $€ \cdot ha^{-1}$	0	-200	-376
arbeidsopbrengst $€$	10188	2305	-4603
arbeidsopbrengst, verschil met standaard (V-Std) $€$	0	-7883	-14791
afzet mest $m^3 \cdot ha^{-1}$	0	0	0
kosten mestafzet $€ \cdot ha^{-1}$	0	0	0
voerkosten $€ \cdot ha^{-1}$	566	536	349
ruwvoer $€ \cdot ha^{-1}$	208	155	-29
krachtvoer $€ \cdot ha^{-1}$	251	292	343
inkuilen aankoop voer $€ \cdot ha^{-1}$	73	54	0
kosten kunstmest $€ \cdot ha^{-1}$	118	112	131
kosten loonwerk $€ \cdot ha^{-1}$	349	529	796
uitrijden mest $m^3 \cdot ha^{-1}$	36	46	58
kosten uitrijden mest $€ \cdot ha^{-1}$	86	110	140
kosten loonwerk voederwinning $€ \cdot ha^{-1}$	187	344	600
brandstof $€ \cdot ha^{-1}$	46	66	90

Tabel 2.16. resultaten berekeningen BBPR voor stikstof in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, veengrond, alternatieve maatregelen.

scenario	V-Stdrrd	V-aug-SF	V-SF
Toegediend gras:			
N drm gras werkzaam	60	84	126
N km gras	151	158	164
N totaal werkzaam gras	211	242	290
N drm gras totaal (excl weidemest)	146	203	306
N drm gras totaal (incl weidemest)	264	267	306
N weidemest	118	64	0
N aanvoer gras	415	425	470
N opname gras	280	303	379
N overschot gras	135	122	91
Toegediend maïs:			
N drm maïs werkzaam	48	109	106
N km maïs	112	51	54
N totaal werkzaam maïs	160	160	160
N drm maïs totaal	87	193	193
N aanvoer maïs	199	249	247
N opname maïs	131	131	131
N overschot maïs	68	118	116
Toegediend percelen bedrijf:			
N drm bedrijf werkzaam	59	86	125
N km bedrijf	149	152	158
N totaal werkzaam bedrijf	208	237	282
N drm bedrijf totaal (excl weidemest)	143	203	299
N drm bedrijf totaal (incl weidemest)	254	263	299
N aanvoer percelen bedrijf	403	415	457
N opname bedrijf	271	293	365
N overschot percelen bedrijf	131	122	93

Tabel 2.17. resultaten berekeningen BBPR voor fosfaat (P_2O_5) in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$, veengrond, alternatieve maatregelen.

NB: berekend zonder aanvullende kunstmestgift.

drm: dunne rundermest

scenario	V-Stdrrd	V-aug-SF	V-SF
Toegediend gras:			
P_2O_5 drm gras (excl weidemest)	55	75	107
P_2O_5 totaal gras (incl weidemest)	90	93	107
P_2O_5 gras weidemest	35	18	0
P_2O_5 opname gras	86	90	109
P_2O_5 overschot gras	4	3	-2
Toegediend maïs:			
P_2O_5 drm maïs	28	62	58
P_2O_5 opname maïs	47	47	47
P_2O_5 overschot maïs	-19	15	11
Toegediend percelen bedrijf:			
P_2O_5 drm bedrijf totaal (exc weidemest)	53	74	104
P_2O_5 totaal bedrijf (incl weidemest)	86	91	104
P_2O_5 opname percelen bedrijf	84	88	105
P_2O_5 overschot percelen bedrijf	3	4	-1

Tabel 2.18. Bedrijfseconomische resultaten berekeningen BBPR voor zandgrond, uitmijnen.

scenario Z-Stdtd standaard, beperkt weiden

scenario Z-UM15% 15% uitmijnen op gras, beperkt weiden

scenario Z-UM15%-SF 15% uitmijnen op gras, summerfeeding

scenario Z-UM30%-SF 30% uitmijnen op gras, summerfeeding

scenario Z-UM30%-ms 30% uitmijnen op maïs, beperkt weiden

NB: mest van uitmijn deel afgevoerd.

Totaal areaal 32.1 ha

Scenario	Z-Stdtd	Z-UM15%	Z-UM15% -SF	Z-UM30% -SF	Z-UM30% -ms
Beweidingsstelsel	beperkt	beperkt	summer- feeding	summer- feeding	beperkt
uitmijn gras, % van bedrijfsoppervlakte	0	15%	15%	30%	0
uitmijn maïs, % van bedrijfsoppervlakte	0	0	0	0	30%
arbeidsopbrengst $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	299	181	-102	-168	177
arbeidsopbrengst, verschil met Z-Stdtd, $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	0	-117	-401	-467	-122
arbeidsopbrengst €	9588	5819	-3275	-5381	5669
arbeidsopbrengst, verschil met Z-Stdtd €	0	-3769	-12863	-14969	-3919
afzet mest $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	15	20	17	27	29
kosten mestafzet $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	120	147	137	219	234
voerkosten $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	802	834	650	611	801
ruwvoer $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	375	363	99	77	375
krachtvoer $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	238	286	465	456	236
inkuilen aankoop voer $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	141	136	37	29	141
kosten kunstmest $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	75	97	123	158	113
kosten loonwerk $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	450	468	822	808	421
uitrijden mest $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	42	40	64	54	28
kosten uitrijden mest $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	95	85	144	122	66
kosten loonwerk voederwinning $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	109	137	438	447	109
brandstof $\text{€} \cdot \text{ha}^{-1}$	32	34	71	72	32

Tabel 2.19. resultaten berekeningen BBPR voor stikstof in $kg.ba^{-1}.j^{-1}$, zandgrond, uitmijnen.

Scenario	Z-Stdrd	Z-UM15%	Z-UM15%- SF	Z-UM30%- SF	Z-UM30%- ms
Toegediend gras:					
N drm gras werkzaam	53	43	114	98	49
<i>N drm gras werkzaam niet uitmijn</i>		55	145	172	
<i>N drm gras werkzaam uitmijn</i>		0	0	0	
N km gras	133	169	198	237	136
<i>N km gras niet uitmijn</i>		156	167	162	
<i>N km gras uitmijn</i>		218	313	334	
N totaal werkzaam gras	185	212	313	334	185
<i>N totaal werkzaam gras niet uitmijn</i>		211	313	334	
<i>N totaal werkzaam gras uitmijn</i>		218	313	334	
N drm gras totaal (excl weidemest)	125	82	231	185	115
N drm gras totaal (incl weidemest)	200	149	231	185	190
<i>N drm gras tot (incl wmst) niet uitmijn</i>		190	294	324	
<i>N drm gras tot (incl wmst) uitmijn</i>		0	0	0	
N aanvoer gras	333	318	429	422	326
<i>N aanvoer gras niet uitmijn</i>		345	461	488	
<i>N aanvoer gras uitmijn</i>		218	313	334	
N opname gras	240	245	369	387	241
<i>N opname gras niet uitmijn</i>		230	369	387	
<i>N opname gras uitmijn</i>		300	369	387	
N overschot gras	93	73	60	35	85
<i>N overschot gras niet uitmijn</i>		115	92	101	
<i>N overschot gras uitmijn</i>		-82	-56	-53	
Toegediend maïs:					
N drm maïs werkzaam	70	128	131	132	0
N km maïs	78	19	16	15	147
N totaal werkzaam maïs	147	147	147	147	147
N drm maïs totaal	121	223	227	229	0
N aanvoer maïs	199	242	243	244	147
N opname maïs	173	173	173	173	173
N overschot maïs	26	69	70	71	-26
Toegediend percelen bedrijf:					
N drm bedrijf werkzaam	58	69	119	108	34
N km bedrijf	117	124	144	170	139
N totaal werkzaam bedrijf	175	193	263	288	173
N drm bedrijf totaal (excl weidemest)	124	124	230	198	81
N drm bedrijf totaal (incl weidemest)	176	171	230	198	130
N aanvoer percelen bedrijf	293	295	374	368	269
N opname bedrijf	220	223	310	323	221
N overschot percelen bedrijf	72	72	64	45	48

Tabel 2.20. resultaten berekeningen BBPR voor fosfaat (P_2O_5) in $kg.ha^{-1}.j^{-1}$, $\pm$ grond, uitmijnen.

NB: berekend $\pm$ onder aanvullende kunstmestgift.

drm: dunne rundermest

scenario	Z-Std	Z-UM15%	Z-UM15% -SF	Z-UM30% -SF	Z-UM30% -ms
beweidingsstelsysteem	beperkt	beperkt	summer- feeding	summer- feeding	beperkt
Toegediend gras:					
P_2O_5 drm gras (excl weidemest)	47	31	84	66	44
P_2O_5 totaal gras (incl weidemest)	71	52	84	66	68
P_2O_5 tot gras (incl wmst) niet uitmijn		66	107	116	
P_2O_5 tot gras (incl wmst) uitmijn		0	0	0	
P_2O_5 opname gras	82	82	115	118	82
P_2O_5 opname gras niet uitmijn		77	115	118	
P_2O_5 opname gras uitmijn		102	115	118	
P_2O_5 overschot gras	-11	-30	-31	-52	-11
P_2O_5 overschot gras niet uitmijn		-11	-8	-2	
P_2O_5 overschot gras uitmijn		-102	-115	-118	
Toegediend maïs:					
P_2O_5 drm maïs	44	81	79	79	0
P_2O_5 opname maïs	62	62	62	62	62
P_2O_5 overschot maïs	-18	21	17	17	-62
Toegediend percelen bedrijf:					
P_2O_5 drm bedrijf totaal (exc weidemest)	46	46	83	70	31
P_2O_5 totaal bedrijf (incl weidemest)	63	61	83	70	48
P_2O_5 opname percelen bedrijf	76	76	99	101	76
P_2O_5 overschot percelen bedrijf	-13	-15	-16	-31	-28

Bijlage 3: Resultaten uitmijnen

Overgenomen uit Corré et al., in voorb.

Tabel 3.1 Stikstof akkerbouw: N-bemesting met kunstmest (*km*) en dierlijke mest (*dm*), N-gewasafvoer (*gaf*) en -overschot (*over*) op bouwland volgens MEBOT en ANIMO, en N-vracht (*vr*) naar oppervlaktewater volgens ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in $\text{kg ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ N).

Scenario	Plot	N-bemesting			Ngaf	Nover	ANIMO Nvr	Verskil Nvr met ref
		Nkm	Ndm	Ntot				
Bouwland Referentie 2006	579	78	130	208	137	71	22.1	
	1000	78	130	208	137	71	52.7	
	5428	78	130	208	143	65	16.5	
	5554	78	130	208	118	90	42.9	
	5558	78	130	208	136	71	16.9	
ANIMO	Gem	78	131	208	134	74	30.2	
MEBOT		78	131	209	122	87		
Bouwland Uitmijnen Rotatie	579	185	0	185	140	45	21.4	0.7
	1000	185	0	185	140	46	54.6	-1.9
	5428	185	0	185	143	42	19.4	-2.9
	5554	185	0	185	141	43	41.6	1.3
	5558	185	0	185	142	43	24.6	-7.7
ANIMO	Gem	185	0	185	141	44	32.3	-2.1
MEBOT		185	0	185	122	63		
Bouwland Uitmijnen Graan	579	190	0	190	171	19	14.6	7.5
	1000	190	0	190	172	18	15.0	37.7
	5428	190	0	190	172	18	12.5	4.1
	5554	190	0	190	166	24	35.3	7.6
	5558	189	0	189	170	20	16.0	0.9
ANIMO	Gem	190	0	190	170	20	18.7	11.6
MEBOT		190	0	190	169	21		

Tabel 3.2 Fosfor akkerbouw: P-bemesting met kunstmest (km) en dierlijke mest (dm), P-gevasafvoer (gaf) en -overschot (over) op bouwland volgens MEBOT en ANIMO, en P-vracht (vr) naar oppervlaktewater volgens ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in $\text{kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ P).

Scenario	Plot	P-Bemesting					ANIMO Pvr	Verschil Pvr met ref
		Pkm	Pdm	Ptot	Pgaf	Pover		
Bouwland Referentie 2006	579	1.3	33.4	34.7	23.4	11.4	0.70	
	1000	1.3	33.4	34.7	23.4	11.4	4.41	
	5428	1.3	33.4	34.7	23.4	11.3	0.41	
	5554	1.3	33.4	34.7	23.5	11.3	18.74	
	5558	1.3	33.4	34.7	23.4	11.3	0.58	
ANIMO	Gem	1.3	33.4	34.7	23.4	11.3	4.97	
MEBOT		1.3	33.6	34.9	22.3	12.6		
Bouwland Uitmijnen Rotatie	579	0	0	0	23.4	-23.4	0.66	0.04
	1000	0	0	0	23.6	-23.6	4.37	0.04
	5428	0	0	0	23.6	-23.6	0.34	0.07
	5554	0	0	0	23.7	-23.7	15.10	3.64
	5558	0	0	0	23.6	-23.6	0.42	0.17
ANIMO	Gem	0	0	0	23.6	-23.6	4.18	0.79
MEBOT		0	0	0	21.8	-21.8		
Bouwland Uitmijnen Graan	579	0	0	0	28.2	-28.2	0.59	0.11
	1000	0	0	0	28.2	-28.2	1.62	2.79
	5428	0	0	0	28.2	-28.2	0.61	-0.19
	5554	0	0	0	28.2	-28.2	16.48	2.26
	5558	0	0	0	28.2	-28.2	0.39	0.20
ANIMO	Gem	0	0	0	28.2	-28.2	3.94	1.03
MEBOT		0	0	0	28.3	-28.3		

Tabel 3.3 Stikstof grasland: N-bemesting met kunstmest (*km*) en dierlijke mest (*dm*), N-gewasafvoer (*gaf*) en -overschot (*over*) van grasland volgens BBPR en ANIMO, en N-vracht (*vr*) naar oppervlaktewater volgens ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in $\text{kg.ha}^{-1}.\text{a}^{-1}$ N).

Scenario	ANIMO: Plot BBPR: %gras ²⁴	N-bemesting					ANIMO Nvracht	Verschil Nvr Met ref
		Nkm	Ndm	Ntot	Ngaf	Nover		
Gras Referentie 2009	1686	133	199	332	244	88	10.6	
	2521	132	200	332	242	90	18.5	
	3752	133	199	332	243	89	26.0	
	5724	132	201	332	223	109	18.1	
	6063	133	200	333	235	98	17.2	
ANIMO	Gem	132	200	332	237	95	18.1	
BBPR1	70%	133	200	333	240	93		
BBPR2	55%	156	190	346	230	115		
BBPR3	55%	167	294	461	369	92		
BBPR4	40%	162	324	488	387	101		
BBPR5	70%	136	190	326	241	85		
Uitmijnen gras met 218 N	1686	218	0	218	212	6	6.1	4.5
	2521	217	0	217	209	8	13.6	4.9
	3752	218	0	218	218	0	20.2	5.8
	5724	218	0	218	232	-14	5.3	12.7
	6063	217	0	217	234	-17	6.2	11.0
ANIMO	Gem	218	0	218	221	-3	10.3	7.8
BBPR 2	15% ¹²	218	0	218	300	-82		
uitmijnen gras met 324 N	1686	324	0	324	291	33	8.0	2.6
	2521	324	0	324	288	36	16.4	2.2
	3752	324	0	324	294	30	22.8	3.2
	5724	324	0	324	309	15	6.7	11.3
	6063	324	0	324	309	14	7.8	9.4
ANIMO	Gem	324	0	324	298	26	12.3	5.7
BBPR 3	15%	313	0	313	369	56		
BBPR 4	30%	334	0	334	387	53		

²⁴ Het aandeel gras dat bemest is zoals aangegeven. Totaal gras 70%

Tabel 3.4 Fosfor grasland: P-bemesting met kunstmest (km) en dierlijke mest (dm), P-genasafvoer (gaf) en -overschot (over) van grasland volgens BBPR en ANIMO, en P-vracht (vr) naar oppervlaktewater volgens ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ P).

Scenario	ANIMO: Plot BBPR: %gras ¹²	P-bemesting					ANIMO Pvr	Verschil Pvr met ref
		Pkm	Pdm	Ptot	Pgaf	Pover		
Gras Referentie 2009	1686	0	31.1	31.1	33.3	-2.3	0.55	
	2521	0	31.1	31.1	33.1	-2	1.63	
	3752	0	31.3	31.3	33.1	-1.8	2.26	
	5724	0	31.3	31.3	31	0.3	0.76	
	6063	0	31.1	31.1	32.1	-1.1	0.64	
ANIMO	Gem	0	31.2	31.2	32.5	-1.4	1.17	
BBPR 1	70%	0	31	31	35.8	-4.8		
BBPR 2	55% ¹²	0	28.8	28.8	33.6	-4.8		
BBPR 3	55%	0	46.7	46.7	50.2	-3.5		
BBPR 4	40%	0	50.7	50.7	51.5	-0.8		
BBPR 5	70%	0	29.7	29.7	35.8	-6.1		
Gras bij Uitmijnen gras met 218 N	1686	0	0	0	30.5	-30.5	0.41	0.14
	2521	0	0	0	32.1	-32.1	1.36	0.27
	3752	0	0	0	32.2	-32.2	1.76	0.50
	5724	0	0	0	32.2	-32.2	0.55	0.22
	6063	0	0	0	32.1	-32.1	0.46	0.18
ANIMO	Gem	0	0	0	31.8	-31.8	0.91	0.26
BBPR 2	15%	0	0	0	45	-45		
Gras bij uitmijnen gras met 324 N	1686	0	0	0	28.9	-28.9	0.43	0.11
	2521	0	0	0	37.7	-37.7	1.42	0.21
	3752	0	0	0	37.7	-37.7	1.79	0.47
	5724	0	0	0	37.7	-37.7	0.53	0.24
	6063	0	0	0	37.7	-37.7	0.44	0.20
ANIMO	Gem	0	0	0	35.9	-35.9	0.92	0.25
BBPR 3	15%	0	0	0	50	-50		
BBPR 4	30%	0	0	0	52	-52		

Tabel 3.5 Stikstof maïs: N-bemesting met kunstmest (km) en dierlijke mest (dm), N-gevasafvoer (gaf) en -overschot (over) van snijmaïs volgens BBPR en ANIMO, en N-vracht (vr) naar oppervlaktewater volgens ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in $\text{kg.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}$ N).

Scenario	ANIMO: Plot BBPR: %maïs	N-bemesting					ANIMO Nvr	Verschil Nvr met ref
		Nkm	Ndm	Ntot	Ngaf	Nover		
Maïs Referentie 2009	1424	77	121	198	150	48	4.7	
	2503	78	121	199	143	56	11.3	
	2773	78	121	199	153	46	10.9	
	5626	78	121	199	158	40	11.0	
	5657	78	121	199	150	49	10.0	
ANIMO	Gem	78	121	199	151	46	9.6	
BBPR 1	30%	78	121	199	173	26		
Maïs bij uitmijnen gras	1424	36	224	260	161	99	6.4	-1.7
	2503	36	222	258	147	111	9.6	1.8
	2773	35	225	260	160	100	11.2	-0.3
	5626	37	221	258	165	93	14.8	-3.8
	5657	36	223	259	151	108	7.9	2.2
ANIMO	Gem	36	223	259	157	102	10.0	-0.4
BBPR 2	30%	19	223	242	173	69		
BBPR 3	30%	16	227	243	173	70		
BBPR 4	30%	15	229	244	173	71		
Uitmijnen Maïs	1424	147	0	147	140	7	3.7	1.01
	2503	147	0	147	143	5	9.9	1.43
	2773	147	0	147	148	-1	11.4	-0.47
	5626	147	0	147	149	-3	9.3	1.75
	5657	147	0	147	150	-3	11.5	-1.47
ANIMO	Gem	147	0	147	146	1	9.2	0.45
BBPR 5		147	0	147	173	-26		

Tabel 3.6 Fosfor maïs: P-bemesting met kunstmest (km) en dierlijke mest (dm), P-gewasafvoer (gaf) en -overschot (over) van snijmaïs volgens BBPR en ANIMO, en P-vracht (vr) naar oppervlaktewater volgens ANIMO bij verschillende scenario's (gemiddelde over de jaren 2016-2030 in $\text{kg.ha}^{-1}.\text{J}^{-1}$ P).

Scenario	ANIMO: Plot BBPR: %maïs	P-bemesting					ANIMO Pvr	Verskil Pvr met ref
		Pkm	Pdm	Ptot	Pgaf	Pover		
Maïs bij Referentie 2009	1424	0	19.2	19.2	26.3	-7.1	0.14	0.00
	2503	0	19.3	19.3	26.3	-7	1.24	0.00
	2773	0	19.1	19.1	26.3	-7.2	0.71	0.00
	5626	0	19.4	19.4	26.3	-6.9	1.88	0.00
	5657	0	19.3	19.3	26.3	-7	1.29	0.00
ANIMO	Gemiddeld	0	19.2	19.2	26.3	-7	1.05	0.00
BBPR 1	30%	0	19.2	19.2	27.1	-7.9		
Maïs bij Uitmijnen Gras	1424	0	35.5	35.5	26.3	9.2	0.16	-0.02
	2503	0	35.4	35.4	26.3	9	1.41	-0.17
	2773	0	35.5	35.5	26.3	9.2	0.80	-0.09
	5626	0	35.4	35.4	26.3	9.1	2.18	-0.30
	5657	0	35.5	35.5	26.3	9.2	1.39	-0.11
ANIMO	Gemiddeld	0	35.4	35.4	26.3	9.1	1.19	-0.14
BBPR 2	30%	0	35.4	35.4	27.1	8.3		
BBPR 3	30%	0	35.4	35.4	27.1	8.3		
BBPR 4	30%	0	35.4	35.4	27.1	8.3		
Uitmijnen Maïs	1424	0	0	0	26.1	-26.1	0.11	0.03
	2503	0	0	0	26.1	-26.1	0.98	0.26
	2773	0	0	0	26.2	-26.2	0.58	0.13
	5626	0	0	0	26.2	-26.2	1.57	0.31
	5657	0	0	0	26.2	-26.2	1.10	0.18
ANIMO	Gemiddeld	0	0	0	26.2	-26.2	0.87	0.18
BBPR5	30%	0	0	0				

Bijlage 4: Effectiviteit van hydrologische maatregelen per geohydrotype en per plot (separaat op te vragen)

Deze bijlage wordt apart gedrukt en kan bij Erwin van Boekel van Alterra worden opgevraagd.

Bijlage 5: Verklarende afkortingenlijst

ANIMO	model voor de nutriëntenhuishouding van de bodem	Ntot	totale stikstofbemesting
ASG	Animal Sciences Group, Wageningen-UR	Nvr	stikstofvracht naar het oppervlaktewater
BBPR	model voor de nutriëntenhuishouding, de productie en de bedrijfseconomie van melkveehouderijbedrijven	OA	oppervlakteafoer (in SWAP maaiveldafvoer plus runoff), in de volksmond (oppervlakkige) afspoeling. Niet te verwarren met oppervlakkige afvoer, inclusief (greppel)afvoer uit de bouwvoor
BMV	Blokkeren maaiveldafvoer, hydrologische maatregel of scenario	ONT	ONTdraineren, dat wil zeggen drainage stoppen of blokkeren
CE	Cost Effectiveness, Kosteneffectiviteit	P	Fosfor
cGP	concentratie op GLG niveau	P-AL	bodemvruchtbaarheidsparameter voor P op grasland, uitgedrukt in mg P2O5 per 100 gr droge grond en verkregen door extractie met een gebufferde AmmoniumLactaat azijnzuur oplossing
CZK	akkerbouwbedrijfsysteem in het Centraal Zeekleigebied	Pd(r)m	fosfor in dierlijke mest
DRP	Diluted Reactive Phosphorous, opgelost reactief fosfaat, orthofosfaat	Pgaf	fosfor in gewasafvoer
DSD	Diepe Samengestelde Drainage met peilregeling, hydrologische maatregel of scenario	Pkm	kunstmestfosfor
FLG studie	Studie naar de kosteneffectiviteit van maatregelen op FosfaatLekkende Gronden (Corré et al. in voorb.)	Popn	fosforopname door het gewas
Gem	gemiddeld	Pover	fosforoverschot, in dit geval perceel- of bodemoverschot
GHG	Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand	PPO	Praktijkonderzoek Plant en Omgeving
GLG	Gemiddeld Laagste Grondwaterstand	PPO-AGV	PPO afdeling Akkerbouw en Groenteteelt in de Volle grond
GLP	Goede Landbouw Praktijk	Ptot	totale fosforbemesting
GN 2006	GebruiksnNorm 2006, referentiescenario akkerbouw	Pvr	fosforvracht naar het oppervlaktewater
HELP-tabellen	Hulptabellen, oorspronkelijk bedoeld voor de schatting van de waarde van percelen en de effecten van maatregelen in Landinrichting Projecten	QUADMOD	Model voor het voorspellen van de stikstofrespons van landbouwgewassen in Nederland (Berge et al., 2000)
K-aug-SF	Kleigrond met SF vanaf augustus, melkveehouderijscenario	REF	referentiescenario hydrologie
K-Buf5%	Kleigrond met 5% areaal bufferstroken, melkveehouderijscenario	SF	Summer Feeding, vee opstallen en kuilgras voeren
K-SF	Kleigrond met SF, melkveehouderijscenario	STONE	Samen Te Ontwikkelen NutriëntenEmissiemodel (Wolf et al., 2003)
K-Stdrd	Kleigrond, standaardscenario melkveehouderij	Strd	Standaard of referentiescenario melkveehouderij
KWIN	KWantitatieve INformatie, uitgave door het praktijkonderzoek voor diverse landbouwsectoren	SWAP	model voor de waterhuishouding van de bodem
LNv	Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Voedselkwaliteit	TD	Traditionele drainage
LOTV	Lozingenbesluit Open Teelten en Veehouderij, valt onder de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater	V-aug-SF	Veengrond met SF vanaf augustus, melkveehouderijscenario
M	alleen Maaien van grasland	V-Buf10%	Veengrond met 10% areaal bufferstroken, melkveehouderijscenario
Max	maximumwaarde	V-Buf20%	Veengrond met 20% areaal bufferstroken, melkveehouderijscenario
MEBOT	model voor de nutriëntenhuishouding, de productie en de bedrijfseconomie van akkerbouwbedrijven (Schreuder et al., 2008)	V-SF	Veengrond met SF, melkveehouderijscenario
Min	minimumwaarde	V-Stdrd	Veengrond, standaardscenario melkveehouderij
MW	Maaien plus Weiden, gemengd gebruik van grasland	VROM	Ministerie van Volkshuisvesting Ruimtelijke Ordening en Milieu
N	Stikstof	VV	Vloeiveld
Nd(r)m	stikstof in dierlijke mest	WEMPA	Water Economic Modelling for Policy Analysis (Soesbergen et al. 2007)
Neg	negatieve waarde	wmst	weidemest
Ngaf	stikstof in gewasafvoer	WUR	Wageningen Universiteit en Researchcentrum
Ngwr	stikstof in gewasresten	Z-aug-SF	Zandgrond met SF vanaf augustus, melkveehouderijscenario
NgwrB	stikstof in de bovengrondse gewasresten	Z-Buf5%	Zandgrond met 5% areaal bufferstroken, melkveehouderijscenario
NgwrT	stikstof in het totaal van de gewasresten (onder en bovengronds)	Z-Buf10%	Zandgrond met 10% areaal bufferstroken, melkveehouderijscenario
NH4-N	ammoniumstikstof	Z-Buf10%-nbew	als Z-Buf10%, bufferstroken niet beweid
Nkm	kunstmeststikstof	Z-Buf10%-maf	als Z-Buf10%, met mestafzet, gebruiksnorm van de bufferstroken telt niet mee, mestoverschot wordt afgezet
NLV	N-Leverend Vermogen, de stikstofopname door een gewas dat niet met stikstof is bemest	ZON	akkerbouwbedrijfsysteem op zandgrond in Zuid Oost Nederland
ΔN-minvrrd	bergingsverschil van de voorraad minerale N in de bodem	Z-SF	Zandgrond met SF, melkveehouderijscenario
NON	akkerbouwbedrijfsysteem op zandgrond in Noord Oost Nederland	Z-Stdrd	Zandgrond, standaardscenario melkveehouderij met beperkt weiden
NO3-N	nitraatstikstof	Z-UM15%	Zandgrond met UitMijnen van P op grasland op 15% van het bedrijfsoppervlak, melkveehouderijscenario
Nopn	stikstofopname door het gewas	Z-UM15%-SF	als Z-UM15%, met SF, melkveehouderijscenario
ΔN-orgvrrd	bergingsverschil van de voorraad organische N in de bodem	Z-UM30%-ms	Zandgrond met UitMijnen van P alleen op maïs, 30% van het bedrijfsoppervlak, melkveehouderijscenario
Nover	stikstofoverschot, in dit geval perceel- of bodemoverschot	Z-UM30%-SF	Zandgrond met UitMijnen van P op grasland op 30% van het bedrijfsoppervlak, met SF, melkveehouderijscenario
Nr	N (residuair of rest) in dierlijke die na een jaar nog niet is vrijgekomen	ZWK	akkerbouwbedrijfsysteem in het Zuid Westelijk Kleigebied