



ALTEERRA
WAGENINGEN UR



Evaluatie landbouw en KRW

Evaluatie meststoffenwet 2012: deelrapport ex post

Alterra-rapport 2326
ISSN 1566-7197

E.M.P.M. van Boekel, P. Bogaart, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, R.A.L. Kselik, H.T.L. Massop,
H.M. Mulder, P.E.V. van Walsum en F.J.E. van der Bolt

Evaluatie landbouw en KRW

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het programma Beleidsadvisering, Monitoring en Instrumenten.

De resultaten zijn gebruikt voor de Evaluatie van de Meststoffenwet 2012, Beleidsondersteunend onderzoek Ministerie van EZ waarvoor dit een achtergrondrapport vormt.

Projectcode: BO-12-12-002-017

Evaluatie landbouw en KRW

Evaluatie meststoffenwet 2012: deelrapport ex post

E.M.P.M. van Boekel, P. Bogaart, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, R.A.L. Kselik, H.T.L. Massop,
H.M. Mulder, P.E.V. van Walsum en F.J.E. van der Bolt

Alterra-rapport 2326

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2013

Referaat

Boekel, E.M.P.M. van, P. Bogaart, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, R.A.L. Kselik, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, P.E.V. van Walsum en F.J.E. van der Bolt, 2012. *Evaluatie Landbouw en KRW. Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2326. 94 blz.; 40 fig.; 30 tab.; 37 ref.

In opdracht van het ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovaties (EL&I) is in 2007 een onderzoekstraject ingezet om inzicht te verschaffen in de verwachte realisatie van de KRW-doelen en welke aanvullende maatregelen mogelijk en kosteneffectief zijn. Voor het beantwoorden van de kennisvragen is het modelinstrumentarium ECHO ontwikkeld. De plausibiliteit van de modelresultaten zijn in beeld gebracht door de berekeningen te vergelijken met metingen in het oppervlaktewater. De modelresultaten worden beter door het gebruik van nieuwe uit- en afspoelingsgegevens op basis van STONE 2.4 en retentie in het oppervlaktewater. De toestand en trends in het oppervlaktewater zijn in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2012 in beeld gebracht op basis van metingen in het oppervlaktewater. Hieruit blijkt dat 30% van de meetpunten in het zoete oppervlaktewater voldoet aan zowel de stikstof- en fosfordoelstellingen van de KRW. De diffuse belasting van het oppervlaktewater is voor een substantieel deel afkomstig uit de landbouw. Uit de studie blijkt verder dat aanvullende maatregelen kosteneffectief kunnen worden ingezet om de nutriëntenbelasting te verlagen als rekening wordt gehouden met de kosteneffectiviteit van de maatregelen, de gewenste nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater en afwenteling vanuit bovenstroomse gebieden.

Trefwoorden: stikstof, fosfor, fosfaat, Nitraatrichtlijn, Kaderrichtlijn Water, oppervlaktewater, milieukwaliteit, waterkwaliteit, ECHO

ISSN 1566-7197

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

© 2013 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

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

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

Alterra-rapport 2326

Wageningen, januari 2013

Inhoud

| | |
|--|----|
| Samenvatting | 7 |
| 1 Inleiding | 13 |
| 1.1 Achtergrond | 13 |
| 1.2 Fase 1 (2007-2008) | 13 |
| 1.3 Fase 2 (2009-2010) | 14 |
| 1.4 Fase 3 (2011, 2012) | 16 |
| 1.5 Evaluatie Meststoffenwet 2012 | 17 |
| 1.6 Leeswijzer | 17 |
| 2 Werkwijze fase 3 | 19 |
| 2.1 Inhoudelijke basis | 19 |
| 2.1.1 Invoergegevens ECHO | 19 |
| 2.1.2 Retentieschattingen in het oppervlaktewater | 25 |
| 2.1.3 Plausibiliteit | 27 |
| 2.2 Toestand en trends van de oppervlaktewaterkwaliteit | 28 |
| 2.2.1 Toestand | 28 |
| 2.2.2 Trends | 31 |
| 2.3 Emissies | 31 |
| 2.4 Selectie van optimale maatregelpakketten | 31 |
| 2.4.1 Kosteneffectiviteit van maatregelen(pakketten) | 32 |
| 2.4.2 Selecteren van een optimale beheerstrategie | 33 |
| 3 Resultaten plausibiliteit | 35 |
| 3.1 Landelijk | 35 |
| 3.2 Kleinere stroomgebieden | 38 |
| 4 Toestand en trends | 43 |
| 4.1 Toestand | 43 |
| 4.2 Trends | 46 |
| 5 Emissies | 48 |
| 5.1 Emissies binnenlandse bronnen naar het oppervlaktewatersysteem | 48 |
| 5.2 Emissies naar de Rijkswateren | 52 |
| 5.3 Emissies naar de Noordzee | 53 |
| 6 Optimalisatie maatregelenpakket | 55 |
| 6.1 Areaal | 55 |
| 6.2 Kosten | 56 |
| 7 Conclusies en aanbevelingen | 59 |
| Literatuur | 63 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Bijlage 1 | Retentieschattingen oppervlaktewater | 67 |
| Bijlage 2 | Invoergegevens waterwijs | 75 |
| Bijlage 3 | Resultaten plausibiliteit pilotgebieden | 79 |
| Bijlage 4 | Toestand en trends in oppervlaktewater | 89 |
| Bijlage 5 | Stikstof- en fosforemissies naar oppervlaktewater | 91 |

Samenvatting

Achtergrond

Het belangrijkste doel van de Kaderrichtlijn Water (2000/60/EC; KRW) is een goede grond- en oppervlaktewaterkwaliteit in 2015 (of onder strikte voorwaarde zo snel mogelijk daarna). Daarvoor wordt per stroomgebied een beheerplan opgesteld waarin is aangegeven welke doelen er gelden voor grond- en oppervlaktewater, hoe de kwaliteit behouden kan blijven en waar nodig verder verbeterd gaat worden. De waterbeheerders voorzien echter dat het voorgenomen beleid (mestbeleid en de stroomgebiedbeheerplannen) niet tot de gewenste nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater zal leiden; er zijn daarom ook extra bron- en/of effectgerichte maatregelen op perceel- en bedrijfsniveau noodzakelijk binnen de verschillende stroomgebieden.

Het ministerie van Economische Zaken (EZ) wil actief bijdragen aan het opstellen en de evaluatie van voorstellen voor de stroomgebiedbeheerplannen en wil bijdragen aan de onderbouwing door zowel kennis te laten ontwikkelen als de beschikbare kennis met de regio te delen.

In 2007 is, in opdracht van het voormalige ministerie van EL&I (nu EZ), door Alterra een onderzoekstraject voor de periode 2007-2015 ingezet om de kennisvragen van het ministerie te beantwoorden. De primaire kennisvragen waarop het ministerie antwoorden wenst te krijgen zijn:

- 1) Wat is de bijdrage van het generieke mestbeleid, maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen en aanvullende, landbouwkundige maatregelen aan de realisatie van de KRW- en de Natura 2000-normen voor nutriënten?
- 2) Wat is de kosteneffectiviteit van potentieel aanvullende, landbouwkundige maatregelen in het landelijk gebied om de concentraties aan nutriënten in het oppervlaktewater te verlagen?
- 3) Wat is het resterende gat ten opzichte van de normstelling voor nutriënten en hoe kan deze norm wel behaald worden met diverse maatregelen?

Doelstelling van dit project is om aan de Rijksoverheid en de stakeholders in de stroomgebieden inzicht te verschaffen in de verwachte realisatie van de KRW-doelen en welke aanvullende maatregelen mogelijk en kosteneffectief zijn. Het project is in overleg met de opdrachtgever gefaseerd uitgevoerd.

In dit rapport (Alterra-rapport 2326) worden de resultaten en conclusies beschreven van de kennisvragen die in de afgelopen twee jaar zijn beantwoord. De kennisvragen zijn hieronder nader gespecificeerd.

Plausibiliteit modelresultaten

De plausibiliteit van de rekenresultaten van ECHO zijn in deze studie in beeld gebracht door de uit metingen afgeleide stikstof- en fosforvracht in de uitstroompunten van de 124 stroomgebieden te vergelijken met de met ECHO berekende stikstof- en fosforvracht in de uitstroompunten. De plausibiliteit van de modelberekeningen wordt vervolgens weergegeven door een plausibiliteitsfactor, zijnde de berekende uitstroom aan nutriënten gedeeld door de gemeten (deels geschatte) uitstroom van de nutriënten. De berekende uitstroom zijn de berekende emissies van diffuse en puntbronnen verminderd met de retentie. Als de berekende nutriëntenvracht precies overeenkomt met de uit metingen afgeleide vracht wordt een plausibiliteitsfactor van 1,0 berekend.

1) Worden de resultaten van het modelinstrumentarium ECHO beter door het gebruik van nieuwe informatie over de meest recente uit- en afspoelingsgegevens (STONE 2.4; Evaluatie Meststoffenwet 2012), nutriëntenemissies uit de Emissieregistratie (ER 2009) en de nieuwe retentieschattingen?

Om na te gaan of het gebruik van nieuwe informatie tot betere resultaten leidt zijn de plausibiliteitsfactoren van de modelberekeningen vergeleken met de plausibiliteitsfactoren waarin gebruik gemaakt is van oudere gegevens (STONE 2.3, ER 2005 en andere retentieschattingen).

De berekende stikstofvracht in de zomerperiode, winterperiode en op jaarbasis komt met het gebruik van de nieuwe informatie beter overeen met de uit metingen afgeleide stikstofvracht dan in de vorige fase waarin gebruik gemaakt is van oudere gegevens. De mediane en gemiddelde plausibiliteitsfactor voor de 124 stroomgebieden liggen bij het gebruik van de nieuwe informatie dicht bij 1,0 dan bij het gebruik van de oudere informatie. Uit de analyse van de rekenresultaten blijkt dat de betere resultaten voor een deel verklaard worden door het gebruik van de nieuwe uit- en afspoelingsgegevens op basis van STONE 2.4. De grootste 'winst' wordt behaald bij het gebruik van de nieuwe retentieschatting voor stikstof en dan vooral de retentieschatting voor klei en veenpolders. Het effect van de nieuwe Emissieregistratie is op nationale schaal beperkt (<5%), maar kan lokaal vaak zeer relevant zijn.

Het gebruik van nieuwe informatie leidt meestal niet tot een betere match tussen de berekende fosforvracht en de uit metingen afgeleide fosforvracht. Als alleen gebruik wordt gemaakt van de meest recente uit- en afspoelingscijfers uit STONE 2.4 wordt een lichte verbetering gevonden, maar in combinatie met de andere data is een verslechtering zichtbaar. In tegenstelling tot stikstof leidt het gebruik van andere retentiewaarden voor fosfor niet tot betere resultaten. Dit kan voor een groot gedeelte verklaard worden doordat de retentiefactoren voor fosfor in poldersystemen en overgangsgebieden niet zijn aangepast.

2) Leidt het opsplitsen van een stroomgebied tot beter inzicht waar de 'problemen' liggen voor de verschillen tussen gemeten en berekende nutriëntenvrachten?

Op basis van de huidige resultaten is het (nog) niet mogelijk om deze kennisvraag te beantwoorden. Dit heeft enerzijds te maken met het feit dat het aantal pilotgebieden die in deze studie meegenomen konden worden beperkt is. Anderzijds heeft het opsplitsen van de drie pilotgebieden in meerdere subgebieden (in totaal acht) tot resultaten geleid waaruit geen duidelijke conclusies getrokken kunnen worden. Het lijkt noodzakelijk om het aantal pilotgebieden uit te breiden.

3) Zijn de modelresultaten van ECHO op een kleiner schaalniveau voldoende betrouwbaar om uitspraken te kunnen doen over de nutriëntenbelasting naar en nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater en daarmee inzicht in de doelrealisatie?

Het effect van een klein(er) schaalniveau op de plausibiliteit van modelresultaten is inzichtelijk gemaakt voor zeven pilotgebieden, waarbij onderscheid gemaakt is tussen pilotgebieden die (bijna) volledig zijn opgesplitst en gebieden waarbinnen kleinere subgebieden (polders) zijn geselecteerd. Het algemene beeld is dat de spreiding tussen de gemeten en berekende nutriëntenvracht tussen de jaren groter wordt naarmate kleinere eenheden worden onderscheiden, maar dat dit niet altijd resulteert in een lagere gemiddelde plausibiliteit van de modelresultaten over de jaren heen. Door het beperkt aantal stroomgebieden en daarmee niet representatief voor het nationale beeld, moeten ook deze resultaten vooralsnog met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

Aanbevelingen

- 1) Uit de resultaten blijkt dat er vooruitgang geboekt is bij het schatten van de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater op nationale schaal en dat dit voornamelijk wordt veroorzaakt door de betere inschatting van de stikstofretentie in het oppervlaktewater voor poldergebieden. Het gebruik van nieuwe gegevens heeft niet tot betere resultaten geleid voor fosfor. Een deel kan verklaard worden doordat de fosforretentie in polders en overgangsgebieden niet is aangepast. Het verdient dan ook de aanbeveling om het onderzoekstraject te continueren, waarbij onder andere de prioriteit moet worden gelegd bij de fosforretentie in het oppervlaktewater en vooral in polders en overgangsgebieden.
- 2) Voor een betere onderbouwing van de conclusies over de plausibiliteit van de ECHO-resultaten op een klein(er) schaalniveau is het gewenst dat het aantal pilotgebieden wordt uitgebreid naar geheel Nederland, waarin ieder uitstroompunt zijn eigen vanggebied heeft en afzonderlijke uitspraken gedaan kunnen worden voor klei-, veen- en zandgebieden.

Evaluatie Meststoffenwet 2012

In het onderdeel ex post van de Evaluatie Meststoffenwet 2012 is een overzicht gegeven van de ontwikkeling van de milieutoestand van de bodem en van het grond- en oppervlaktewater in relatie tot de mestwetgeving. Het gaat hier om de vruchtbaarheidstoestand van de bodem in termen van fosfaatstoestand en organische stofstoestand, de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater in landbouwgebieden en de nutriëntenconcentraties van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater. Voor het laatste onderdeel is de toestand en trends van de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater vanaf 1990 t/m 2010 in beeld gebracht door gebruik te maken van de waterkwaliteitsgegevens die door de waterbeheerders zijn aangeleverd en in dit achtergrondrapport zijn opgenomen.

Toestand en trends: landelijk

Het percentage meetlocaties dat aan de doelstellingen voor stikstof- of fosforconcentraties voldoet is sinds de periode 1990-1995 toegenomen en bedraagt voor de periode 2006-2010 voor zowel stikstof als fosfor ongeveer 50%. Het aantal meetlocaties dat voldoet aan de 'one out all out' toetsing is ongeveer 20% lager. Als aan één van de twee normen niet wordt voldaan, voldoet dus bijna 70% van de meetlocaties momenteel niet aan de doelstelling.

Landelijk is het beeld dat voor stikstof op jaarbasis 62% van de meetpunten sinds 1990 een dalende trend laat zien, in slechts 2% van de gevallen zijn er stijgende trends en in 35% van de gevallen is de trend niet significant. Dat kan wijzen op een stabiele situatie, of op een kleine trend die met het aantal waarnemingen niet als significant kan worden aangewezen. Als we de zomer- en winterperioden separaat beschouwen neemt het aantal niet-significante trends toe, ten koste van het aantal dalende trends. Zowel in de zomer als in de winter heeft ongeveer de helft van de meetpunten een dalende trend. Ca. 57% van de meetpunten laten sinds 1990 een dalende trend zien van de fosforconcentratie, in 7% van de meetpunten is er een stijgende trend zichtbaar.

Toestand en trends: per grondsoort

Het percentage meetlocaties dat aan de doelstellingen voor stikstof of fosfor voldoet is voor alle grondsoort sinds 1990-1995 toegenomen. Het percentage meetlocaties dat in 2006-2010 aan de stikstofdoelen voldoet is in veengebieden het hoogst (57%), gevolgd door de zandgebieden (52%) en de kleigebieden (49%). Voor de fosfordoelstelling is het resultaat voor de periode 2006-2010 juist andersom: doelrealisatie kleigebieden (70%), zandgronden (42%) en veengebieden (19%).

Relatief worden de meeste dalende trends gevonden in het zandgebied (80%), gevolgd door de kleigebieden (59%) en veengebieden (38%). Op veen vinden we de meeste stijgende trends (4%), tegen 0-2% in de overige grondsoorten, deze verschillen zijn klein.

De verschillen in trends voor de fosforconcentratie tussen grondsoorten zijn vergelijkbaar met die voor stikstof: de meeste dalende trends worden gevonden in zand (76%) en de minste in veen (43%).

Optimalisatie maatregelenpakket

4) *Is het mogelijk om de aanvullende, landbouwkundige maatregelen efficiënter in te zetten door rekening te houden met de kosteneffectiviteit van maatregelen, de gewenste nutriëntenconcentraties en de afwenteling tussen stroomgebieden?*

Om deze vraag te beantwoorden is nagegaan of het mogelijk is om het toepassingsgebied van de aanvullende landbouwkundige maatregelen die in dit onderzoek zijn meegenomen te begrenzen om onevenredig hoge kosten en lage kosteneffectiviteit te vermijden. In voorgaande berekeningen zijn de maatregelen overal toegepast waar deze mogelijkerwijs een effect beogen, zonder rekening te houden met de kosten van de maatregelen, gewenste nutriëntenconcentraties en afwenteling naar benedenstroomse gebieden.

Voor het vermijden van onevenredig hoge kosten en daardoor een lage kosteneffectiviteit (hoge kosten per kg N- of P-reductie) is inzicht nodig in de 'beste' beheerstrategie (= combinatie van maatregelen) waarin rekening wordt gehouden met de kosteneffectiviteit van maatregelen, gewenste nutriëntenconcentraties en de afwenteling naar benedenstroomse gebieden. Een systeem dat geschikt is voor het zoeken naar een 'optimale' beheerstrategie is het systeem Waterwijs.

Verkennde berekeningen met het modelinstrumentarium Waterwijs laten zien dat het totale areaal waar maatregelen worden toegepast met de bijbehorende totale kosten aanzienlijk kunnen worden gereduceerd, zonder dat het aantal gebieden dat aan de doelstelling voor de stikstof- en fosforconcentraties voldoet, afneemt (tabel A).

Tabel A

Areaal waarop de maatregel zou moeten worden toegepast om aan oppervlaktewaterkwaliteitsdoelstellingen te voldoen en de kosten van het maatregelenpakket voor en na de optimalisatie.

| | Areaal maatregel (ha * 1000) | | Kosten maatregelen (miljoen euro) | |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| | Voor optimalisatie ¹⁾ | Na optimalisatie ²⁾ | Voor optimalisatie ¹⁾ | Na optimalisatie ²⁾ |
| Geen P-kunstmest | 1952 | 342 | - | - |
| Voorjaarstoediening | 463 | 107 | - | - |
| Vergroten mestopslag | 974 | 96 | 97 | 5,5 |
| Precisiebemesting | 968 | 88 | 59 | 7,4 |
| Aanpassen bouwplan | 746 | 94 | 88 | 5,7 |
| Uitmijnen | 1952 | 136 | 250 | 21,8 |
| DSPD* | 188 | 128 | 83 | 7,9 |
| Droge, onbemeste bufferstroken | 1127 | 95 | 83 | 5,7 |
| Helofytenfilters | 6,5 | 4,4 | 149 | 95 |
| Totaal | 8370 | 1087 | 810 | 149 |

¹⁾ Maatregelen worden overal toegepast waar deze mogelijkerwijs effect beogen.

²⁾ Areaal waar maatregelen worden toegepast na het zoeken van de 'beste' beheerstrategie.

Het areaal te nemen maatregelen neemt af van gemiddeld 4,3 per ha naar gemiddelde 0,6 maatregelen per ha voor het bij de gegeven beleidsdoelen en randvoorwaarden optimale maatregelenpakket. Deze efficiëntere inzet van de maatregelen wordt bereikt doordat:

- er geen aanvullende maatregelen worden ingezet in stroomgebieden zodra aan de nutriëntendoelstelling wordt voldaan;
- er rekening wordt gehouden met afwenteling, waardoor aanvullende maatregelen worden ingezet op de meest juiste i.e. kosteneffectieve plek;
- de efficiëntere inzet van helofytenfilters benedenstrooms waardoor ook de nutriënten vanuit andere bronnen worden gezuiverd.

Het met Waterwijs zoeken naar een optimaal maatregelenpakket blijkt te resulteren in een forse afname van de totale kosten. De kosten nemen met 661 miljoen euro af (ruim 80%).

Nutriëntenemissies naar het oppervlaktewater

Op verzoek van het ministerie zijn de nutriëntenemissies naar het oppervlaktewater vastgesteld en wel voor de volgende wateren (tabel B):

- Regionaal oppervlaktewatersysteem.
- Rijkswateren.
- Noordzee (OSPAR).

Tabel B

Nutriëntenbelasting (10^6 kg/jaar) naar het regionaal oppervlaktewatersysteem, Rijkswateren en de Noordzee voor verschillende zichtjaren.

| | Stikstof | | | | Fosfor | | | |
|--|------------|------------|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | 1995 | 2000 | 2005 | 2009 | 1995 | 2000 | 2005 | 2009 |
| Aanvoer kleine buitenlandse beken | 21 | 20 | 14 | 14 | 0,7 | 0,7 | 0,4 | 0,6 |
| Emissies Nederlandse bronnen | 139 | 131 | 82 | 60 | 9,1 | 9,0 | 6,7 | 5,6 |
| Emissies naar het lokaal en regionaal oppervlaktewatersysteem | 160 | 151 | 96 | 74 | 9,8 | 9,7 | 7,1 | 6,2 |
| Retentie regionaal en lokaal oppervlaktewatersysteem | 39 | 35 | 21 | 17 | 2,7 | 3,0 | 2,1 | 1,7 |
| Emissies uit het regionale systeem | 121 | 116 | 75 | 57 | 7,1 | 6,7 | 5,0 | 4,5 |
| Instream buitenland via grote rivieren | 469 | 355 | 254 | | 23,3 | 19,2 | 10,7 | |
| Vracht naar Nederlandse Rijkswateren | 590 | 471 | 329 | | 30,4 | 25,9 | 15,7 | |
| Retentie Rijkswateren | 109 | 91 | 74 | | 8,7 | 7,0 | 4,5 | |
| Vracht naar Noordzee | 481 | 380 | 255 | | 21,7 | 18,9 | 11,2 | |

Regionaal oppervlaktewatersysteem

De belasting van het regionaal oppervlaktewatersysteem is de som van de emissies uit binnenlandse bronnen en de aanvoer van nutriënten vanuit de kleinere buitenlandse beken.

De belasting van de regionale wateren vanuit binnenlandse bronnen in 2009 wordt voor een aanzienlijk deel veroorzaakt door de uit- en afspoeling van landbouwgronden (61% voor stikstof en 54% voor fosfor).

Daarnaast spelen ook de RWZI's een rol. Voor stikstof is ook atmosferische depositie nog relevant, de andere bronnen dragen in veel mindere mate bij.

Sinds 1995 is de belasting van het regionaal oppervlaktewater fors gedaald. De stikstofemissie vanuit de Nederlandse bronnen is gedaald van 139 miljoen kg in 1995 naar 60 miljoen kg in 2009 (afname van ruim 50%). Ook de fosforbelasting vanuit binnenlandse bronnen is ongeveer gehalveerd (11,2 miljoen kg in 1995 tot 5,6 miljoen kg in 2009).

Rijkswateren

De vrachten naar de Rijkswateren zijn afkomstig van emissies uit binnenlandse bronnen, de instroom uit het buitenland via de kleinere beken en de aanvoer vanuit het buitenland via de rivieren Maas, Rijn, Schelde en Eems. De emissies van de binnenlandse bronnen en van de kleinere buitenlandse beken komen eerst in het regionaal oppervlaktewatersysteem terecht. Tijdens het transport door het lokale en regionale oppervlaktewatersysteem 'verdwijnt' een deel van de nutriënten door vastlegging of omzetting (retentie).

De vracht naar de Rijkswateren is dus de resultante van de emissies uit binnenlandse bronnen en kleinere buitenlandse beekjes op het regionaal watersysteem minus de retentie in het regionaal watersysteem plus de instroom vanuit de grote rivieren Maas, Rijn, Schelde en Eems.

De totale vracht naar Rijkswateren in 2005 is 329 miljoen kg stikstof, waarvan ruim 75% afkomstig is vanuit het buitenland via de grote rivieren (Maas, Rijn, Schelde en Eems). Ca. 68% van de totale fosforvracht (15,7 miljoen kg in 2005) wordt door de grotere rivieren aangevoerd.

Noordzee

De nutriënten in de Nederlandse Rijkswateren zijn afkomstig uit binnenlandse bronnen en uit import uit het buitenland via de kleinere beken en de rivieren Maas, Rijn, Schelde en Eems. Vervolgens kan de nutriëntenbelasting naar de Noordzee voor de verschillende jaren worden bepaald.

De emissies naar en retentie in het regionale systeem, evenals de instroom vanuit de kleinere buitenlandse beekjes, zijn in deze studie berekend, de instroom vanuit het buitenland via de Maas, Rijn, Schelde en Eems en de retentie in de Rijkswateren zijn overgenomen uit het rapport van De Klein (2007).

De totale vracht naar de Noordzee bedroeg in 2005 ca. 255 miljoen kg stikstof en 11,2 miljoen kg fosfor.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Het belangrijkste doel van de Kaderrichtlijn Water (2000/60/EC; KRW) is een goede grond- en oppervlaktewaterkwaliteit in 2015 (of onder strikte voorwaarde zo snel mogelijk daarna). Daarvoor wordt per stroomgebied een beheerplan opgesteld waarin is aangegeven welke doelen er gelden voor grond- en oppervlaktewater, hoe de kwaliteit behouden kan blijven en waar nodig verder verbeterd gaat worden. De waterbeheerders voorzien dat het voorgenomen beleid (mestbeleid en de plannen uit de stroomgebiedbeheerplannen) niet tot de gewenste nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater zal leiden en daarom zijn extra maatregelen op perceel- en bedrijfsniveau noodzakelijk.

Directie Landbouw van het ministerie van Economische Zaken (EZ) wil actief bijdragen aan het opstellen en de evaluatie van voorstellen voor de stroomgebiedbeheerplannen en wil bijdragen aan de onderbouwing door zowel kennis te laten ontwikkelen als de beschikbare kennis met de regio te delen. In 2007 is, in opdracht van het voormalig ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I), door Alterra een onderzoekstraject voor de periode 2007-2015 ingezet om de kennisvragen van het ministerie te beantwoorden. De primaire kennisvragen waarop het ministerie antwoorden wenst te krijgen zijn:

- 1) *Wat is de bijdrage van het generieke mestbeleid, maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen en aanvullende, landbouwkundige maatregelen aan de realisatie van de KRW- en de Natura 2000 doelen voor nutriënten?*
- 2) *Wat is de kosteneffectiviteit van potentieel aanvullende, landbouwkundige maatregelen in het landelijk gebied om de concentraties aan nutriënten in het oppervlaktewater te verlagen?*
- 3) *Wat is het resterende gat ten opzichte van de normstelling voor nutriënten en hoe kan deze norm wel behaald worden met diverse maatregelen?*

Doelstelling van dit project is om Rijksoverheid en stakeholders in de stroomgebieden inzicht te verschaffen in de verwachte realisatie van de KRW-doelen en welke aanvullende maatregelen mogelijk en kosteneffectief zijn. Het project is in overleg met de opdrachtgever gefaseerd uitgevoerd. In dit rapport worden de resultaten en conclusies beschreven van de kennisvragen die in de afgelopen twee jaar zijn beantwoord. De resultaten van de voorgaande fases worden in de volgende paragrafen beschreven.

1.2 Fase 1 (2007-2008)

In 2007 heeft de Directie Landbouw van het toenmalige ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) aan Alterra gevraagd om een eerste verkennende berekening en analyse uit te voeren op basis van de destijds beschikbare kennis om inzicht in de relatie landgebruik, maatregelen en waterkwaliteit te vergroten. Voor het beantwoorden van de primaire kennisvragen heeft Alterra een modelinstrumentarium ontwikkeld waarmee de Effecten van maatregelen op de **CH**emische toestand van het **O**ppervlaktewater in beeld kunnen worden gebracht (ECHO, Kroes et al., 2011).

De resultaten van dit onderzoek zijn vastgelegd in Alterra-rapport 1687 getiteld: *Ex ante evaluatie landbouw en KRW. Effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten* (Van der Bolt et al., 2008). De belangrijkste conclusies uit het rapport zijn:

- Met het voorgenomen beleid (mestbeleid en maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen) en aanvullende, landbouwkundige maatregelen is in 2027 vergeleken met 2000 een reductie van de stikstof- en fosforstromen in het oppervlaktewater van ongeveer 50% haalbaar.
- Met het voorgenomen beleid voldoet in het zichtjaar 2027 ongeveer 41% van de in deze studie onderscheiden stroomgebieden aan de gewenste stikstofconcentratie en 34% aan de gewenste fosforconcentratie.
- Met aanvullende landbouwkundige maatregelen neemt het percentage stroomgebieden dat in 2027 aan de gewenste nutriëntenconcentratie voldoet toe naar 58% voor stikstof en 54% voor fosfor.
- De effectiviteit en kosten van aanvullende, landbouwkundige maatregelen waren in fase 1 (2008) summier bekend, waardoor niet alle maatregelen konden worden doorgerekend. Ook was niet bekend hoe de bronnen van onzekerheden doorwerken op de resultaten en de conclusies.

De resultaten van fase 1 vormde de basis voor een regelmatig terugkerende en steeds verder verbeterende studie tot het einde van het KRW-traject.

1.3 Fase 2 (2009-2010)

In het voorjaar van 2009 is een vervolgtraject ingezet waarin in samenspraak met de regionale waterbeheerders steeds gericht is gewerkt en waarin de kennis en inzichten uit andere projecten (Monitoring Stroomgebieden (Woestenburg en Leenders, 2011), Evaluatie Meststoffenwet, MNP, 2007, etc.) continu doorstromen.

Het vervolgtraject bestaat uit verschillende onderdelen die parallel aan elkaar zijn uitgevoerd:

- 1) Verdere ontwikkeling van het modelinstrumentarium ECHO.
- 2) Ontwikkelen en onderhouden van kennis en gegevens over de (kosten)effectiviteit van aanvullende, landbouwkundige maatregelen en delen met de Rijksoverheid en stakeholders in de stroomgebieden.
- 3) Update van de *Evaluatie landbouw en KRW*, waarin de bijdragen van het mestbeleid en aanvullende, landbouwkundige maatregelen aan de verbeteringen van de waterkwaliteit in beeld worden gebracht.

1) Ontwikkeling modelinstrumentarium (ECHO)

In fase 1 is het modelinstrumentarium ECHO ontwikkeld waarmee de chemische toestand van het oppervlaktewater in beeld kan worden gebracht. Tevens kunnen met ECHO de effecten van voorgenomen beleid (mestbeleid en maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen) en aanvullende, landbouwkundige maatregelen op de realisatie van de KRW-doelen doorgerekend worden. Door onzekerheden in nutriëntenbelastingen, stofretenties in het oppervlaktewatersysteem, debiet/concentratie metingen etc. is gekozen voor een stapsgewijze verbetering van ECHO, die in ruimtelijke zin werkt van grof naar fijn(er), waarbij de WIS-eenheden (Waterstaatkundig Informatie Systeem) zijn gebruikt als basiseenheden. Vervolgens worden deze opgeschaald tot het gewenste schaalniveau voor zover deze in overeenstemming zijn met het fysieke watersysteem.

In ECHO worden géén modelparameters gekalibreerd. Dit gebeurt vanuit het oogpunt dat alle water- en stofbelastingen zijn opgelegd (inclusief bijbehorende onzekerheden) en het feit dat voor kalibratie één parameter beschikbaar is, nl. de stofretentie in het oppervlaktewater. Door retentie als kalibratiefactor te gebruiken bestaat er een zeer reëel risico dat fouten in de water- en stofbelastingen ten onrechte worden verdisconteerd in de retentie met directe gevolgen voor de inschattingen van effecten van maatregelen.

Daarom is er voor gekozen om stapsgewijs, met de best onderbouwde schattingen voor de retentie, inzichtelijk te maken hoe de berekende resultaten zich verhouden tot de metingen op verschillende schaalniveaus. Hiervoor worden zogenaamde 'plausibiliteitsfactoren' bepaald.

Door deze factoren uit te splitsen naar stof, periode, type watersysteem, etc., en vervolgens onderling te vergelijken wordt inzicht verkregen in waar de grootste onzekerheden/verschillen zich bevinden tussen berekende en gemeten waarden. Dit geeft zowel een beter inzicht in de systeemwerking als richting aan het zoeken naar verbeteringen.

2) Effecten en (kosten)effectiviteit van aanvullende, landbouwkundige maatregelen

Met het modelinstrumentarium ECHO zijn de effecten van voorgenomen beleid en aanvullende landbouwkundige maatregelen op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater in beeld gebracht (tabel 1).

Tabel 1

Overzicht van de maatregelen die in het onderzoek zijn doorgerekend.

| Hoofdvariant | Deelpakket | Maatregel |
|-------------------------|--|--------------------------------|
| Voorgenomen beleid | Mestbeleid | - |
| | Regionaal maatregelenpakket | - |
| Aanvullende maatregelen | Bedrijf | Geen P-kunstmest |
| | | Voorjaarstoediening |
| | Perceel | Vergroten mestopslag |
| | | Precisiebemesting |
| Sloot | Bouwplan aanpassen | |
| | Uitmijnen | |
| | Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage | |
| | | Droge, onbemeste bufferstroken |
| | | Helofytenfilters |

Voorgenomen beleid

Ten tijde van de ex ante evaluatie van de Meststoffenwet (MNP, 2007) was het voorgenomen mestbeleid nog niet helemaal ingevuld en zijn rekenvarianten van gebruiksnormen doorgerekend. De variant 'aanscherpen gebruiksnormen voor de akker- en tuinbouwgewassen met 20% ten opzichte van 2006' en de 'realisatie van evenwichtsbemesting in 2015' uit de EMW-2007 benaderde de vastgestelde gebruiksnormen voor 2008 en 2009 het meest en is daarom in deze studie gebruikt om het mestbeleid te beschrijven.

Het regionale maatregelenpakket is opgebouwd uit maatregelen die voor de implementatie van de KRW aan het toenmalige ministerie van Verkeer & Waterstaat geleverd zijn. De maatregelen in de stroomgebiedbeheerplannen van de waterbeheerders hebben in belangrijke mate betrekking op inrichting en beheer van hoofdwaterlopen en aanpassingen in waterketen (riolering, RWZI's, industriële lozingen). De effecten van de maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen en de bijbehorende kosten zijn door de waterbeheerders geschat en zijn waar nodig door het voormalig MNP (2008) aangevuld. De resulterende effecten en kosten zijn zonder verdere controles of beoordelingen in deze studie gebruikt. Daarbij zijn alleen de maatregelen in de A-watgangen verwerkt omdat de Rijkswateren in deze studie niet zijn meegenomen.

Aanvullende, landbouwkundige maatregelen

De effecten van aanvullende, landbouwkundige maatregelen op de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater zijn niet altijd goed bekend. De beschikbare kennis over de kosteneffectiviteit van maatregelen zijn in deze studie op gestructureerde wijze vastgelegd en gedocumenteerd. De wijze waarop de maatregelen zijn

verzameld, geselecteerd en gedocumenteerd zijn vastgelegd in een achtergrondrapport (Alterra-rapport 1987, Van Boekel et al., 2010).

In deze studie zijn uiteindelijk negen aanvullende, landbouwkundige maatregelen doorgerekend waarvoor voldoende kennis beschikbaar is om de effecten op de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater in beeld te brengen.

3) Update evaluatie landbouw en KRW

Het verbeteren van het modelinstrumentarium ECHO, het ontwikkelen van kennis over de (kosten)effectiviteit van maatregelen en het delen van de beschikbare kennis en resultaten met de waterbeheerders zijn parallel aan elkaar uitgewerkt en komen samen in een update van de *Evaluatie Landbouw en KRW*.

In 2008 zijn de resultaten van de eerste evaluatie (fase 1) vastgelegd in Alterra-rapport 1687 (Van der Bolt et al., 2008). In fase 2 is een update uitgevoerd van de *evaluatie landbouw en KRW* en vastgelegd in Alterra-rapport 2121 (Van Boekel et al., 2011). De resultaten van fase 2 komen in grote lijnen overeen met de berekeningen in fase 1:

- Met het voorgenomen beleid (mestbeleid en maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen) en aanvullende landbouwkundige maatregelen is in 2027 vergeleken met 2000 een reductie van de stikstof- en fosforstromen in het oppervlaktewater haalbaar van 44% voor stikstof en 45% voor fosfor.
- In de referentiesituatie (2000) wordt in 34% van de stroomgebieden de doelrealisatie van stikstof gehaald en in 30% van de stroomgebieden de fosfordoelstelling.
- Met het voorgenomen beleid neemt het aantal gebieden dat in 2015 aan de stikstofdoelstelling voldoet toe tot 55%, 47% voldoet aan de fosfordoelstelling.
- Na het doorvoeren van de aanvullende, landbouwkundige maatregelen neemt het aantal stroomgebieden dat in 2015 aan de doelstellingen voldoen verder toe naar ongeveer 57% voor zowel stikstof als fosfor. Voor de overige stroomgebieden (ruim 40%) wordt ook na het nemen van de aanvullende, landbouwkundige maatregelen de doelstelling in 2015 niet gehaald.

In fase 2 zijn, naast het beantwoorden van de primaire kennisvragen, ook de resultaten gepresenteerd van een onzekerheid- en gevoeligheidsanalyse en is aandacht besteed aan de plausibiliteit van de modelresultaten. De belangrijkste conclusies zijn:

- De aanpassingen in het modelinstrumentarium ECHO en het uitbreiden en verbeteren van de kwaliteit van de basisbestanden resulteren voor veel stroomgebieden tot een betere 'match' tussen berekende en uit metingen afgeleide nutriëntenvrachten nabij de uitstroompunten van de stroomgebieden.
- De resultaten van de onzekerheidsanalyse (alleen uitgevoerd voor vrij-afwaterende gebieden) geven aan dat de onzekerheden in berekende en uit metingen afgeleide nutriëntenvrachten aanzienlijk kunnen zijn.
- Op basis van de gevoeligheidsanalyse blijkt dat de retentie van nutriënten in het oppervlaktewater de grootste bijdrage levert aan de onzekerheid van de berekende nutriëntenvracht in de uitstroompunten van de stroomgebieden. Ook de uit- en afspoelingsgegevens (STONE 2.3) en de bijdrage van de RWZI's dragen voor een belangrijk deel bij aan de onzekerheid.

1.4 Fase 3 (2011, 2012)

De resultaten uit fase 1 en fase 2 zijn gebruikt bij de verdere invulling van het vervolgtraject in 2011. In overleg met het ministerie van EL&I zijn de prioriteiten vastgesteld en zijn drie onderzoeksvragen geformuleerd:

- 1) Worden de resultaten van het modelinstrumentarium ECHO beter door het gebruik van nieuwe informatie over de meest recente uit- en afspoelingsgegevens (STONE 2.4; Evaluatie Meststoffenwet, 2012), nutriëntenemissies uit de Emissieregistratie (ER, 2009) en de retentieschattingen?

- 2) Wat is de plausibiliteit van de modelresultaten wanneer kleinere stroomgebieden worden onderscheiden? Leidt het opsplitsen van een stroomgebied tot beter inzicht waar de 'problemen' liggen voor de verschillen tussen berekende en uit metingen afgeleide nutriëntenvrachten? Zijn de modelresultaten van ECHO op een kleiner schaalniveau voldoende plausibel om uitspraken te kunnen doen over de nutriëntenbelasting naar en nutriëntenconcentraties in de uitstroompunten en daarmee inzicht in de doelrealisatie?
- 3) Is het mogelijk om de aanvullende, landbouwkundige maatregelen efficiënter in te zetten, waarbij rekening wordt gehouden met de kosteneffectiviteit van maatregelen, de gewenste nutriëntenconcentraties en afwenteling tussen stroomgebieden?

1.5 Evaluatie Meststoffenwet 2012

In 2012 heeft de evaluatie plaatsgevonden van de effectiviteit en de werking van de meststoffenwet in de praktijk (Evaluatie Meststoffenwet 2012). De evaluatie van de Meststoffenwet 2012 is opgebouwd uit een ex post deel (terugkijken), een ex ante deel (vooruitkijkend) en een synthese.

In het onderdeel ex post (Van der Bolt en Schoumans, 2012) wordt een overzicht gegeven van de ontwikkeling van de milieutoestand van de bodem en van het grond- en oppervlaktewater in relatie tot de mestwetgeving. Het gaat hier om de vruchtbaarheidstoestand van de bodem in termen van fosfaattoestand en organische stoftoestand, de nitraatconcentratie in het bovenste grondwater in landbouwgebieden en de nutriëntenconcentraties van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater. Voor de nutriëntenconcentraties van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater zijn drie kennisvragen benoemd:

- 1) *Wat is de ontwikkeling in tijd van de kwaliteit van het oppervlaktewater als het gaat om stikstof en fosfor in de diverse regio's en sectoren?*
- 2) *Wat is de huidige milieukwaliteit van oppervlaktewater als het gaat om stikstof en fosfor?*
- 3) *Waar liggen de gebieden met voldoende respectievelijk onvoldoende milieukwaliteit en op welk aspect is de milieukwaliteit eventueel onvoldoende?*

Voor het beantwoorden van de kennisvragen is inzicht nodig in de trend en huidige toestand van de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater en de emissies naar het oppervlaktewater. Hiervoor is gebruik gemaakt van de resultaten uit deze studie. Dit rapport heeft daarom de status gekregen van achtergrondrapportage van de Evaluatie Meststoffenwet 2012, onderdeel ex post.

1.6 Leeswijzer

Na deze inleiding (hoofdstuk 1) wordt de gevolgde methode beschreven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 wordt de overeenkomst tussen rekenresultaten en metingen geanalyseerd, in hoofdstuk 4 worden de gemeten toestand en trends in oppervlaktewaterkwaliteit beschreven, hoofdstuk 5 beschrijft de emissies en in hoofdstuk 6 wordt verkend wat het optimaliseren van het maatregelenpakket oplevert. In hoofdstuk 7 wordt geconcludeerd wat het effect is van de verbeteringen en uitbreidingen en hoe deze kunnen worden ingezet voor de zowel de evaluatie van de meststoffenwet als de implementatie van het KRW-proces.

2 Werkwijze fase 3

In overleg met het ministerie van EL&I zijn prioriteiten gesteld voor de invulling van fase 3. Fase 3 kan worden ingedeeld in drie deelactiviteiten:

- 1) Verdiepen inhoudelijke basis (paragraaf 2.1).
- 2) Toestand en trends in het oppervlaktewater in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet (paragraaf 2.2).
- 3) Optimalisatie aanvullende maatregelen/maatregelenpakket (paragraaf 2.3).

2.1 Inhoudelijke basis

In voorgaande fases van het onderzoekstraject is het modelinstrumentarium ECHO ontwikkeld en verbeterd. ECHO maakt gebruik van verschillende invoerbestanden. In paragraaf 2.1.1 worden de verschillende invoerbestanden nader toegelicht. De retentieschattingen van nutriënten in het oppervlaktewater worden in paragraaf 2.1.2 toegelicht. Met ECHO is het mogelijk om effecten van maatregelen door te rekenen. Hiervoor is het belangrijk dat de met ECHO berekende water- en stofbalansen plausibel zijn. In paragraaf 2.1.3 wordt aangegeven op welke manier de plausibiliteit (betrouwbaarheid) van de modelresultaten wordt getoetst.

2.1.1 Invoergegevens ECHO

ECHO maakt gebruik van de volgende invoerbestanden:

- Een GIS-bestand met de gebiedsindeling.
- Database met kwaliteit- en kwantiteitsmeetpunten.
- Data uit de Emissieregistratie.
- STONE-berekeningen (uit- en afspoeling).
- Retentieschattingen van nutriënten in het oppervlaktewater.

Gebiedsindeling

In fase 1 van het onderzoek is, in overleg met de opdrachtgever (voormalig ministerie van EL&I) en de begeleidingscommissie (vertegenwoordigers van de waterbeheerders), gekozen voor een onderverdeling in 119 waterhuishoudkundige stroomgebieden op basis van hydrologische grenzen.

In fase 2 van het onderzoek is de gebiedsindeling in overleg met de individuele waterbeheerders verder aangepast. Uiteindelijk heeft dit in fase 3 geresulteerd in een indeling in 124 stroomgebieden (figuur 1).



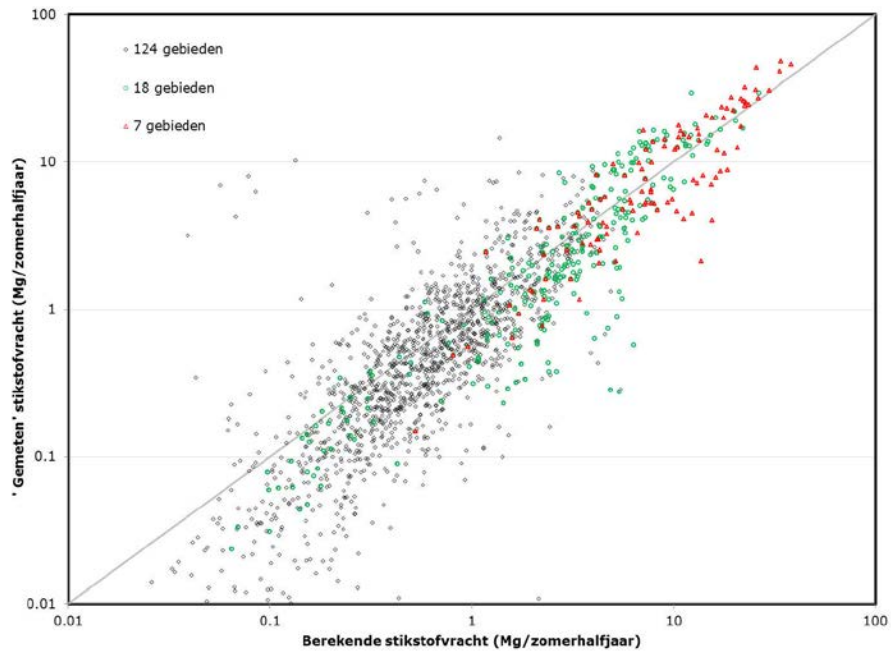
Figuur 1
Indeling van de stroomgebieden in kader van de Evaluatie Landbouw en KRW.

Het gewenste schaalniveau waarop waterbeheerders informatie willen hebben over de effecten en kosten van maatregelen en de realisatie van de KRW-nutriëntendoelen is veel gedetailleerder (niveau van waterlichamen) dan de 124 stroomgebieden.

Uit de voorgaande fases blijkt echter dat naarmate kleinere stroomgebieden worden onderscheiden de plausibiliteit van de modelberekeningen minder wordt. Hierdoor ontstaat de vraag of ECHO op basis van de beschikbare gegevens op een gedetailleerder schaalniveau kan worden toegepast (figuur 2 en figuur 3).

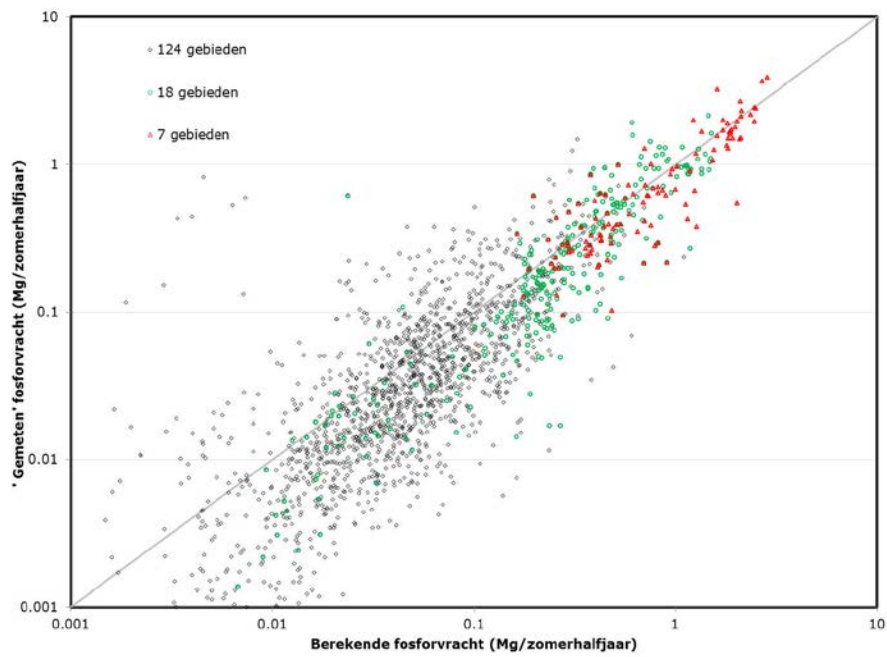
In de figuren zijn de berekende nutriëntenvrachten (x-as) uitgezet tegen de uit metingen afgeleide nutriëntenvracht (y-as) in de uitstroompunten van de gebieden. Dit is voor verschillende schaalniveaus gedaan (de zeven KRW-deelstroomgebieden, de 18 WB21-gebieden en de 124 stroomgebieden).

De stikstof- en fosforvracht in de uitstroompunten voor de onderscheiden stroomgebieden wordt zowel onderschat (de punten boven de 1:1 lijn) als overschat (de punten onder de 1:1 lijn). De afstand tot de 1:1 lijn neemt voor stikstof en fosfor toe naarmate kleinere eenheden worden onderscheiden en daarmee dus de plausibiliteit van de modelresultaten.



Figuur 2

Gemeten versus berekende stikstofconcentraties in het zomerhalfjaar op drie schaalniveaus (Van Boekel et al., 2011).



Figuur 3

Gemeten versus berekende fosforconcentraties in het zomerhalfjaar op drie schaalniveaus (Van Boekel et al., 2011).

Het gewenste schaalniveau van de waterbeheerders (waterlichamen) en de resultaten uit voorgaande fases leiden tot de volgende vragen:

- 1) Leidt het opsplitsen van een stroomgebied tot beter inzicht waar de 'problemen' liggen voor de verschillen tussen berekende en uit metingen afgeleide nutriëntenvrachten?
- 2) Zijn de modelresultaten van ECHO op een kleiner schaalniveau voldoende plausibel om uitspraken te kunnen doen over de nutriëntenbelasting in gebieden, de nutriëntenconcentraties in de uitstroompunten en in de doelrealisatie?

In fase 3 zijn daarom, in overleg met de regionale waterbeheerders, zeven pilot-gebieden geselecteerd die of zijn opgesplitst in subgebieden of waarbinnen een klein stroomgebiedje (polder) is geselecteerd. De zeven pilot-gebieden liggen verspreid over Nederland met verschillende hydrologische uitgangssituaties en bodemkenmerken (figuur 4).



Figuur 4

Ruimtelijke spreiding van de zeven pilot-gebieden in Nederland.

De manier waarop de stroomgebieden verder zijn onderverdeeld is niet voor elk gebied hetzelfde (tabel 2). De stroomgebieden *Alm en Biesbosch*, *Baaksche Beek* en *Beek en Krekenstelsel Roosendaal* zijn bijna in zijn geheel opgesplitst. Bij het onderverdelen van het stroomgebied *Noordelijke Venen* zijn grote delen van het stroomgebied niet meer meegenomen. Dit gaat vooral om de grotere watervlakken in het stroomgebied, waaronder de Vinkeveense Plassen en Tussenboezem Vinkeveen (a en b). De stroomgebieden *Eem* en *Friesche boezem veen en zuidelijke klei* zijn niet verder onderverdeeld, maar is in overleg met het waterschap gekozen om één of meer polders te kiezen, Polders Bikkers de Haar, Vierhuis en Rodenburgpolder.

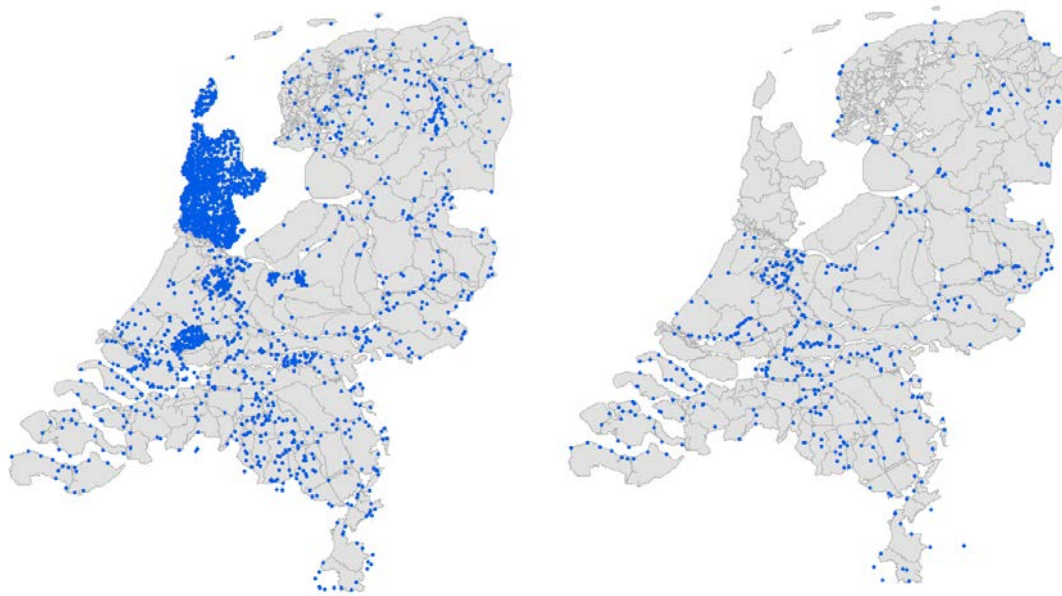
Tabel 2

De zeven pilotgebieden met de verdere onderverdeling.

| Waterschap | Deelgebied | (Deel)stroomgebied | Oppervlakte | |
|-----------------------|------------|---|---------------|-----|
| | | | ha | % |
| Rivierenland | | <i>Alm en Biesbosch</i> | 18.980 | |
| | 1 | Oostwaard | 2.564 | 14 |
| | 2 | Land van Heusden & Altena | 13.872 | 73 |
| Rijn en IJssel | | <i>Baakse Beek</i> | 36.614 | |
| | 1 | Baakse Beek | 20.537 | 56 |
| | 2 | Grote Beek | 10.101 | 28 |
| | 3 | Oosterwijkse Vloed | 5.005 | 14 |
| Brabantse Delta | | <i>Beek en Kreekstelsel Roosendaal</i> | 20.703 | |
| | 1 | Molenbeek | 10.404 | 50 |
| | 2 | Kruislandse Kreeken | 7.491 | 36 |
| | 3 | De Ligne | 2.805 | 14 |
| Vallei en Eem | | <i>Eem</i> | 26.869 | |
| | 1 | Polders Bikkers De Haar | 2.618 | 9,7 |
| Friesland | | <i>Friesche boezem zuidelijke klei</i> | 58.880 | |
| | 1 | Rodenburgpolder | 201 | 0,3 |
| | | <i>Friesche boezem veen</i> | 74.999 | |
| 1 | Vierhuis | 1.981 | 2,6 | |
| Amstel, Gooi en Vecht | | <i>Noordelijke Venen</i> | 12.680 | |
| | 1 | Deelgebied 1 | 309 | 2,4 |
| | 2 | Deelgebied 3 | 1.460 | 11 |
| | 3 | Deelgebied 4 | 1.308 | 10 |

Database

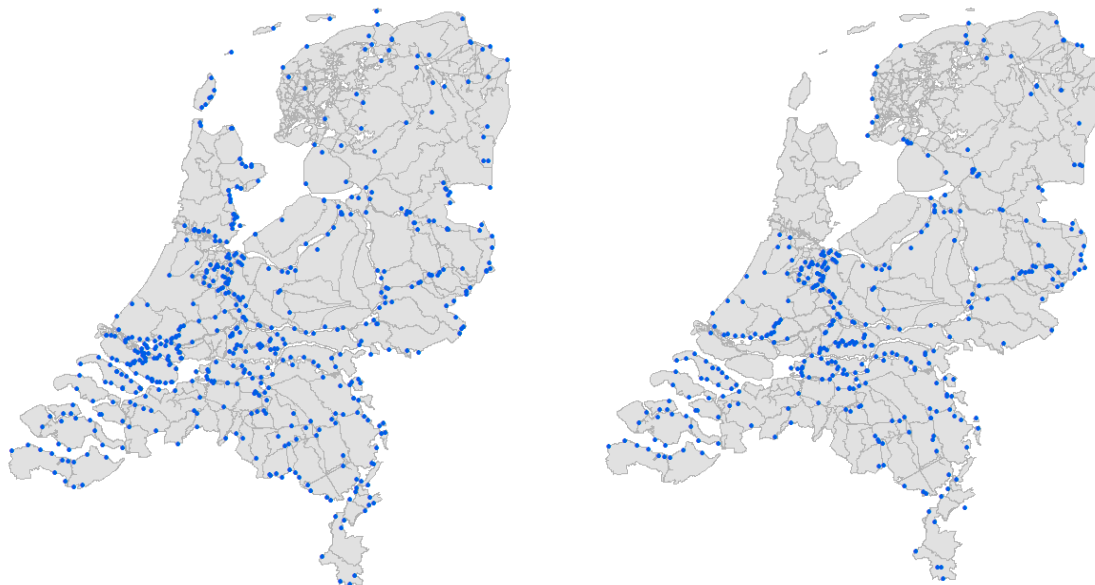
De meetgegevens (kwaliteit en kwantiteit) die door de waterbeheerders zijn aangeleverd, zijn gestructureerd opgeslagen in een database. Bij het opslaan in de database wordt aangesloten bij de werkwijze die binnen het project Monitoring Stroomgebieden is gehanteerd (Walvoort et al., 2009). De database is voorzien van een filter waarmee zo veel mogelijk wordt voorkomen dat foutieve gegevens in de database terecht komen. Voordat de data in de database worden opgeslagen wordt een lijst met kwaliteitscontroles afgewerkt. Voorbeelden hierbij zijn de controle op interne inconsistentie van de gegevens (bijvoorbeeld totaal stikstofgehalte moet groter of gelijk zijn aan het nitraatgehalte) en de controle op het bereik van systeemeigenschappen (concentraties mogen niet negatief zijn). Naast bovengenoemde kwaliteitscontrole beschikt de database over een functionaliteit waarmee op basis van beschikbare informatie nieuwe informatie kan worden afgeleid. De totale database bestaat uit 2881 kwaliteitsmeetpunten en 557 debietmeetpunten (figuur 5).



Figuur 5

Meetpunten oppervlaktewaterkwaliteit (links) en debietmetingen (rechts) in de database.

Niet alle meetpunten uit de database zijn in dit onderzoek gebruikt. Om een beeld te krijgen van de plausibiliteit van de modelresultaten wordt alleen gebruik gemaakt van meetpunten aan de randen van de 124 stroomgebieden, de zogenoemde uitlaatpunten en inlaatpunten (vanuit Rijkswateren of het buitenland). Naast de plausibiliteit worden de uitlaatpunten ook gebruikt om de huidige toestand en trends van de oppervlaktewaterkwaliteit in beeld te brengen. In totaal zijn er 543 kwaliteitsmeetpunten en 397 afvoermmeetpunten als uitlaat- of inlaatpunt gedefinieerd (figuur 6).



Figuur 6

Meetpunten oppervlaktewaterkwaliteit (links) en debietmetingen (rechts) in de database die als inlaat- of uitlaatpunt zijn gedefinieerd.

Emissieregistratie

De Emissieregistratie (ER, www.emissieregistratie.nl) is een database waarin de emissies naar bodem, water en lucht van veel beleidsrelevante stoffen per emissiebron zijn vastgelegd voor (inter)nationale rapportageverplichtingen. De emissies van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater zijn in de ER geclusterd tot vijf groepen:

1. De effluenten van de RWZI's.
2. Atmosferische depositie rechtstreeks op het oppervlaktewater.
3. Industriële lozingen.
4. Overige landbouwemissies uitgezonderd uit- en afspoeling (glastuinbouw, meemesten sloten, etc.).
5. Overige punt- en diffuse bronnen (huishoudelijke afvalwater, overstorten, verkeer etc.).

In fase 1 en fase 2 is gebruik gemaakt van de Emissieregistratie versie 2005. Deze database bevat de emissies voor de periode 1990-2005. Door het PBL zijn in de ER aanpassingen aangebracht (Cleij, 2008) die integraal zijn overgenomen. In november 2011 heeft PBL een nieuwe versie van de Emissieregistratie aangeleverd waarin de emissiegegevens beschikbaar zijn voor de periode 1990-2009.

Uit- en afspoeling (STONE)

De uit- en afspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater uit landbouwgrond en natuur wordt berekend met het STONE-instrumentarium (Wolf et al., 2003). De uit- en afspoeling is de resultante van de bronnen atmosferische depositie op het land, (kunst)mestgiften, veranderingen in de bodemvoorraad en kwel voor zowel landbouw- als natuurgebieden. Voor de periode t/m 2006 is met het toen geldende mestbeleid de bemesting van de bodem zo goed mogelijk meegenomen.

Om de toekomstige effecten te verkennen (periode 2006-2027) is in fase 1 en fase 2 gerekend met de aanscherping van de gebruiksnormen conform de Evaluatie Meststoffenwet 2007. In het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2012 is een nieuwe versie van STONE beschikbaar (STONE 2.4).

2.1.2 Retentieschattingen in het oppervlaktewater

Retentie in het oppervlaktewater staat voor het vastleggen van nutriënten in de waterlopen. Dit kan door tijdelijke en permanente opslag in o.a. waterplanten en in de waterbodem en/of door gasvormige emissies naar de atmosfeer (denitrificatie). De gevoeligheidsanalyse, uitgevoerd in fase 2, heeft laten zien dat de retentie op dit moment de grootste bijdrage levert aan de onzekerheid over de berekende nutriëntenbelasting in de uitstroompunten van de stroomgebieden. Het verbeteren van de retentieschatting is dan ook prioritair. In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de ontwikkeling over de retentieschattingen in het oppervlaktewater in de verschillende fases.

Tabel 3

Inschattingen van de retentie per emissiebron voor de verschillende fases in het onderzoek.

| Emissiebron | Fase 1 | Fase 2 | Fase 3 | |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|------------------|
| | Stikstof + Fosfor | Stikstof + Fosfor | Stikstof | Fosfor |
| Vrij-afwaterende gebieden | | | | |
| Uit en afspoeling | 0,5 | Regio specifiek | Regio specifiek | Regio specifiek |
| RWZI's | 0,2 | RWZI specifiek | RWZI specifiek | RWZI specifiek |
| Atmosferische depositie | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Industriële lozingen | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Overige landbouwemissies | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Overige punt- en diffuse bronnen | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| Inlaat | 0,2 | Inlaat specifiek | Inlaat specifiek | Inlaat specifiek |
| Polders en overgangsgebieden | | | | |
| Uit en afspoeling | 0,5 | 0,5 | | 0,5 |
| RWZI's | 0,2 | 0,2 | | 0,2 |
| Atmosferische depositie | 0,2 | 0,2 | Regio specifiek | 0,2 |
| Industriële lozingen | 0,2 | 0,2 | (m.u.v. zandige polders) | 0,2 |
| Overige landbouwemissies | 0,2 | 0,2 | | 0,2 |
| Overige punt- en diffuse bronnen | 0,2 | 0,2 | | 0,2 |
| Inlaat | 0,2 | 0,2 | | 0,2 |

1) Fase 1

In fase 1 zijn 'vaste' retentiefractionen gebruikt: 50% voor nutriëntenbronnen uit het landelijk gebied (diffuse bronnen uit STONE) en 20% voor nutriëntenbronnen (diffuus en puntbronnen) uit de Emissieregistratie en de inlaat vanuit Rijkswateren en buitenland. Een retentiefraction van 0,2 betekent dat 20% van de nutriëntenbelasting wordt vastgelegd/verwijderd en dat 80% van de nutriëntenemissies het uitstroompunt bereikt.

2) Fase 2

In de volgende fase in het onderzoek is getracht om de retentie per stroomgebied te differentiëren op basis van eigenschappen van de stroomgebieden. Hierbij is onderscheid gemaakt in retentie tussen de verschillende nutriëntenbronnen:

- Uit en afspoeling landelijk gebied (STONE)*; de retentie op diffuse bronnen uit het landelijk gebied is voor de vrij afwaterende stroomgebieden afhankelijk gemaakt van de verblijftijd van het oppervlaktewater. Dit is gedaan omdat de verblijftijd van grote invloed is op de retentie. Een grotere verblijftijd leidt vaak tot een grotere retentie. Er is onderscheid gemaakt tussen retenties in het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar omdat de verblijftijden sterk verschillen tussen zomer en winter. Voor overgangsgebieden en poldersystemen zijn retentiewaarden van 0,5 gehanteerd.
- Lozingen RWZI's*; de retentiefraction voor de nutriëntenbelastingen vanuit RWZI's is afhankelijk van de tijd die de lozing nodig heeft om het stroomgebied te verlaten. Deze 'reistijd' volgt uit de lengte van het af te leggen route van het lozingspunt naar het uitstroompunt en de stroomsnelheid. De stroomsnelheid is overgenomen uit het Handboek Natuurdoeltypen (Bal et al., 2001) waarin voor elk type natuurlijke waterloop bijbehorende stroomsnelheden zijn gedefinieerd. De stroomsnelheden van de kanalen ontbreken. Hiervoor is een stroomsnelheid van 30 cm/s aangenomen.
- Inlaat*; ook op de inkomende nutriëntenvrachten van bovenstrooms gelegen stroomgebieden, inlaat vanuit Rijkswateren en het buitenland vindt retentie plaats. Voor het bepalen van de retentie zijn dezelfde kenmerken als voor de RWZI's meegenomen; stroomsnelheid en de lengte van het af te leggen route naar het uitstroompunt. Net zoals bij de RWZI's is er gewerkt met een retentie-coëfficiënt van 0,10 d⁻¹.

3) Fase 3

In kader van het project 'Landelijke Pilot KRW-verkenner (Van de Rovert et al., 2012) worden de resultaten beschreven van de landelijk pilot met de KRW-verkenner. Eén van de onderdelen binnen deze studie is een verdere verbetering van de retentieschattingen. De resultaten van deze studie zijn geïmplementeerd in dit onderzoek. De uitgangspunten hierbij zijn (zie ook bijlage 1):

- De retentie op nutriënten, die vanuit het landsysteem uitspoelen naar het oppervlaktewater, is voor vrij afwaterende gebieden afhankelijk van de 'specifieke afvoer'.
- Er wordt onderscheid gemaakt in retentie voor stikstof en fosfor voor de uit- en afspoeling vanuit het landelijk gebied.
- De retentie van stikstof in de veen- en kleipolders varieert (anders dan voorheen) per polder. De retentie is afhankelijk van de onderliggende retentieprocessen denitrificatie, netto opname (zomerhalfjaar) en afgifte (winterhalfjaar) van nutriënten door waterplanten.

De grootte van deze retentieprocessen is afgeleid uit metingen. Op basis van de eigenschappen van de polders is de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem bepaald om stikstof vast te leggen, uitgedrukt in gram per m² waterbodem. De zo berekende absolute stikstofretentie is van toepassing voor alle nutriëntenbronnen in de polder.

2.1.3 Plausibiliteit

In ECHO worden géén modelparameters gekalibreerd. Dit gebeurt vanuit het oogpunt dat alle water- en stofbelastingen zijn opgelegd (inclusief bijbehorende onzekerheden) en het feit dat voor kalibratie één parameter beschikbaar is, nl. de stofretentie in het oppervlaktewater. Door retentie als kalibratiefactor te gebruiken bestaat er een zeer reëel risico dat fouten in de water- en stofbelastingen ten onrechte worden verdisconteerd in de retentie met directe gevolgen voor de inschattingen van effecten van maatregelen.

Daarom is er voor gekozen om stapsgewijs, middels de best onderbouwde schattingen voor de retentie, inzichtelijk te maken hoe de berekende resultaten zich verhouden tot de metingen op verschillende schaalniveaus. Hiervoor worden zogenaamde 'plausibiliteitsfactoren' bepaald.

Door deze factoren uit te splitsen naar stof, periode, type watersysteem, etc. en vervolgens onderling te vergelijken wordt inzicht verkregen in waar de grootste onzekerheden/verschillen zich bevinden tussen berekende en gemeten waarden. Dit geeft zowel een beter inzicht in de systeemwerking als richting aan het zoeken naar verbeteringen.

De plausibiliteit van de rekenresultaten is in beeld gebracht door de berekende nutriëntenvrachten te vergelijken met de uit metingen afgeleide nutriëntenvrachten in de uitstroompunten van de stroomgebieden. De berekende waterkwaliteit is de resultante van de verschillende bronnen van de nutriëntenstromen in het oppervlaktewater.

De nutriëntenvrachten (L_{uit}) in het oppervlaktewater in de uitstroompunten van de stroomgebieden wordt als volgt berekend (formule 1):

$$L_{uit} = (1-R_{inlaat}) * I_{inlaat} + (1-R_{RWZI}) * L_{RWZI} + (1-R_{ER}) * L_{ER} + (1-R_{STONE}) * L_{STONE} \quad 1)$$

Waarin:

- L_{STONE} De berekende uitspoeling uit het landelijk gebied uit de Evaluatie Meststoffenwet 2012.
- L_{RWZI} Belasting van nutriënten door RWZI's (Emissieregistratie 2009).
- L_{ER} Belasting van nutriënten door industrie, stedelijk gebied, atmosferische depositie open water, scheepvaart en overige bronnen (Emissieregistratie 2009).
- I_{inlaat} De door de waterschappen aangeleverde data over inlaat waarbij onderscheid gemaakt wordt tussen inlaat vanuit het buitenland, bovenstroomse gebieden en rivieren/kanalen.

- L_{org} Organisch materiaal (bladeren, maaisel) dat rechtstreeks in de waterlopen valt (hoe groot de bijdrage van deze bron is in stroomgebieden met begroeiing van bodem en struiken langs de waterloop wordt verkend (Schoumans et al., 2008)). In deze studie is deze balansternog niet meegenomen.
- R_{STONE} Retentie van nutriënten landelijk gebied (sloten en haarvaten).
- R_{inlaat} Retentie van nutriënten dat via inlaatwater wordt aangevoerd.
- R_{RWZI} Retentie van nutriënten vanuit RWZI's
- R_{ER} Retentie van nutriënten vanuit overige bronnen (Emissieregistratie 2009).

De berekende nutriëntenvracht op een bepaald moment (decadewaarde) wordt vergeleken met nutriëntenvracht die is afgeleid van gemeten nutriëntenconcentraties die in dezelfde decade is gemeten (formule 2):

$$F = L_{uit\ berekend} / L_{uit\ gemeten} \text{ of } F_R = (L_{uit\ berekend} - L_{uit\ gemeten}) / L_{uit\ gemeten} \quad 2)$$

Wanneer bij de vergelijking van gemeten met berekend de verhouding 1 bedraagt en het relatieve residu 0 is, zijn de berekende vrachten exact gelijk aan de uit de metingen afgeleide vrachten. Dat betekent echter niet zondermeer dat de berekeningen de werkelijkheid exact beschrijven, omdat onzekerheden in de uitkomst blijven bestaan en mogelijke foutieve schattingen (Emissieregistratie, aanvoer bovenstrooms, emissies uit het landelijk gebied, retenties, waterafvoer) elkaar kunnen compenseren.

Voor deze studie is de plausibiliteitsfactor per stroomgebied berekend als (formule 3):

$$F = L_{uit\ berekend} / L_{uit\ gemeten} \quad 3)$$

2.2 Toestand en trends van de oppervlaktewaterkwaliteit

Naast het opstellen van water- en stofbalansen om (ex-ante) effecten van maatregelen te voorspellen en het toetsen van de rekenresultaten aan de gemeten oppervlaktewaterkwaliteit kunnen de metingen natuurlijk ook rechtstreeks worden gebruikt om (ex-post) veranderingen (trends) te detecteren en om de huidige waterkwaliteit te toetsen, bijvoorbeeld via de mate van doelrealisatie.

2.2.1 Toestand

De huidige toestand van het oppervlaktewater is in beeld gebracht door gebruik te maken van de waterkwaliteitsgegevens, aangeleverd door de waterbeheerders, nabij de uitstroompunten van de stroomgebieden. In figuur 7 zijn de locaties van de uitlaatpunten binnen de stroomgebieden weergegeven voor de beleidsregio's (administratieve grenzen) die binnen de Evaluatie Meststoffenwet 2012 zijn onderscheiden. Met deze dataset zijn de toestand en opgetreden veranderingen in de beleidsregio's gekwantificeerd (Bogaart, 2012).



Figuur 7

Overzicht van de meetgegevens nabij de uitstroompunten van de 124 stroomgebieden.

De meeste meetpunten liggen aan de randen van de beleidsregio's i.e. nabij de Rijkswateren (Maas, Waal, IJssel, Neder-Rijn, IJsselmeer, Waddenzee, Ooster- en Westerschelde, Haringvliet en Grevelingenmeer). Een aantal meetpunten daarentegen liggen 'midden' in de regio. Dit laatste geldt vooral voor een aantal meetpunten in het Zuidelijk, Oostelijk en Noordelijk Zandgebied. De beleidsregio's 'Zuidwestelijk zeekleigebied', 'Droogmakerijen' en 'IJsselmeerpolders' en het 'Westelijk Zeekleigebied' hebben de grootste dichtheid aan meetpunten.

De meetpunten uit figuur 7 zijn toegekend aan de dertien beleidsregio's, die vervolgens weer zijn geclusterd naar de LMM-hoofdgrondsoortregio's zand, klei, veen en löss (tabel 4).

Tabel 4*Clustering beleidsregio's naar hoofdgrondsoort.*

| Beleidsregio | Grondsoort |
|-------------------------------------|------------|
| Noordelijk zeekleigebied | Klei |
| Droogmakerijen en IJsselmeerpolders | Klei |
| Zuidwestelijk zeekleigebied | Klei |
| Rivierkleigebied | Klei |
| Noordelijk zandgebied I | Zand |
| Noordelijk zandgebied II | Zand |
| Veenkoloniën | Zand |
| Oostelijk zandgebied | Zand |
| Centraal zandgebied | Zand |
| Zuidelijk zandgebied | Zand |
| Noordelijk veenweidegebied | Veen |
| Westelijk veenweidegebied | Veen |
| Lössgebied | Löss |

De gemiddelde N- en P-concentraties in het zomerhalfjaar zijn bepaald per meetlocatie voor een periode van 5-6 jaar (1990-1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010). Er zijn duidelijke verschillen zichtbaar in aantal meetpunten per periode (tabel 5).

Tabel 5*Aantal meetpunten voor de stikstof en fosforconcentraties voor de verschillende perioden, uitgesplitst naar hoofdgrondsoortregio's.*

| | Stikstof | | | | | Fosfor | | | | |
|-----------|----------|------|------|------|------|--------|------|------|------|------|
| | Totaal | Zand | Klei | Veen | Löss | Totaal | Zand | Klei | Veen | Löss |
| 1990-1995 | 216 | 81 | 94 | 39 | 2 | 209 | 82 | 86 | 39 | 2 |
| 1996-2000 | 263 | 93 | 132 | 36 | 2 | 238 | 92 | 107 | 37 | 2 |
| 2001-2005 | 295 | 105 | 140 | 48 | 2 | 272 | 102 | 117 | 51 | 2 |
| 2006-2010 | 319 | 108 | 154 | 55 | 2 | 287 | 105 | 125 | 55 | 2 |

Om een zuiver beeld te krijgen van de verschillen in doelrealisatie tussen de verschillende perioden, zijn alleen meetpunten geselecteerd die in alle perioden zijn bemeten. Door deze eis blijven 174 meetpunten voor stikstof en 176 meetpunten voor fosfor over. Voor 145 meetpunten zijn in alle perioden zowel stikstof- als fosforconcentraties beschikbaar.

Naast de gemiddelde nutriëntenconcentraties voor de verschillende perioden zijn ook de stikstof- en fosforconcentraties in de afzonderlijke jaren 2006 t/m 2010 getoetst aan de in de stroomgebiedbeheerplannen opgenomen KRW-doelstellingen van bijbehorende waterlichamen. Per periode is het percentage meetpunten bepaald dat aan zowel de stikstof- als fosfordoelstelling voldoet.

2.2.2 Trends

Voor 298 meetlocaties is een trendanalyse uitgevoerd voor de parameters 'N-totaal' en 'P-totaal' (Bogaart, 2012). Niet in alle gevallen bleek het mogelijk om de benodigde toets uit te voeren. Oorzaken hiervan zijn bijvoorbeeld te veel en/of te grote gaten in de meetreeksen of te korte reeksen. Voor 15% en 28% van de meetlocaties bleken de data niet geschikt om trends in respectievelijk concentraties stikstof en fosfor te toetsen.

Allereerst is met behulp van de statistische toets getest óf er sprake is van een significante trend (afgezet tegen de nulhypothese dat er geen trend is). Indien blijkt dát er sprake is van een significante trend, is de sterkte van deze trend i.e. de trendhelling bepaald.

Er is getoetst voor jaren, waarbij alle metingen in een jaar meedoen, en seizoenen waarbij specifiek de 'zomer' of 'winter' metingen zijn gebruikt. De zomer is gedefinieerd als de periode april - september, conform de KRW-normen voor zomerhalfjaarconcentraties. De winter is niet gedefinieerd als de periode oktober - maart als zijnde de resterende maanden van het jaar en ook niet als de periode januari-maart gedefinieerd als winterperiode voor de KRW-monitoring (Van der Molen en Pot, 2007 of Faber et al., 2011), maar als de periode november - maart omdat uit analyse van de gemeten concentraties is gebleken dat deze maanden het meest representatief zijn voor de periode waarin uitspoeling plaatsvindt (en waarin relatief weinig omzettingprocessen plaatsvinden).

De resultaten van de trendanalyse zijn op drie ruimtelijke schaalniveaus geaggregeerd: op clusters van beleidsregio's; op dominante grondsoort (zand, klei, veen, löss) en landelijk.

2.3 Emissies

Voor het berekenen van de bijdrage van de verschillende bronnen aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewatersysteem met ECHO is gebruik gemaakt van versie 2009 van de Emissieregistratie en de nieuwe informatie over de uit- en afspoeling die in kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Alterra-rapport 2317, Groenendijk et al., 2012) zijn berekend.

De nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater en de retentie in het oppervlaktewater zijn op verschillende schaalniveaus geanalyseerd:

- Emissies naar het regionaal oppervlaktewatersysteem (landelijk en naar grondsoort).
- Emissies naar Rijkswateren.
- Emissies naar de Noordzee/Waddenzee.

2.4 Selectie van optimale maatregelpakketten

Omdat maatregelen niet altijd overal hetzelfde effect hebben en bovendien vaak ook niet hetzelfde kosten is het niet eenvoudig om de meest effectieve combinaties van maatregelen vast te stellen. In eerdere studies zijn mogelijke maatregelen geïdentificeerd en zijn de effecten, kosten en kosteneffectiviteit van maatregelpakketten verkent (Van der Bolt et al., 2008; Van Boekel et al., 2010; Van Boekel et al., 2011). In deze studie is een volgende stap gezet door te zoeken naar een optimaal maatregelenpakket om de nagestreefde beleidsdoelen zo kosteneffectief mogelijk te realiseren. Een 'optimale' beheerstrategie is gezocht met het systeem Waterwijs (Van Walsum et al., 2002; Van Walsum et al., 2008) dat is ontwikkeld om ruimtelijke planvorming en ruimtelijk waterbeheer in samenhang te ondersteunen.

2.4.1 Kosteneffectiviteit van maatregelen(pakketten)

De lijst met voor deze studie gedefinieerde aanvullende, landbouwkundige maatregelen (tabel 6) is ingedeeld op basis van de 'plek' in het landbouwbedrijf waar de maatregelen plaatsvinden (Van der Bolt et al., 2008):

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

Tabel 6

Overzicht van de aanvullende landbouwkundige maatregelen.

| Deelvariant | Maatregel |
|-------------|--|
| Bedrijf | Geen P-kunstmest toedienen |
| | Voorjaarstoediening akkerbouw in kleigebieden |
| | Vergroten mestopslag melkveebedrijven |
| | Precisiebemesting |
| | Bouwplan aanpassen |
| Perceel | Uitmijnen |
| | Dieper aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage |
| | Droge, onbemeste bufferstroken |
| Sloot | Helofytenfilters |

Bij het verkennen van de effecten van aanvullende, landbouwkundige maatregelen op de realisatie van de KRW-nutriëntendoelen in fase 1 en fase 2 zijn deze maatregelen generiek toegepast, met andere woorden: de aanvullende, landbouwkundige maatregelen worden overal toegepast waar verwacht wordt dat de maatregel een effect beoogd (tabel 7). Hierbij is geen rekening gehouden met de kosteneffectiviteit van maatregelen, de beleidsdoelstelling (KRW-nutriëntennormen) en afwenteling tussen stroomgebieden.

Tabel 7

Toepassingsgebied per maatregel en het areaal waarop de maatregel is toegepast (Van Boekel et al., 2011).

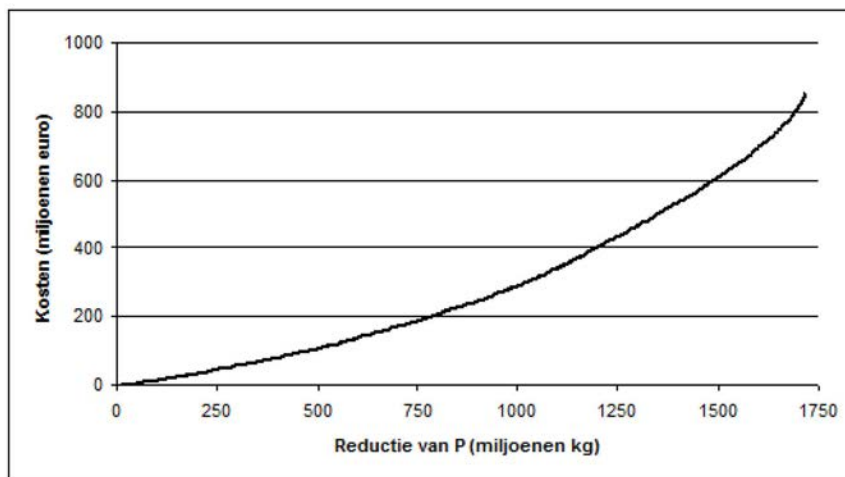
| Maatregel | Toepassingsgebied | Areaal | Percentage |
|--------------------------------|--|-------------|--------------------|
| | | ha * 1000 | % |
| Geen P-kunstmest | Alle landbouwgronden | 1952 | 100 |
| Voorjaarstoediening | Akkerbouwbedrijven op kleigronden | 463 | 24 |
| Vergroten mestopslag | Melkveebedrijven | 974 | 50 |
| Precisiebemesting | Akkerbouwbedrijven (inclusief mais) | 968 | 50 |
| Aanpassen bouwplan | Akkerbouwbedrijven (exclusief mais) | 746 | 38 |
| Uitmijnen | Alle landbouwgronden | 1952 | 100 |
| DSPD ¹⁾ | Drainagebehoeftige zandgronden | 188 | 9,6 |
| Droge, onbemeste bufferstroken | Niet gedraineerde landbouwgronden | 1127 | 58 |
| Helofytenfilters | Alle kleigronden, natte zand- en veengronden | 6,5 | 0,3% ²⁾ |
| Totaal | | 8370 | |

¹⁾ Diep aangelegde samengestelde peilgestuurde drainage.

²⁾ 0,3% wordt uit productie genomen. De helofytenfilter heeft effect op een groter areaal.

Het totale landbouwareaal in Nederland is bijna 2.000.000 ha. Het totale areaal aan maatregelen is ongeveer 8.743.000 ha. Dit betekent dat op een hectare landbouwgrond gemiddeld 4,3 maatregelen worden toegepast waarbij een extra reductie van de nutriëntenbelasting van 14,5% voor stikstof en 24,3% voor fosfor wordt bereikt vergeleken met het voorgenomen beleid (Van Boekel et al., 2011). De totale kosten van dit aanvullende pakket bedragen 850 miljoen euro (Van Boekel et al., 2011) waarbij de kosteneffectiviteit van de verschillende maatregelenpakketten sterk varieert (Van der Bolt et al., 2008; Van Boekel et al., 2011) en waarbij de kosteneffectiviteit afneemt (i.e. de kosten meer toenemen dan de reductie in uitspoeling) zoals zichtbaar is in figuur 8.

De figuur geeft de getotaliseerde kosten (y-as) voor de gecumuleerde reductie in fosforbelasting (x-as) voor alle deelgebieden. Het 'eindpunt' geeft daarmee de totale kosten (ca. 850 miljoen euro per jaar) bij de gerealiseerde reductie in fosforbelasting voor Nederland (1,75 miljoen ton P). De curve is opgebouwd door eerst de deelgebieden met de beste kosteneffectiviteit op de x-as weer te geven. Bij een verdere reductie stijgen de totale kosten exponentieel (de kosten per kg reductie belasting nemen steeds sterker toe). Vermindering van de fosfor-uitspoeling boven de 1,5 miljoen kg P blijken voor deze ingreep relatief duur.



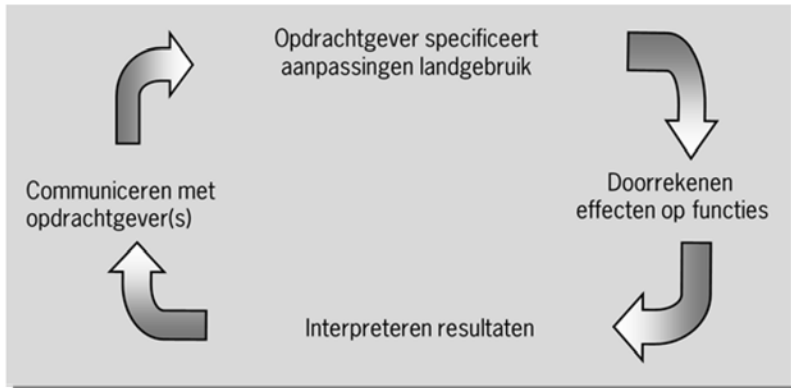
Figuur 8

Kosteneffectiviteitscurve voor fosfor met het aanvullend maatregelenpakket (Van der Bolt et al., 2008).

2.4.2 Selecteren van een optimale beheerstrategie

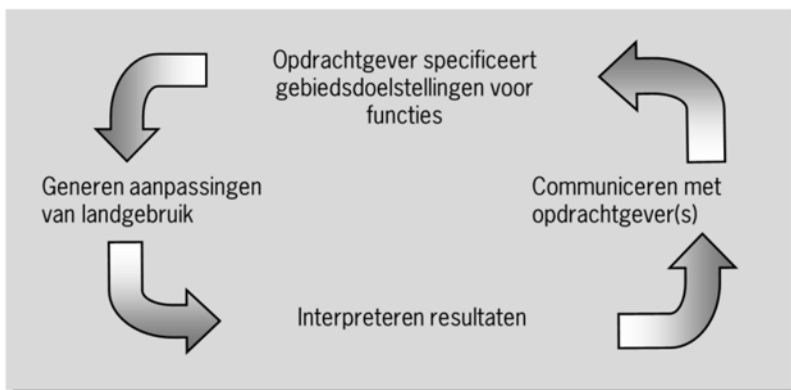
Het ligt voor de hand om het toepassingsgebied van de aanvullende, landbouwkundige maatregelen te begrenzen om onevenredig hoge kosten en zeer lage kosteneffectiviteit te vermijden. Om dit te bewerkstelligen is inzicht gewenst in de 'beste' beheerstrategie (=combinatie van maatregelen) rekening houdend met kosteneffectiviteit, gewenste nutriëntenconcentraties en afwenteling. Het zoeken naar de 'beste' beheerstrategie is in de praktijk nog vaak een kwestie van *learning by doing* en *trial and error*. Om deze strategie gericht te zoeken is een afwegingskader ontwikkeld waarbinnen inrichting, gebruik en operationeel beheer van een regionaal watersysteem worden geoptimaliseerd om te voldoen aan de beleidsdoelstellingen en waarbij rekening kan worden gehouden met economische randvoorwaarden, belangen van stakeholders, gebiedskenmerken en autonome ontwikkelingen zoals klimaatverandering. Een systeem dat geschikt is voor het zoeken naar een 'optimale' beheerstrategie is het systeem Waterwijs (Van Walsum et al., 2002; Van Walsum et al., 2008). Waterwijs is geschikt om ruimtelijke planning en ruimtelijk waterbeheer te ondersteunen.

Waterwijs biedt een alternatieve werkwijze voor beleidsondersteuning met modellen waarbij het vertrekpunt het door de opdrachtgever(s) geformuleerde inrichtingsplan is en waarbij de effecten op verschillende functies als landbouw en natuur worden berekend (figuur 9).



Figuur 9
Conventionele werkwijze bij beleidsondersteuning met modellen.

In de aanpak volgens Waterwijs (figuur 10) verloopt de cyclus andersom: de opdrachtgever specificeert wensen voor beleidsdoelstellingen en het systeem vertaalt deze wensen in een voorstel met de hiertoe benodigde aanpassingen aan land- en waterbeheer.



Figuur 10
Beleids­ondersteuning met Waterwijs. Vertrekpunt van de methode is de specificatie door de opdrachtgever van gebiedsdoelstellingen. Waterwijs levert de aanpassingen van het landgebruik en bijbehorend waterbeheer.

Met het modelinstrumentarium Waterwijs is in deze studie een optimalisatie uitgevoerd van de maatregelen/ maatregelpakketen bovenop het voorgenomen mestbeleid. In bijlage 2 is een overzicht opgenomen van de invoergegevens.

3 Resultaten plausibiliteit

3.1 Landelijk

De plausibiliteit van de modelresultaten wordt weergegeven in plausibiliteitsfactoren (paragraaf 2.1.3). Als de berekende nutriëntenvracht in de uitstroompunten van de stroomgebieden exact overeenkomt met de uit metingen afgeleide nutriëntenvracht, wordt een plausibiliteitsfactor van 1 gevonden. De grootte van de plausibiliteitsfactoren voor de stroomgebieden worden o.a. bepaald door (de kwaliteit van) de invoerbestanden (Emissieregistratie, STONE 2.4, kwaliteit- en kwantiteitgegevens) en de schattingen voor de retentie van nutriënten in het oppervlaktewater. als één of meerdere invoerbestanden worden aangepast, doordat data worden aangepast of toegevoegd, heeft dit effect op de berekende plausibiliteitsfactoren.

Om inzicht te krijgen in de effecten van de doorgevoerde verbeteringen (paragraaf 2.1.2) aan de plausibiliteitsfactoren zijn de volgende varianten doorgerekend en geanalyseerd:

- 1) **Basisvariant fase 2** waarin STONE 2.3, ER 2005 en de retentieschattingen fase 2 zijn gebruikt.
- 2) Als 1) waarbij STONE 2.3 is vervangen door **STONE 2.4**.
- 3) Als 1) waarbij de ER 2005 is vervangen door de **ER 2009**.
- 4) Als 1) waarbij de **retentieschattingen fase 3** zijn gebruikt.
- 5) **De eindvariant fase 3** met **STONE 2.4, ER 2009** en de **retentieschattingen fase 3**.

Per variant en per stroomgebied zijn de gemiddelde, naar debiet gewogen plausibiliteitsfactoren bepaald voor zowel het winter- als het zomerhalfjaar (tabel 8). Per variant en per periode (zomer- of winterhalfjaar) zijn er dus 124 plausibiliteitsfactoren.

Tabel 8

Mediane en gemiddelde plausibiliteitsfactoren van de 124 stroomgebieden voor het zomer- en winterhalfjaar voor de verschillende varianten.

| Variant | Plausibiliteitsfactoren stikstof | | | | Plausibiliteitsfactoren fosfor | | | |
|-----------------|----------------------------------|-------------|----------------|-------------|--------------------------------|-------------|----------------|-------------|
| | Zomerhalfjaar | | Winterhalfjaar | | Zomerhalfjaar | | Winterhalfjaar | |
| | mediaan | gemiddelde | mediaan | gemiddelde | mediaan | gemiddelde | mediaan | gemiddelde |
| Fase 2 | 1,60 | 2,16 | 0,71 | 0,92 | 1,94 | 2,48 | 1,12 | 1,30 |
| STONE 2.4 | 1,54 | 2,11 | 0,82 | 0,92 | 1,89 | 2,41 | 1,19 | 1,38 |
| ER 2009 | 1,61 | 2,14 | 0,76 | 0,91 | 1,91 | 2,49 | 1,11 | 1,31 |
| Retentie fase 3 | 1,06 | 1,46 | 0,97 | 1,12 | 2,01 | 2,62 | 1,12 | 1,37 |
| Fase 3 | 1,21 | 1,52 | 1,04 | 1,15 | 1,99 | 2,57 | 1,23 | 1,46 |

Analyseren van de plausibiliteitsfactoren leert dat:

- De gemiddelde plausibiliteitsfactoren voor de stikstof- en fosforvracht in de uitstroompunten van de stroomgebieden, voor zowel het zomerhalfjaar als voor het winterhalfjaar, zijn voor alle runs hoger dan de mediane plausibiliteitsfactor; om de effecten van extremen te reduceren wordt in de analyses uitgegaan van de mediaan.

- De plausibiliteitsfactoren voor de stikstof- en fosforvracht in het winterhalfjaar zijn voor alle runs lager dan de plausibiliteitsfactoren in het zomerhalfjaar. De uit metingen afgeleide vrachten worden in de winter beter benaderd dan in de zomer.

De veranderingen in plausibiliteitsfactoren als gevolg van de verschillende varianten vergeleken fase 2 staan in tabel 9.

Tabel 9

Veranderingen in de gemiddelde en mediane plausibiliteitsfactoren van de 124 stroomgebieden voor de verschillende varianten vergeleken fase 2, waarbij ++ een verbetering aangeeft met meer dan 10%, + een verbetering tussen de 5-10%, 0 verandering <5%, - geeft een verslechtering weer tussen de -5 en -10% - geeft een verslechtering weer van >10%.

| Variant | Plausibiliteitsfactoren stikstof | | | | Plausibiliteitsfactoren fosfor | | | |
|---------------------------|----------------------------------|------------|----------------|------------|--------------------------------|------------|----------------|------------|
| | Zomerhalfjaar | | Winterhalfjaar | | Zomerhalfjaar | | Winterhalfjaar | |
| | mediaan | gemiddelde | mediaan | gemiddelde | mediaan | gemiddelde | mediaan | gemiddelde |
| STONE 2.4 | + | + | ++ | 0 | + | + | - | - |
| ER 2009 | 0 | 0 | + | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Retentie fase 3 | ++ | ++ | ++ | 0 | - | - | 0 | - |
| Eindvariant fase 3 | ++ | ++ | ++ | - | - | - | -- | -- |

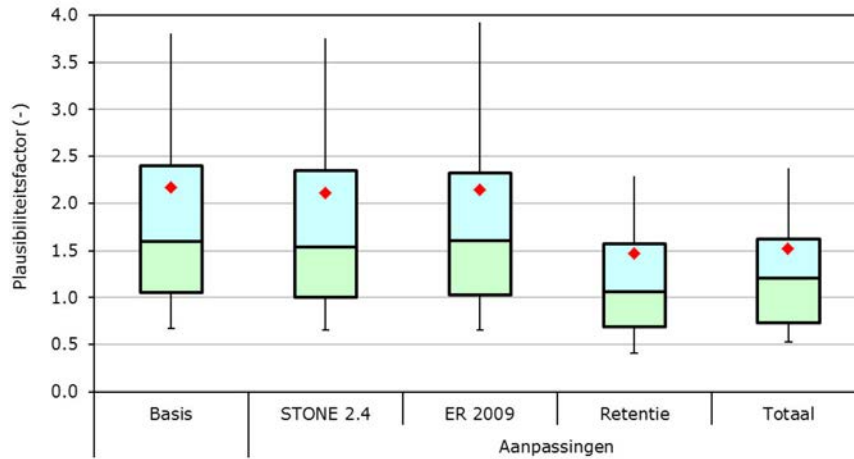
- De berekende stikstofvracht in de uitrooppunten van de 124 stroomgebieden voor de eindvariant in fase 3, waarin alle aanpassingen zijn verwerkt, komen over het algemeen beter overeen met de uit metingen afgeleide stikstofvracht dan in fase 2 (tabel 9), voor fosfor wordt geen betere match gevonden.
- De nieuwe berekeningen met STONE2.4 hebben overwegend een positief effect op de plausibiliteit van de modelresultaten. Uitzondering hierop zijn de plausibiliteitsfactoren van fosfor in het winterhalfjaar.
- Het gebruik van de nieuwe versie van de Emissieregistratie op de plausibiliteit op dit schaalniveau is beperkt (veranderingen <5%) met uitzondering van de mediane waarden voor de stikstofvracht in het winterhalfjaar.
- Aanpassingen voor de stikstofretentie in het oppervlaktewater conform fase 3 resulteren in een betere match tussen berekende en uit metingen afgeleide stikstofvracht (positieve verandering >10%) voor zowel het zomerhalfjaar als voor het winterhalfjaar. Opvallend is de verandering van de gemiddelde plausibiliteitsfactor in het winterhalfjaar (deze is negatief).
- De nieuwe schatting van de retentie voor fosfor resulteert niet tot een betere 'match' tussen berekende en uit metingen afgeleide fosforvrachten.

Naast de gemiddelde en mediane plausibiliteitsfactoren is ook de bandbreedte (spreiding) van de plausibiliteitsfactoren zichtbaar gemaakt (figuur 11 en figuur 12).

De rode stip is de gemiddelde plausibiliteitsfactor van de 124 stroomgebieden. Het groene en blauwe blok geven respectievelijk het 25- en 75-percentiel weer. 50% van de stroomgebieden heeft een plausibiliteitsfactor binnen deze blokken. Het streepje tussen beide blokken is de mediane waarde. De haardraden geven het 10- en 90-percentiel weer en geven de range waarbinnen 80% van de resultaten zijn gelegen.

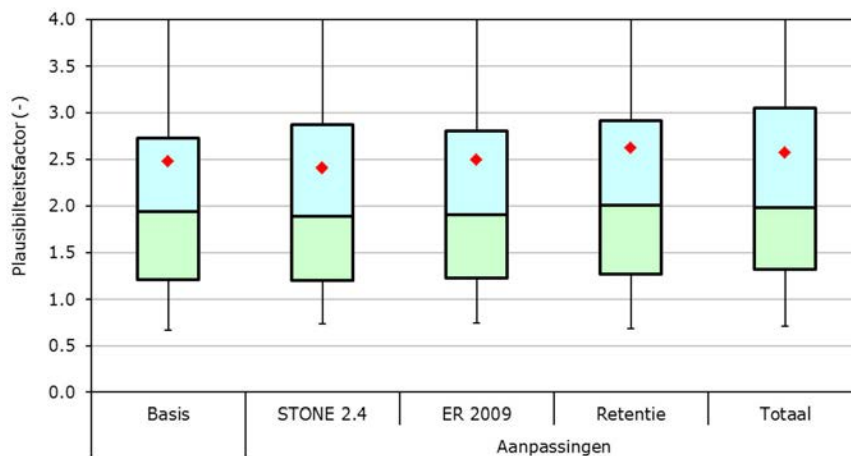
Er is een groot verschil zichtbaar tussen de mediaan en gemiddelde voor alle berekeningen, stroomgebieden met een zeer hoge plausibiliteitsfactor bepalen het gemiddelde. Het gebruik van de nieuwe STONE-versie

(STONE 2.4), data uit de nieuwe Emissieregistratie (ER2009) en de nieuwe retentieschattingen hebben een positief effect op de mediaan, de gemiddelde en de 25- en 75-percentiel. Het grootste effect is zichtbaar indien gebruik gemaakt wordt van de nieuwe retentiefactoren voor stikstof.



Figuur 11

Bandbreedte van de plausibiliteitsfactoren voor de stikstofvracht in het zomerhalfjaar bij de uitstroompunten van de stroomgebieden.

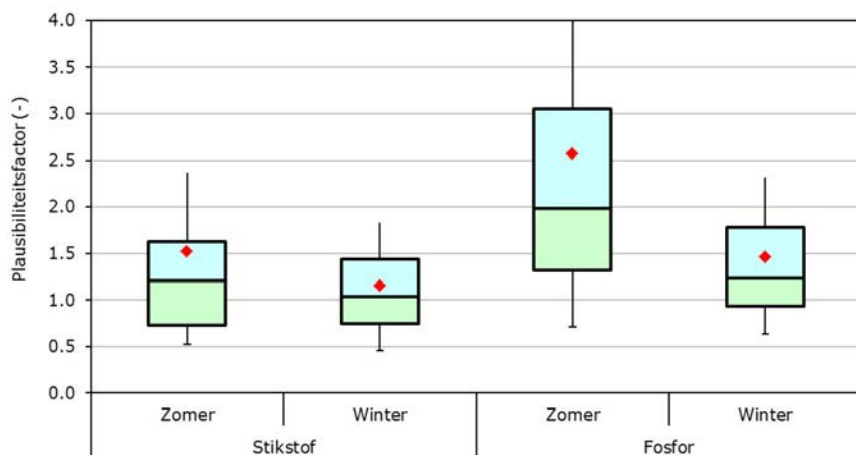


Figuur 12

Spreiding van de plausibiliteitsfactoren voor de fosforvracht in het zomerhalfjaar bij de uitstroompunten van de stroomgebieden.

De aanpassingen (afzonderlijk en gecombineerd) resulteren overwegend in een grotere spreiding van de plausibiliteitsfactoren voor de fosforvracht.

De plausibiliteitsfactoren in figuur 11 en figuur 12 hebben alleen betrekking op de stikstof- en fosforvracht in het zomerhalfjaar. De plausibiliteitsfactoren voor het winterhalfjaar zijn vergeleken met de plausibiliteitsfactoren voor het zomerhalfjaar (figuur 13).



Figuur 13

Spreiding van de plausibiliteitsfactoren voor de stikstof- en fosforvracht bij de uitstroompunten van de 124 stroomgebieden in het zomerhalfjaar en winterhalfjaar waarbij gebruik is gemaakt van de data uit de Emissieregistratie 2009, STONE 2.4 en nieuwe retentiewaarden.

De plausibiliteitsfactoren voor het winterhalfjaar zijn vooral voor fosfor een stuk lager en liggen dicht bij de waarde 1,0. De berekende stikstof- en fosforvracht in de winterperiode komen beter overeen met de uit metingen afgeleide vrachten. De betere match voor de winterperiode kan voor een deel worden verklaard doordat de plausibiliteitsfactor een relatief verschil aangeeft. Wanneer de nutriëntenbelasting naar het oppervlaktewater laag is (in het zomerhalfjaar) kan een bepaalde afwijking tussen de gemeten en berekende vracht leiden tot een hoge plausibiliteitsfactor; indien een even grote afwijking optreedt wanneer de nutriëntenbelasting hoog is (winterhalfjaar) wordt een lagere plausibiliteitsfactor berekend.

Daarnaast speelt het verschil in retentie tussen het zomer- en winterhalfjaar mogelijk een rol. De invloed van de retentie is in de winter kleiner dan in de zomer zodat dit resulteert in een betere match in de winterperiode.

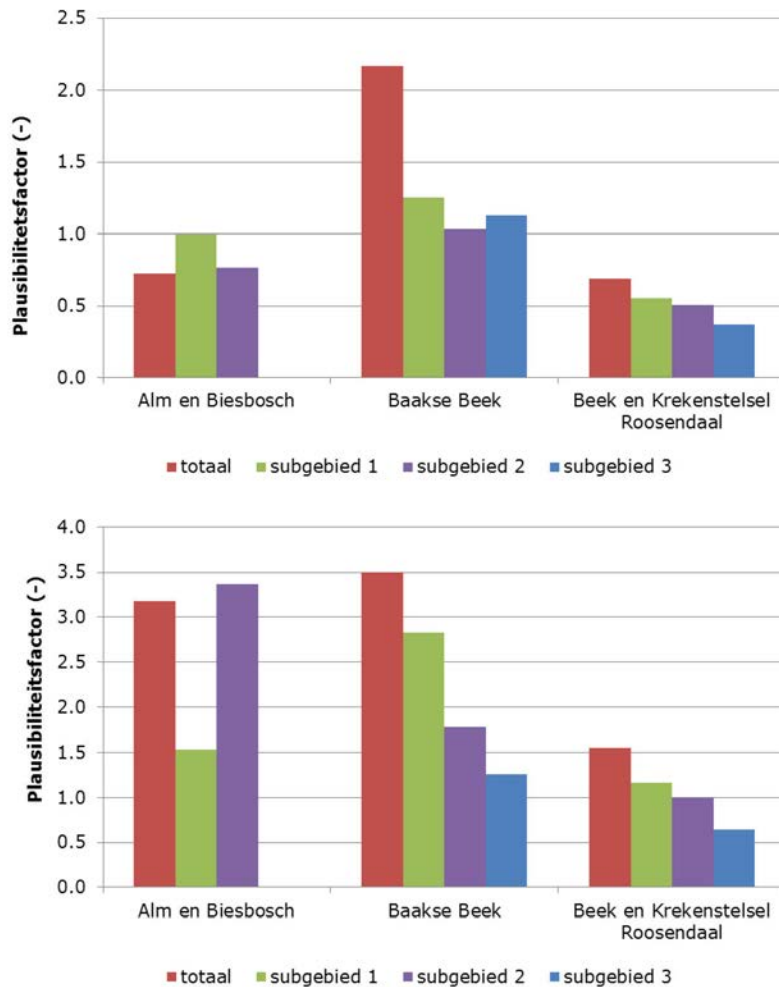
3.2 Kleinere stroomgebieden

Naast de landelijke toepassing (124 stroomgebieden) is in zeven pilotgebieden onderzocht of:

- 1) het opsplitsen van een stroomgebied tot beter inzicht leidt waar 'problemen' liggen vergeleken met de verschillen tussen gemeten en berekende nutriëntenvrachten;
- 2) de modelresultaten van ECHO op een kleiner schaalniveau voldoende betrouwbaar zijn om uitspraken te kunnen doen over de nutriëntenbelasting in de stroomgebieden, de nutriëntenconcentraties in de uitstroompunten en over de doelrealisatie.

Opsplitsen stroomgebieden

Voor drie stroomgebieden *Alm en Biesbos*, *Baakse Beek* en *Beek en Kreekenstelsel Roosendaal* is verkend of het opsplitsen in subgebieden (bijlage 3) helpt in het identificeren van oorzaken voor verschillen tussen de berekende en uit metingen afgeleide nutriëntenvracht nabij de uitstroompunten van de stroomgebieden. Dit is gedaan door de plausibiliteitsfactor van deze stroomgebieden te vergelijken met de plausibiliteitsfactoren voor de verschillende subgebieden (figuur 14).



Figuur 14

Plausibiliteitsfactoren voor de stikstof- en fosforvracht in de uitstroompunten van het totale stroomgebied en de bijbehorende subgebieden in het zomerhalfjaar.

Als alleen gekeken wordt naar de resultaten van de subgebieden leert dat:

Alm en Biesbosch

- de resultaten voor subgebied 1 (Oostwaard) voor zowel stikstof als voor fosfor duidelijk beter zijn dan voor subgebied 2 (Land van Heusden & Altena) en de bijdragen van de bronnen aan de nutriëntenbelasting (waarschijnlijk) beter in beeld zijn.

Baaksche Beek

- de uit metingen afgeleide stikstofvracht in de uitstroompunten voor alle subgebieden in de Baaksche beek goed worden benaderd, maar dat er duidelijke verschillen zijn tussen de berekende en uit metingen afgeleide fosforvracht. De fosforvracht voor subgebied 1 wordt fors overschat (plausibiliteitsfactor >2,5), voor subgebied 3 (Oosterwijkse vloed) is de overschatting veel lager (plausibiliteitsfactor ca. 1,25).

Beek en Kreekenstelsel Roosendaal

- De fosforvracht bij de uitrooppunten van de subgebieden wordt over het algemeen beter geschat dan de stikstofvracht. De stikstofvracht wordt in alle subgebieden onderschat (plausibiliteitsfactor <1,0). De berekende fosforvracht voor subgebied 1 (Molenbeek) en subgebied 2 (Kruislandse krekens) komt aardig overeen met de uit metingen afgeleide fosforvracht. Voor subgebied 3 (De Ligne) wordt de fosforvracht onderschat (plausibiliteitsfactor ca. 0,65).

Het opsplitsen van de stroomgebieden in kleinere eenheden (subgebieden) resulteert niet tot een eenduidig beeld. Met andere woorden, de resultaten hebben tot nu toe niet tot betere inzichten geleid waar de 'problemen' liggen voor de verschillen tussen berekende en uit metingen afgeleide nutriëntenvracht binnen het grotere stroomgebied.

Plausibiliteit alle pilotgebieden

In totaal zijn er zeven pilotgebieden geselecteerd die, of zijn opgesplitst in subgebieden of waarbinnen een kleiner stroomgebiedje (polder) is geselecteerd, om te verkennen in hoeverre de modelresultaten van EHCO op een klein(er) schaalniveau voldoende betrouwbaar zijn om uitspraken te doen over de nutriëntenbelasting in de gebieden, de nutriëntenconcentraties in de uitrooppunten en de doelrealisatie. De plausibiliteitsfactoren zijn berekend voor 14 subgebieden (tabel 10).

Tabel 10

Gemiddelde plausibiliteitsfactoren voor het zomer- en winterhalfjaar voor de veertien subgebieden.

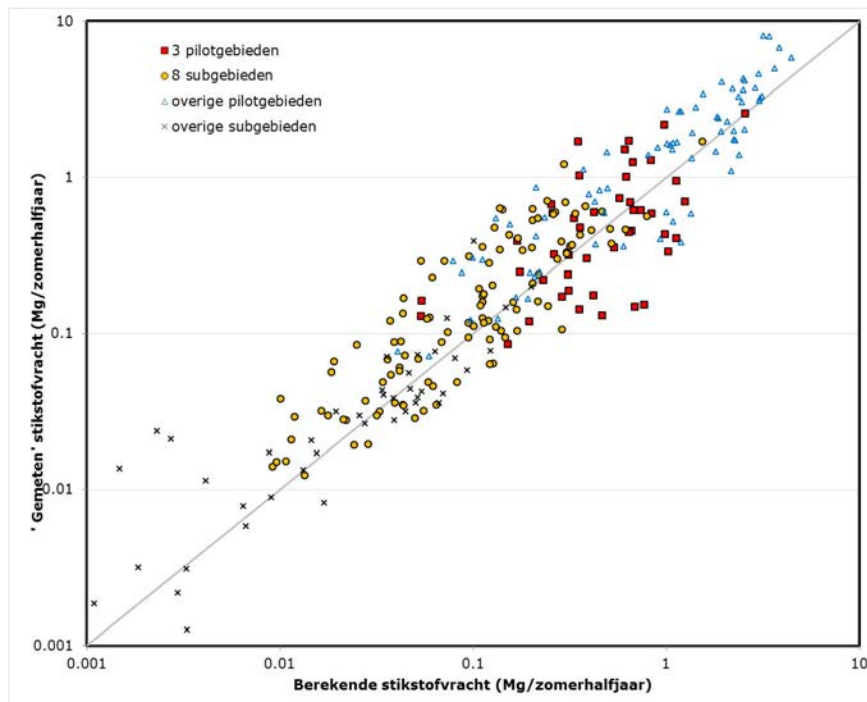
| | Subgebied | Plausibiliteitsfactoren stikstof | | Plausibiliteitsfactoren fosfor | |
|-----------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------|
| | | Winterhalfjaar | Zomerhalfjaar | Winterhalfjaar | Zomerhalfjaar |
| Rivierenland | Oostwaard | 1,34 | 1,00 | 1,32 | 1,53 |
| | Land van H&A | 1,18 | 0,77 | 1,78 | 3,37 |
| Rijn en IJssel | Baaksche Beek | 1,24 | 1,25 | 2,68 | 2,82 |
| | Grote Beek | 1,47 | 1,03 | 2,39 | 1,78 |
| | Oosterwijkse Vloed | 1,60 | 1,13 | 1,54 | 1,26 |
| Brabantse Delta | Molenbeek | 0,40 | 0,55 | 0,67 | 1,16 |
| | Kruislandse krekens | 0,36 | 0,51 | 1,29 | 1,00 |
| | De Ligne | 0,36 | 0,37 | 0,63 | 0,65 |
| Vallei en Eem | Polders Bickers De Haar | 0,53 | 0,87 | 0,71 | 0,63 |
| Fryslân | Vierhuis | 0,68 | 1,00 | 0,70 | 1,34 |
| | Rodenburgpolder | 0,46 | 0,36 | 1,09 | 1,24 |
| Amstel, Gooi en Vecht | Deelgebied 1 | 1,79 | 1,15 | 2,55 | 1,50 |
| | Deelgebied 3 | 1,74 | 1,01 | 2,56 | 1,78 |
| | Deelgebied 4 | 1,47 | 1,03 | 2,44 | 5,94 |

Uit tabel 10 blijkt dat:

- de plausibiliteitsfactoren voor fosfor over het algemeen hoger zijn dan voor stikstof. Dit geldt zowel voor het zomer- als voor het winterhalfjaar;
- de fosforvracht in het zomer- en winterhalfjaar wordt voor veel subgebieden wordt overschat. De stikstofvracht wordt voor zes gebieden in zowel het zomerhalfjaar als het voor het winterhalfjaar (licht) onderschat, voor zeven gebieden wordt de stikstofvracht juist (licht) overschat. Voor één gebied (*Land van Heusden Altena*) vindt er zowel een onderschatting als een overschatting plaats, afhankelijk van het seizoen.

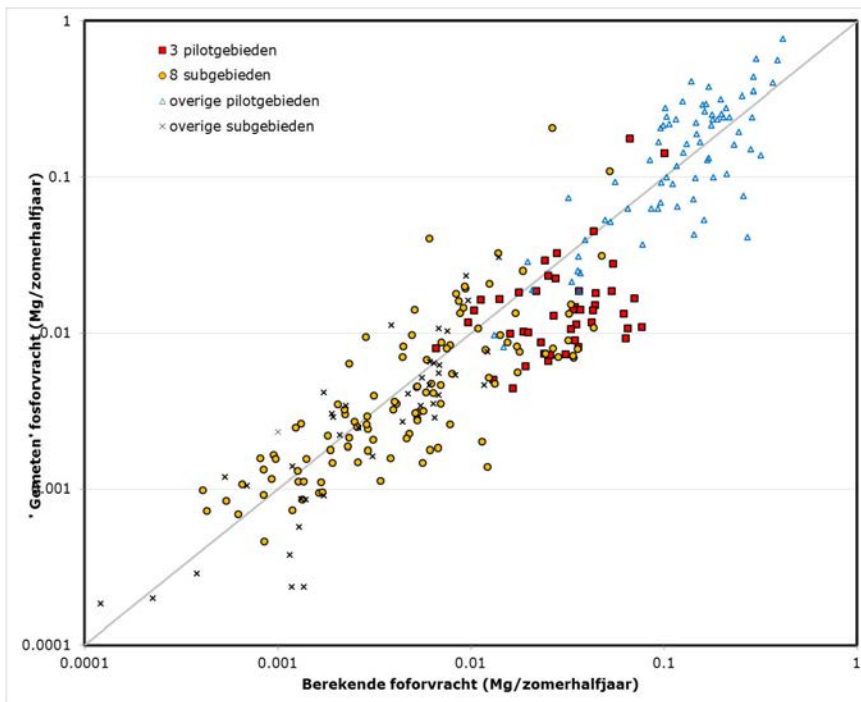
Om een antwoord te geven of de plausibiliteit van modelresultaten op een fijner schaalniveau gelijk blijft of verbeterd zijn vergeleken met het grovere schaalniveau, zijn in figuur 15 (stikstof) en figuur 16 (fosfor) de gemeten en berekende nutriëntenvracht voor de pilotgebieden en bijbehorende subgebieden uitgezet.

Bij de resultaten moet onderscheid gemaakt worden tussen de drie pilotgebieden (en bijbehorende acht subgebieden) die (bijna) volledig zijn opgesplitst (rode en oranje markers) en de overige pilotgebieden waarbinnen een kleiner stroomgebiedje (polder) is geselecteerd (blauwe en zwarte markers). Omdat de analyse is uitgevoerd voor zeven pilotgebieden die niet landsdekkend zijn en daardoor niet representatief voor Nederland, moeten deze resultaten vooralsnog met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd. Aanvullend onderzoek (selecteren van meer pilotgebieden) naar de plausibiliteit van de modelresultaten op een fijn(er) schaalniveau is noodzakelijk voor een betere onderbouwing van de conclusies.



Figuur 15

Gemeten versus berekende stikstofvracht in het zomerhalfjaar voor de pilotgebieden en bijbehorende subgebieden (x-as en y-as op logschaal), waarbij elke marker een afzonderlijk zomerhalfjaar representeert.



Figuur 16

Gemeten versus berekende fosforvracht in het zomerhalfjaar voor de pilotgebieden en bijbehorende subgebieden (x-as en y-as op logschaal!), waarbij elke marker een afzonderlijk zomerhalfjaar representeert.

De stikstof- en fosforvracht in de uitstroompunten voor de veertien pilotgebieden en bijbehorende subgebieden wordt zowel onderschat (de punten boven de 1:1 lijn) als overschat (de punten onder de 1:1 lijn).

Pilotgebieden (drie) met vrijwel volledige opsplitsing

- De spreiding tussen de gemeten en berekende stikstofvracht voor de drie pilotgebieden die (bijna) volledig zijn opgesplitst en bijbehorende acht subgebieden blijft ongeveer gelijk. De spreiding tussen de gemeten en berekende fosforvracht voor de acht subgebieden is groter dan voor de drie pilotgebieden.
- De plausibiliteit van de modelresultaten (lees: gemiddelde afstand tot de 1:1 lijn) voor de stikstofvracht is voor de drie pilotgebieden en bijbehorende gebieden ongeveer hetzelfde; de plausibiliteit van de berekende fosforvracht voor de subgebieden is verbeterd vergeleken met de drie pilotgebieden. Voor de pilotgebieden wordt de fosforvracht over het algemeen overschat, voor de subgebieden liggen deze meer rond de 1:1 lijn (wel met een grotere spreiding).

Overige pilotgebieden

- De spreiding tussen de berekende en uit metingen afgeleide stikstofvracht voor de kleine(re) stroomgebieden (polders) is groter dan voor de overige pilotgebieden, ook de plausibiliteit (afstand tot de 1:1 lijn) is groter. Dit geldt vooral voor de subgebieden met een lage stikstofvracht.
- De spreiding tussen de berekende en uit metingen afgeleide fosforvracht voor de overige pilotgebieden en de subgebieden is ongeveer gelijk. De plausibiliteit van de modelresultaten zijn voor de subgebieden beter (uitzondering de twee uitschieters).

4 Toestand en trends

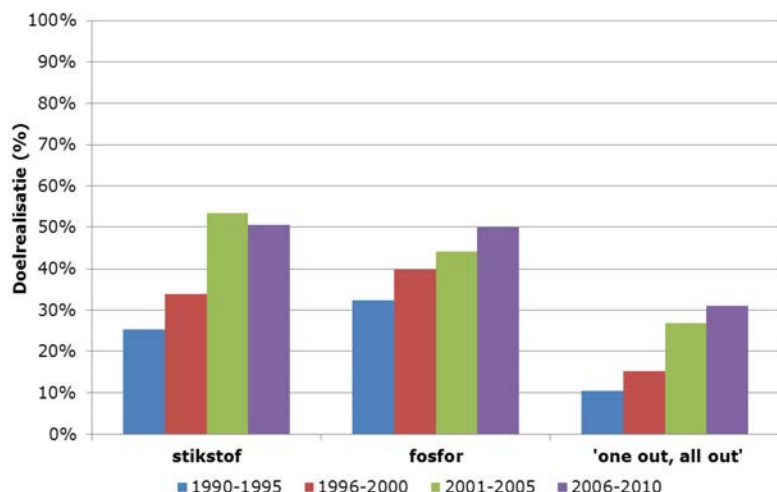
Voor deze studie zijn, in samenwerking met de waterbeheerders, 124 hydrologisch begrensde stroomgebieden onderscheiden die consistent zijn met de zeven KRW-stroomgebieden. Met deze dataset is voor de EMW 2012 een beeld verkregen van de toestand en verandering in waterkwaliteit ten aanzien van de nutriënten stikstof en fosfor. De meetlocaties voor de 124 stroomgebieden zijn voor de EMW ingedeeld naar de hoofdgrondsoortregio's zand, klei, veen en löss. Het aantal meetpunten in deze dataset blijkt te klein om voor het lössgebied betrouwbare uitspraken te doen.

4.1 Toestand

De concentraties stikstof en fosfor in het oppervlaktewater worden in belangrijke mate bepaald door het weer. Om die reden is het niet verstandig voor één specifiek zomerhalfjaar te toetsen. Toetsen aan een lange reeks is daarentegen niet handig wanneer gestuurd wordt op verbeteren van de waterkwaliteit. Daarom zijn de gemiddelde N- en P-concentraties in het zomerhalfjaar per meetlocatie bepaald voor periodes van vijf tot zes jaar (1990-1995, 1996-2000, 2001-2005, 2006-2010). Zo wordt niet alleen een representatief beeld van de huidige toestand verkregen (2006-2010), maar wordt ook een beeld geschetst van de ontwikkeling van de toestand. Hierbij moet nog steeds in ogenschouw genomen worden dat effecten van het weer in deze periode het aldus zichtbaar gemaakte patroon kunnen beïnvloeden.

Landelijk

Het percentage meetlocaties dat aan de doelstellingen voor stikstof of fosforconcentraties voldoet is sinds de periode 1990-1995 toegenomen en bedraagt op dit moment voor zowel stikstof als fosfor ongeveer 50% voor de periode 2006-2010 (figuur 17). Het aantal meetlocaties dat voldoet aan de 'one out all out' toetsing is ongeveer 20% lager. Als aan beide normen moet worden voldaan, voldoet dus bijna 70% van de meetlocaties momenteel niet aan de doelstelling.



Figuur 17

Gemiddelde doelrealisatie KRW-doelstellingen voor de stikstof- en fosforconcentraties voor verschillende perioden van vijf tot zes jaar, gebaseerd op 174 stikstofmeetpunten, 176 fosformeetpunten en 145 gecombineerde stikstof- en fosformeetpunten.

De gemiddelde N- en P-concentratie in het zomerhalfjaar van de meetlocaties zijn ook voor de afzonderlijke jaren 2006 t/m 2010 getoetst aan de in de stroomgebiedbeheerplannen opgenomen KRW-doelstellingen van bijbehorende waterlichamen (tabel 11). De doelrealisatie voor de periode 2006-2010 in tabel 11 wijkt af van de gepresenteerde doelrealisatie in figuur 17. In figuur 17 zijn **alleen** meetpunten geselecteerd die in alle perioden voorkomen wat resulteert in 174, 176 en 145 meetpunten voor respectievelijk stikstof, fosfor en 'one out, all out'. Het aantal meetpunten dat in tabel 11 is gebruikt is groter (319, 287 en 285 meetpunten).

Tabel 11

Doelrealisatie (%) van KRW-normen voor stikstof en fosfor en voor de combinatie van stikstof en fosfor ('one out, all out') voor de jaren 2006 t/m 2010.

| Jaar | Stikstof | | Fosfor | | Stikstof en fosfor | |
|-------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | Aantal meetpunten | Doelrealisatie | Aantal meetpunten | Doelrealisatie | Aantal meetpunten | Doelrealisatie |
| 2006 | 265 | 49% | 236 | 51% | 233 | 30% |
| 2007 | 272 | 51% | 252 | 47% | 245 | 27% |
| 2008 | 281 | 56% | 253 | 48% | 251 | 30% |
| 2009 | 163 | 61% | 160 | 52% | 159 | 42% |
| 2010 | 83 | 52% | 83 | 43% | 83 | 33% |
| 2006-2010¹⁾ | 319 | 51% | 287 | 48% | 285 | 29% |

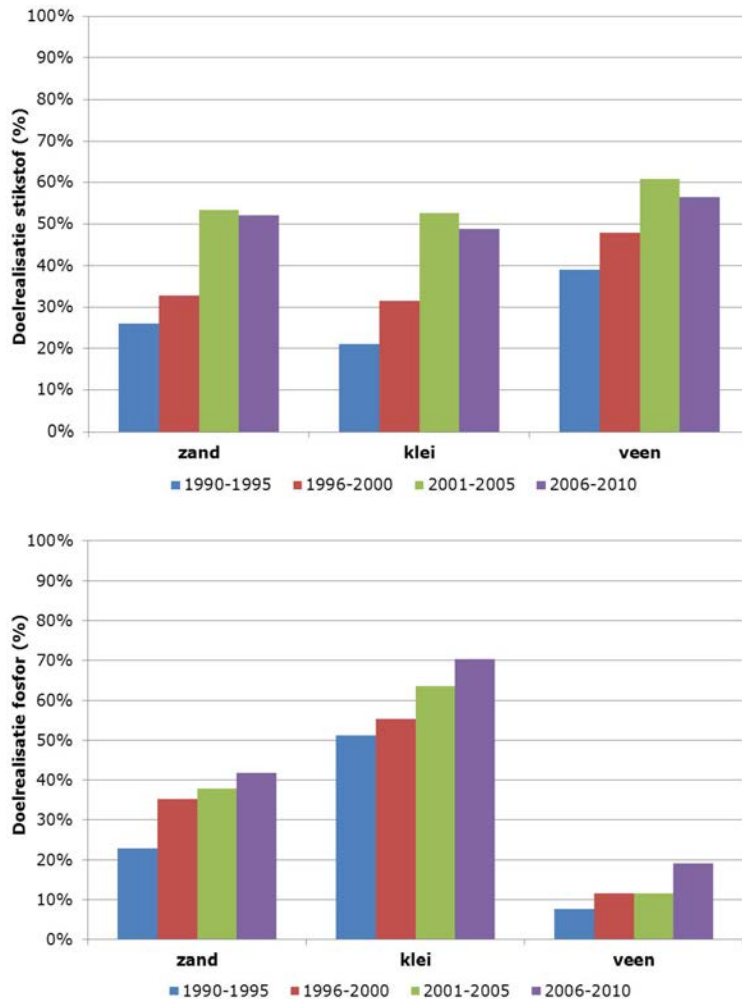
¹⁾ Op basis van de gemiddelde concentraties voor de periode 2006-2010.

Ongeveer de helft van de meetlocaties voldoet aan de norm voor of stikstof of fosfor. De doelrealisatie voor stikstof varieert tussen de 49% en 61%, de variatie in doelrealisatie voor fosfor is kleiner (43-52%). Wanneer aan beide normen moet worden voldaan ('one out, all out'), daalt het percentage met punten waar de norm wordt gehaald tot 29%. De spreiding is hierbij groot (27-42%). De verschillen in doelrealisatie tussen de jaren worden veroorzaakt door verschillen in de aantallen meetpunten en door verschillen in uitspoeling en retentie,

beiden afhankelijk van het weer. De veronderstelling die aan het begin van dit hoofdstuk is gegeven, namelijk dat het niet verstandig is om voor een specifiek jaar te toetsen, blijkt op basis van deze gegevens gegrond.

Hoofdgrondsoortregio's

De meetlocaties zijn ook ingedeeld op basis van de hoofdgrondsoortregio's (figuur 18). Löss is vanwege het geringe aantal meetlocaties (twee waarnemingen) buiten beschouwing gelaten. Het percentage meetlocaties dat aan de doelstellingen voor stikstof of fosfor voldoet is sinds 1990-1995 voor alle grondsoorten toegenomen. De realisatie van de stikstofdoelstelling is in de periode 2006-2010 iets lager is dan in de periode daarvoor, voor fosfor neemt het aantal stroomgebieden dat aan de doelstelling voldoet nog toe.



Figuur 18

Percentage van de meetlocaties per grondsoort, dat aan de KRW-doelstelling voor de stikstof- en fosforconcentraties voldoet voor de verschillende perioden.

Het percentage stroomgebieden dat in 2006-2010 aan de stikstofdoelen voldoet is in veengebieden het hoogst (57%), gevolgd door de zandgebieden (52%) en de kleigebieden (49%). Voor de fosfordoelstelling is het resultaat voor de periode 2006-2010 juist andersom: doelrealisatie kleigebieden (70%), zandgronden (42%) en veengebieden (19%).

In bijlage 4 zijn de doelrealisaties in de hoofdgrondsoortregio's voor de afzonderlijke jaren 2006, 2007, 2008, 2009 en 2010 weergegeven, zodat een beeld wordt verkregen van de variatie in doelrealisatie voor de periode 2006-2010.

4.2 Trends

De resultaten van de trendanalyse zijn op drie ruimtelijke schaalniveaus geaggregeerd: op clusters van beleidsregio's; op dominante grondsoort (zand, klei, veen) en landelijk. De resultaten van de trendanalyse zijn samengevat in tabel 12. De analyse voor de beleidsregio's worden in bijlage 5 gepresenteerd.

Tabel 12

Trends (%) voor drie ruimtelijke schaalniveaus en drie tijdperioden voor de waterkwaliteit ten aanzien van stikstof en fosfor. Kolom x is het percentage meetlocaties met onvoldoende metingen om een trend te kunnen berekenen, - staat voor een dalende trend, 0 staat voor geen significante trend, + staat voor een stijgende trend.

| Grondsoort | Jaar | Zomer | | | Winter | | | | | | | | |
|------------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | | - | 0 | + | x | - | 0 | + | | | | | |
| Stikstof | x | - | 0 | + | x | - | 0 | + | | | | | |
| Klei | 216 | 14 | 59 | 39 | 2 | 11 | 49 | 48 | 3 | 12 | 42 | 54 | 3 |
| Veen | 68 | 31 | 38 | 57 | 4 | 18 | 25 | 68 | 7 | 24 | 40 | 58 | 2 |
| Zand | 112 | 8 | 80 | 18 | 2 | 7 | 67 | 29 | 4 | 4 | 63 | 36 | 1 |
| Landelijk | 398 | 15 | 62 | 35 | 2 | 11 | 51 | 46 | 4 | 11 | 49 | 49 | 2 |
| Fosfor | x | - | 0 | + | x | - | 0 | + | x | - | 0 | + | |
| Klei | 216 | 38 | 53 | 44 | 3 | 36 | 47 | 52 | 1 | 36 | 34 | 60 | 6 |
| Veen | 68 | 31 | 43 | 43 | 15 | 18 | 39 | 52 | 9 | 24 | 31 | 65 | 4 |
| Zand | 112 | 7 | 67 | 24 | 9 | 5 | 59 | 33 | 8 | 3 | 51 | 41 | 7 |
| Landelijk | 398 | 28 | 57 | 36 | 7 | 24 | 50 | 45 | 5 | 24 | 40 | 54 | 6 |

Stikstof

Landelijk is het beeld dat voor stikstof op jaarbasis 62% van de meetpunten een dalende trend laat zien, in slechts 2% van de gevallen zijn er stijgende trends en in 35% van de gevallen is de trend niet significant. Dat kan wijzen op een stabiele situatie, of op een kleine trend die met het aantal waarnemingen niet als significant kan worden aangewezen. Als we de zomer- en winterperioden separaat beschouwen, neemt het aantal niet-significante trends toe, ten koste van het aantal dalende trends. Zowel in de zomer als in de winter heeft ongeveer de helft van de meetpunten een dalende trend.

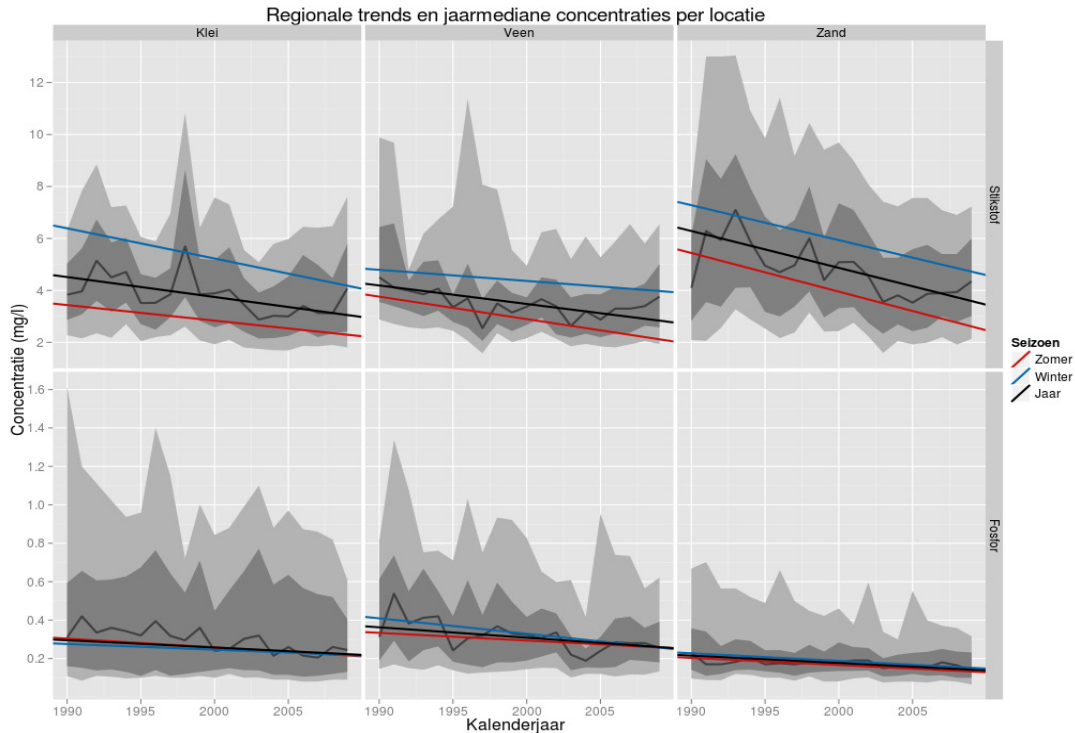
Zoomen we in op de verschillende grondsoorten, dan blijkt dat relatief de meeste dalende trends gevonden worden in het zandgebied (80%) gevolgd door de kleigebieden (59%) en veengebieden (38%). Op veen vinden we de meeste stijgende trends (4%), tegen 0-2% in de overige grondsoorten, deze verschillen zijn klein.

Fosfor

Voor fosfor is de situatie landelijke minder gunstig dan voor stikstof: ongeveer 5 procentpunt minder dalende trends en 5 procentpunt meer stijgende trends. De verschillen tussen grondsoorten zijn vergelijkbaar met die voor stikstof: de meeste dalende trends worden gevonden in zand (76%) en de minste in veen (43%).

Ook kan een landelijke trend worden berekend en gevisualiseerd (figuur 19). Op landelijke schaal zijn de trends voor stikstof en fosfor dalend, de trendhelling is voor stikstof meer dalend dan voor fosfor. Opnieuw blijken de in de bandbreedtes zichtbare verschillen tussen de jaren (als gevolg van verschillen in het weer) groot. De

bandbreedten zijn groot voor stikstof in de zandregio en voor fosfor in de kleiregio. De trends van fosfor zijn voor de onderscheiden perioden jaar, zomer en winter vrijwel gelijk, voor stikstof zijn de winterconcentraties beduidend hoger dan voor de zomerconcentraties.



Figuur 19

Bandbreedtes voor de 10, 25, 75 en 90 percentiel, de mediaan (zwarte fluctuerende lijn) en de zomer- (rode lijn), winter- (blauwe lijn) en jaartrends (zwarte lijn) van de landelijke (jaar) mediane stikstof- (boven) en fosforconcentratie (beneden) voor de oppervlaktewatermeetpunten.

Het grote percentage dalende trends wordt mede veroorzaakt door een afname van piekconcentraties (de smaller wordende bandbreedtes in figuur 19 voor fosfor in alle regio's en voor stikstof vooral in de zandregio). Een afname van piekconcentraties kan het gevolg zijn van een afname van puntbronnen, van een meer uniforme mestverdeling en/of van een afname van de uitspoeling via snelle afvoerroutes. Langere transportroutes via de bodem kunnen voor fosfor niet de oorzaak zijn omdat de P-ophoping in de bodem in de periode 1990-2010 gelijk is gebleven of zelfs nog geleidelijk is toegenomen. Waarschijnlijk is dat de aangepaste uitrijperiode, efficiëntere toedieningstechnieken van mest (kantstrooiers voor kunstmest), mestvrije zones/bufferstroken en de verplichting tot emissiearm aanwenden van dierlijke mest, deze dalende trends via een reductie van de piekafvoeren veroorzaken.

Voor de meeste trendmeetpunten wordt voor de gehele periode 1990-2010 een overwegend dalende trend gevonden voor zowel de stikstof als fosfor concentraties. Dit geldt zowel voor heel Nederland als voor de deelgebieden zand, klei en veen. De oppervlaktewaterkwaliteit in Nederland verbetert: de stikstof- en fosforconcentraties in de benedenstroomse grotere oppervlaktewateren zijn vanaf beginjaren negentig van de vorige eeuw tot nu aantoonbaar verbeterd. Die daling is voor stikstof absoluut gezien groter en sneller dan voor fosfor en is aantoonbaar in de drie hoofdgrondsoortregio's zand, klei en veen.

5 Emissies

De emissies naar het oppervlaktewater zijn op verschillende schaalniveaus geanalyseerd: van het regionaal oppervlaktewatersysteem via de Rijkswateren naar de Noordzee (OSPAR).

5.1 Emissies binnenlandse bronnen naar het oppervlaktewatersysteem

De emissies naar het regionale oppervlaktewatersysteem zijn bepaald met het modelinstrumentarium ECHO. Hierbij is gebruik gemaakt van de meest recente gegevens uit de Emissieregistratie (ER 2009) en de berekeningen voor de Evaluatie Meststoffenwet (Groenendijk et al., 2012). Ook is de aangepaste methode voor het berekenen van de retentie in het oppervlaktewater (paragraaf 2.1.2) voor de verschillende bronnen gebruikt.

Emissies landelijk

De belasting van de regionale wateren in 2009 op basis van emissies wordt voor een aanzienlijk deel veroorzaakt door de uit- en afspoeling van landbouwgronden. Daarnaast spelen ook de RWZI's (tabel 13) een rol. Voor stikstof is ook atmosferische depositie nog relevant, de andere bronnen dragen in veel mindere mate bij.

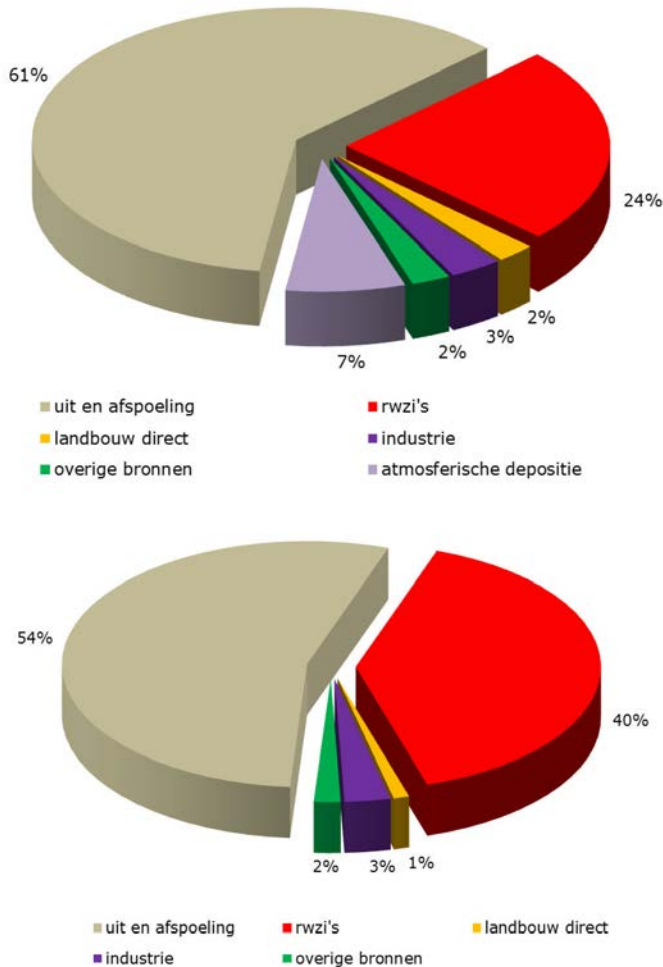
Tabel 13

Emissies stikstof en fosfor op het regionaal oppervlaktewater in 2009 en de absolute en relatieve retentie in het oppervlaktewater.

| | Stikstof | | | Fosfor | | |
|-------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------|------------------------------|--------------------------------|---------------|
| | Vracht 10 ⁶ kg | Retentie 10 ⁶ kg | Retentie % | Vracht 10 ⁶ kg | Retentie 10 ⁶ kg | Retentie % |
| Uit- en afspoeling | 36,6 | 11,7 | 32 | 3,0 | 1,5 | 49 |
| RWZI's | 14,6 | 1,0 | 7 | 2,2 | 0,09 | 4,2 |
| Landbouw direct | 1,4 | 0,4 | 26 | 0,2 | 0,01 | 20 |
| Industrie | 1,9 | 0,4 | 22 | 0,2 | 0,03 | 20 |
| Overige bronnen | 1,4 | 0,4 | 26 | 0,1 | 0,02 | 20 |
| Atmosferische depositie | 4,4 | 0,7 | 17 | - | - | - |
| Totaal | 60 | 15 | 24 | 5,6 | 1,6 | 29 |

De retentie in het oppervlaktewater in 2009 is voor stikstof 15 miljoen kg (24% van de totale input) en voor fosfor 1,6 miljoen kg (29% van de totale emissies). De berekende retentie is groot voor de bron 'uit- en afspoeling', omdat deze in belangrijke mate in de haarvaten van het oppervlaktewatersysteem terecht komt. De relatief lage retentie voor de bijdrage van RWZI's in het regionale watersysteem kan worden verklaard doordat deze in belangrijke mate benedenstrooms (dus relatief dicht bij Rijkswateren) liggen of rechtstreeks lozen op Rijkswateren. De totale vracht minus de totale retentie in het regionale oppervlaktewatersysteem is de vracht die in de Rijkswateren terecht komt.

De relatieve bijdrage van de verschillende bronnen aan de totale emissie naar het regionale oppervlaktewater in 2009 is gegeven in figuur 20. In bijlage 5 zijn de totale emissies uitgesplitst naar de grondsoorten zand, klei en veen.

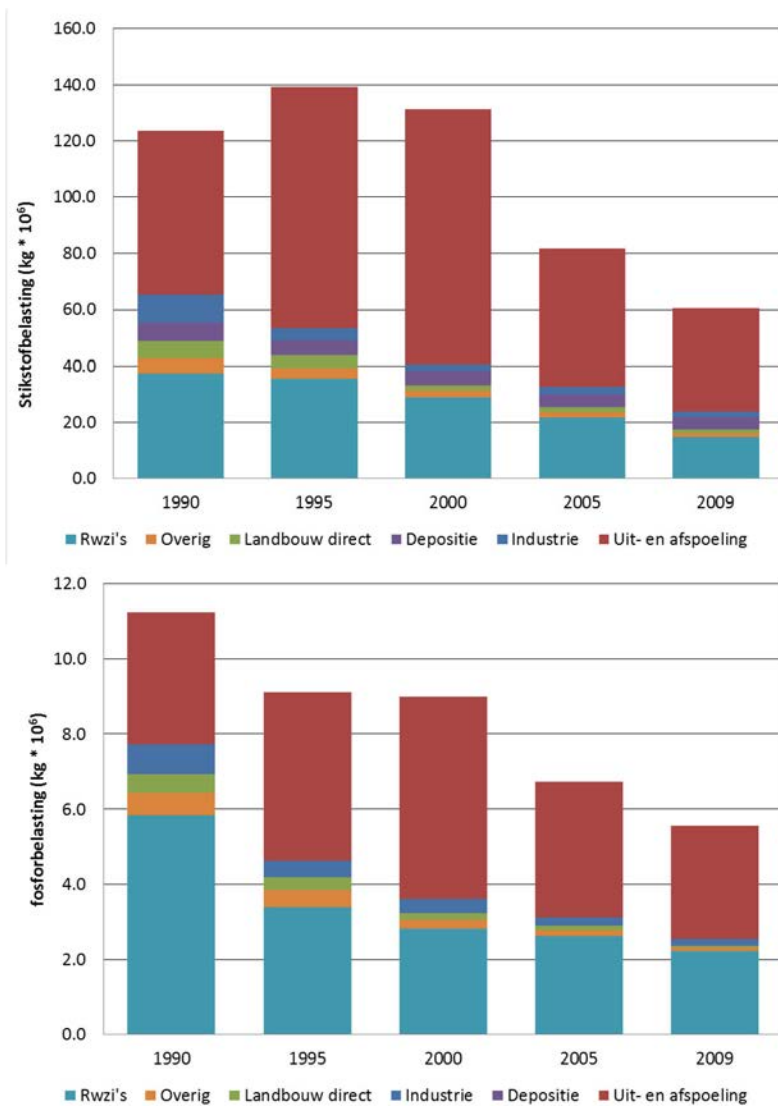


Figuur 20

Emissies (%) naar het oppervlaktewater uit Nederlandse bronnen in 2009 voor stikstof (boven) en fosfor (onder).

Veranderingen in emissies

De bijdrage van de verschillende emissiebronnen is voor meerder zichtjaren bepaald (figuur 21). De stikstofemissie naar het regionaal oppervlaktewater is sinds 1995 afgenomen van ca. 140 miljoen kg in 1995 naar 60 miljoen kg in 2009. Van 1990 tot ergens tussen 1995 en 2000 is de stikstofemissie nog toegenomen. Deze toename kan worden toegeschreven aan de toename in de uit- en afspoeling van landbouwgrond. Alle andere bronnen zijn in deze periode systematisch gereduceerd. Berekend is dat vanaf 2000 een reductie van de uit- en afspoeling is opgetreden. De resulterende afname van de stikstofemissie naar het oppervlaktewater in 2009 is vooral het gevolg van lagere emissies door uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurgronden en in mindere mate door de lagere emissies vanuit de RWZI's en de overige bronnen.



Figuur 21

Stikstof- en fosforbelasting (kg * 10⁶) naar het oppervlaktewater uit binnenlandse bronnen voor stikstof (boven) en fosfor (onder).

Ook de fosforemissies naar het oppervlaktewater zijn afgenomen van 11,2 miljoen kg in 1990 naar 5,6 miljoen kg in 2009. Opnieuw is voor de uit- en afspoeling een initiële toename zichtbaar en dalen de bijdragen van de overige bronnen continu. Na 2000 neemt ook de uit- en afspoeling af. De totale reductie is het gevolg van zowel afgenomen emissies vanuit RWZI's als de uit- en afspoeling, maar ook de fosforemissies van de (kleinere) andere bronnen zijn gereduceerd.

De absolute en relatieve afname van de stikstofvracht naar het oppervlaktewater uit binnenlandse bronnen in 2009 zijn vergeleken met 1990 (tabel 14).

Tabel 14*Absolute en relatieve afname nutriëntenbelasting tussen 1990 en 2009.*

| Bronnen | Afname stikstofvracht | | Afname fosforvracht | |
|----------------------------------|-----------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | miljoen kg N | % | miljoen kg P | % |
| Uit- en afspoeling ¹⁾ | 21,8 | 37 | 0,5 | 15 |
| RWZI's | 22,7 | 61 | 3,6 | 62 |
| Landbouw direct | 4,9 | 78 | 0,4 | 88 |
| Industrie | 7,9 | 80 | 0,6 | 78 |
| Overige bronnen | 3,9 | 73 | 0,5 | 84 |
| Atmosferische depositie | 2,2 | 33 | - | - |
| Totaal | 63 | 51 | 5,7 | 51 |

¹⁾ Werkelijke weerjaren.

De stikstof- en fosforbelasting naar het oppervlaktewater in 2009 is ongeveer gehalveerd ten opzichte van de nutriëntenbelasting in 1990. De grootste afname van de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater wordt gerealiseerd door een afname van de stikstofemissies van RWZI's (22,7 milj. kg N) en de uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurgebieden (21,8 milj. kg N). Relatief gezien is de grootste stikstofreductie gerealiseerd voor de emissies van industriële lozingen en 'landbouw direct' (mest in de sloot, erfafspoeling, glastuinbouw, etc.), beide ongeveer 80%.

De afname van de fosforbelasting komt voor het grootste gedeelte door de afname van de fosforemissies vanuit RWZI's. Opvallend is dat de afname van de fosforemissies vanuit landbouw- en natuurgebieden laag is (15%). De grootste relatieve afname is gerealiseerd voor de bronnen 'landbouw direct', overige bronnen en industrie.

Emissies per regio

Om een indruk te krijgen van de regionale verschillen in de emissies naar het oppervlaktewater uit landbouwgrond is in tabel 15 de gemiddelde uit- en afspoeling voor de periode 2006-2010 gepresenteerd voor de verschillende beleidsregio's.

Tabel 15*Nutriëntenvrachten (kg/ha) voor de beleidsregio's.*

| Regio | N-afvoer | P-afvoer | Oppervlakte |
|---------------------|-------------|------------|----------------|
| | kg/ha | kg/ha | ha |
| Zeeklei Noord | 19,1 | 2,0 | 189019 |
| Zeeklei Centraal | 42,5 | 3,1 | 242469 |
| Zeeklei Zuidwest | 34,8 | 2,6 | 239506 |
| Rivierklei Centraal | 15,8 | 0,9 | 135100 |
| Veen | 24,3 | 3,4 | 234256 |
| Zand Noord | 22,0 | 1,2 | 302231 |
| Zand Midden | 22,3 | 0,9 | 287713 |
| Zand Zuid | 25,2 | 0,9 | 292144 |
| Löss | 4,3 | 0,3 | 29513 |
| Nederland | 26,0 | 1,8 | 1951950 |

De emissie van fosfor is groot in veen en het centrale zeekleigebied, lagere emissies worden berekend voor zand zuid, zand midden, rivierklei centraal en löss. De emissie van stikstof is groot in zeeklei centraal en zeeklei zuidwest en is klein in lössgebied.

5.2 Emissies naar de Rijkswateren

De vrachten naar de Rijkswateren zijn afkomstig van emissies uit binnenlandse bronnen en de instroom uit het buitenland via de kleinere beken en de grotere rivieren (Maas, Rijn, Schelde en Eems). De emissies van de binnenlandse bronnen (paragraaf 5.1) en van de kleinere buitenlandse beken komen eerst in het regionaal oppervlaktewatersysteem terecht. Tijdens het transport door het lokale en regionale oppervlaktewatersysteem 'verdwijnt' een deel van de nutriënten door vastlegging of omzetting. Een groot deel van de RWZI's lozen echter direct op Rijkswateren zodat er nagenoeg geen retentie plaatsvindt, terwijl een groot deel van de nutriënten die via de uit- en afspoeling in het regionaal oppervlaktewater terecht komt, wordt vastgelegd of wordt omgezet. De vracht naar de Rijkswateren is de resultante van de emissies uit binnenlandse bronnen en kleinere buitenlandse beekjes op het regionaal watersysteem minus de retentie in het regionaal watersysteem en de instroom vanuit de grote rivieren Maas, Rijn, Schelde en Eems (tabel 16).

Tabel 16Nutriëntenbelasting (10^6 kg/jaar) naar de Rijkswateren.

| | Stikstof | | | | Fosfor | | | |
|--|------------|------------|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | 1995 | 2000 | 2005 | 2009 | 1995 | 2000 | 2005 | 2009 |
| Aanvoer kleine buitenlandse beken | 21 | 20 | 14 | 14 | 0,7 | 0,7 | 0,4 | 0,6 |
| Emissies Nederlandse bronnen | 139 | 131 | 82 | 60 | 9,1 | 9,0 | 6,7 | 5,6 |
| <i>Emissies naar het lokaal en regionaal oppervlaktewatersysteem</i> | <i>160</i> | <i>151</i> | <i>96</i> | <i>74</i> | <i>9,8</i> | <i>9,7</i> | <i>7,1</i> | <i>6,2</i> |
| Retentie regionaal en lokaal oppervlaktewatersysteem | 39 | 35 | 21 | 17 | 2,7 | 3,0 | 2,1 | 1,7 |
| Emissies uit het regionale systeem | 121 | 116 | 75 | 57 | 7,1 | 6,7 | 5,0 | 4,5 |
| Instroom buitenland via grote rivieren | 469 | 355 | 254 | | 23,3 | 19,2 | 10,7 | |
| Vracht naar Nederlandse Rijkswateren | 590 | 471 | 329 | | 30,4 | 25,9 | 15,7 | |

De emissies door binnenlandse bronnen zijn tussen 1995 en 2009 aanzienlijk gereduceerd, voor stikstof zelfs meer dan de helft. De bijdrage van de instroom vanuit het buitenland via de kleine beken en rivieren in 2009 is ook aanzienlijk (14 miljoen kg voor N en 0,6 miljoen kg voor P. De grote verandering in emissies uit binnenlandse bronnen naar de Rijkswateren is op basis van de achterliggende gegevens gerealiseerd in en rond de periode 2000 tot 2005.

Naast de afname van de emissies vanuit binnenlandse bronnen en instroom vanuit de kleine buitenlandse beken, is ook de totale inkomende vracht via de Maas, Rijn, Schelde en Eems tussen 1995 en 2005 fors afgenomen. De totale vracht naar de Rijkswateren is hierdoor eveneens aanzienlijk afgenomen.

5.3 Emissies naar de Noordzee

De nutriënten in de Nederlandse Rijkswateren zijn afkomstig uit binnenlandse bronnen en uit het buitenland via de kleinere beken en de rivieren Maas, Rijn, Schelde en Eems. Vervolgens kan de nutriëntenbelasting naar de Noordzee voor de verschillende jaren worden bepaald (tabel 17). De emissies naar en retentie in het regionale systeem, evenals de instroom vanuit de kleinere buitenlandse beekjes zijn in deze studie berekend, de instroom vanuit het buitenland via de Maas, Rijn, Schelde en Eems en de retentie in de Rijkswateren zijn overgenomen uit het rapport van De Klein (2007).

Tabel 17Nutriëntenbelasting (10^6 kg/jaar) naar de Noordzee/Waddenzee.

| | Stikstof (miljoen kg/jaar) | | | | Fosfor (miljoen kg/jaar) | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|------------|------------|------|-----------------------------|-------------|-------------|------|
| | 1995 | 2000 | 2005 | 2009 | 1995 | 2000 | 2005 | 2009 |
| Emissie uit het regionale systeem | 121 | 116 | 75 | 57 | 7,1 | 6,7 | 5,0 | 4,5 |
| Instroom uit het buitenland | 469 | 355 | 254 | | 23,3 | 19,2 | 10,7 | |
| <i>Emissie naar Rijkswateren</i> | <i>590</i> | <i>471</i> | <i>329</i> | | <i>30,4</i> | <i>25,9</i> | <i>15,7</i> | |
| Retentie Rijkswateren | 109 | 91 | 74 | | 8,7 | 7,0 | 4,5 | |
| Vracht naar Noordzee | 481 | 380 | 255 | | 21,7 | 18,9 | 11,2 | |

De berekende retentie in de Nederlandse rivieren varieert voor de gepresenteerde drie jaren van 18% tot 22% van de belasting voor stikstof en 27% tot 29% van de belasting voor fosfor. De Klein berekende gemiddelde retenties van 19% respectievelijk 26% voor de periode 1995-2005. De variatie in retentie wordt veroorzaakt door verschillen tussen de jaren in afvoeren als gevolg van verschillen in het weer, door verschillen in emissies in binnenlandse bronnen en door verschillen in vrachten.

De resulterende emissies uit het regionale systeem zijn (door meenemen van retentie in dat systeem) kleiner dan de totale emissies gerapporteerd in OSPAR (2008). De resulterende vracht naar de Noordzee is, door de grote bijdrage van de instroom uit het buitenland veel groter dan de totale emissies naar de Noordzee uit Nederlandse bronnen die zijn gerapporteerd in OSPAR.

6 Optimalisatie maatregelenpakket

Het modelinstrumentarium Waterwijs is ingezet om te zoeken naar een 'optimaal' maatregelenpakket om gewenste beleidsdoelen te kunnen realiseren. De volgende beleidsdoelen en randvoorwaarden zijn voor deze exercitie als uitgangspunt genomen:

- 1) Het voorgenomen mestbeleid wordt op alle landbouwgronden toegepast.
- 2) Aanvullende, landbouwkundige maatregelen worden alleen toegepast waar nodig. Als aan de KRW-**nutriëntendoelstelling** wordt voldaan, is het niet nodig om (meer) maatregelen door te voeren.
- 3) Er wordt rekening gehouden met **afwenteling** naar benedenstroomse gebieden.
- 4) Het pakket moet zo goedkoop mogelijk zijn (er wordt gestart met het nemen van de meest **kosteneffectieve** maatregelen).
- 5) Helofytenfilters worden benedenstrooms bij het uitstroompunt van de stroomgebieden ingericht (en niet in kleine waterlopen binnen het gebied zoals in deze studie eerder is gebeurd). Hierdoor wordt niet alleen de belasting vanuit natuur- en landbouwgebieden gezuiverd, maar ook de emissies vanuit RWZI's, stedelijk gebied etc. waardoor de helofytenfilters dus efficiënter worden ingezet.

Of het gezochte optimale maatregelenpakket een verbetering vormt is verkend aan de hand van het benodigde areaal maatregelen en de kosten van het maatregelenpakket.

6.1 Areaal

Het zoeken naar de 'beste' beheerstrategie met Waterwijs heeft geresulteerd in een forse afname van het totale areaal waar maatregelen worden toegepast (tabel 18).

Tabel 18

Areaal waarop de maatregel worden toegepast om aan de oppervlaktewaterkwaliteitsdoelstelling te voldoen voor en na het zoeken naar de 'beste' beheerstrategie.

| Maatregel | Areaal waarop maatregel wordt toegepast | | Percentage van totaal landbouwareaal | | |
|--------------------------------|---|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------|----------|
| | Voor ¹⁾ optimalisatie | Na ²⁾ optimalisatie | Voor optimalisatie | Na optimalisatie | Verschil |
| | ha * 1000 | ha * 1000 | % | % | % |
| Geen P-kunstmest | 1952 | 342 | 100% | 18% | 82% |
| Voorjaarstoediening | 463 | 107 | 24% | 5,5% | 18% |
| Vergroten mestopslag | 974 | 96 | 50% | 4,9% | 45% |
| Precisiebemesting | 968 | 88 | 50% | 4,5% | 45% |
| Aanpassen bouwplan | 746 | 94 | 38% | 4,8% | 33% |
| Uitmijnen | 1952 | 136 | 100% | 7,0% | 93% |
| DSPD* | 188 | 128 | 10% | 6,6% | 3% |
| Droge, onbemeste bufferstroken | 1127 | 95 | 58% | 4,9% | 53% |
| Helofytenfilters | 6,5 | 4,4 | - | - | 32% |
| Totaal | 8370 | 1086 | 100% | | |

¹⁾ Maatregelen worden overal toegepast waar deze mogelijkwerijs effect beogen.

²⁾ Areaal waar maatregelen worden toegepast na het zoeken van de 'beste' beheerstrategie.

Het areaal te nemen maatregelen neemt af van gemiddeld 4,3 maatregelen per ha in de eerdere studie (Van Boekel et al., 2011) naar gemiddeld 0,6 maatregelen per ha voor het bij de gegeven beleidsdoelen en randvoorwaarden optimale maatregelenpakket. Deze efficiëntere inzet van de maatregelen wordt bereikt doordat:

- 1) er geen aanvullende maatregelen worden ingezet in stroomgebieden zodra aan de nutriëntendoelstelling wordt voldaan;
- 2) er rekening wordt gehouden met afwenteling, waardoor aanvullende maatregelen worden ingezet op de meest juiste i.e. kosteneffectieve plek;
- 3) de efficiëntere inzet van helofytenfilters benedenstrooms waardoor ook de nutriënten vanuit andere bronnen worden gezuiverd.

6.2 Kosten

Bij het zoeken naar de 'beste' beheerstrategie zijn de (indirecte) inkomenseffecten nog niet meegenomen, doel was om de methode te operationaliseren en om te verkennen tot welke resultaten deze werkwijze leidt. De investeringskosten, onderhoudskosten en indirecte kosten (inkomensveranderingen) voor dit pakket zijn gekwantificeerd om ze te kunnen vergelijken met de resultaten van de eerdere studie (Van Boekel et al., 2011). Het met Waterwijs zoeken naar een optimaal maatregelenpakket blijkt te resulteren in een forse afname van de totale kosten (tabel 19). De kosten nemen met 661 miljoen kg af (ruim 80%).

Tabel 19*Totale kosten en kosten per maatregel voor en na het zoeken naar de 'beste' beheerstrategie.*

| Maatregelpakket | Maatregel | Kosten (miljoen euro) | |
|-----------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| | | Voor optimalisatie ¹⁾ | Na optimalisatie ²⁾ |
| Bedrijf | Geen fosforkunstmest | - | - |
| | Voorjaarstoediening | - | - |
| | Vergroten mestopslag | 97 | 5,5 |
| | Precisiebemesting | 59 | 7,4 |
| | Aanpassen bouwplan | 88 | 5,7 |
| | Totaal | | 244 |
| Perceel | Uitmijnen | 250 | 21,8 |
| | DSPD | 83 | 7,9 |
| | Droge, onbemeste bufferstroken | 83 | 5,7 |
| | Totaal | 417 | 35,4 |
| Sloot | Helofytenfilters | 149 | 95 |
| Totaal | | 810 | 149 |

¹⁾ Maatregelen worden overal toegepast waar deze mogelijkerwijs effect beogen.

²⁾ Areaal waar maatregelen worden toegepast na het zoeken van de 'beste' beheerstrategie.

7 Conclusies en aanbevelingen

Verdieping inhoudelijke basis

Conclusies

- 1) Het gebruik van nieuwe informatie over de meest recente uit- en afspoeling (STONE 2.4, Evaluatie Meststoffenwet), nutriëntenemissies uit de Emissieregistratie (ER, 2009) en de nieuwe retentieschattingen in ECHO leidt tot betere schattingen van de stikstofvracht in de zomerperiode, winterperiode en op jaarbasis. De nieuwe berekeningen met STONE 2.4, maar vooral de nieuwe retentieschattingen voor stikstof in poldersystemen, dragen bij aan de betere match tussen berekende en uit metingen afgeleide stikstofvrachten. Het effect van de nieuwe EmissieRegistratie is op nationale schaal over het algemeen beperkt (<5%), maar kan lokaal zeer relevant zijn.

Het gebruik van nieuwe informatie leidt meestal niet tot een betere match tussen de berekende fosforvracht en de uit metingen afgeleide fosforvracht. Als alleen gebruik wordt gemaakt van de meest recente uit- en afspoelingscijfers uit STONE 2.4 wordt een lichte verbetering gevonden, maar in combinatie met de andere data is een verslechtering zichtbaar. In tegenstelling tot stikstof leidt het gebruik van andere retentiewaarden voor fosfor niet tot betere resultaten. Dit kan voor een groot gedeelte verklaard worden doordat de retentiefactoren voor fosfor in poldersystemen en overgangsgebieden niet zijn aangepast.

- 2) Het opsplitsen van de drie stroomgebieden in kleinere eenheden (acht subgebieden) heeft tot resultaten geleid waaruit geen duidelijke conclusies getrokken kunnen worden met de vraag of het opsplitsen tot betere inzichten geleid waar de 'problemen' liggen voor de verschillen tussen berekende en uit metingen afgeleide nutriëntenvracht binnen een (groter) stroomgebied. Het lijkt noodzakelijk om het aantal pilotgebieden uit te breiden.
- 3) Het effect van een klein(er) schaalniveau op de plausibiliteit van modelresultaten is inzichtelijk gemaakt voor zeven pilotgebieden, waarbij onderscheid gemaakt is tussen pilotgebieden die (bijna) volledig zijn opgesplitst en gebieden waarbinnen kleinere subgebieden (polders) zijn geselecteerd. Het algemene beeld is dat de spreiding tussen de berekende en uit metingen afgeleide nutriëntenvracht tussen de jaren groter wordt naarmate kleinere eenheden worden onderscheiden, maar dat dit niet altijd resulteert in een lagere gemiddelde plausibiliteit van de modelresultaten over de jaren heen. Door het beperkt aantal stroomgebieden en daarmee niet representatief zijn voor het nationale beeld, moeten de resultaten vooralsnog met de nodige voorzichtigheid worden geïnterpreteerd.

Aanbevelingen

- 1) Uit de resultaten blijkt dat er vooruitgang geboekt is bij het schatten van de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater op nationale schaal en dat dit met name wordt veroorzaakt door de betere inschatting van de stikstofretentie in het oppervlaktewater voor poldergebieden. Het gebruik van nieuwe gegevens heeft niet tot betere resultaten geleid voor fosfor. Een deel kan verklaard worden doordat de fosforretentie in polders en overgangsgebieden niet is aangepast. Het verdient dan ook de aanbeveling om het onderzoekstraject te continueren, waarbij onder andere de prioriteit moet worden gelegd bij de fosforretentie in het oppervlaktewater en vooral in polders en overgangsgebieden.

- 2) Conclusies over de plausibiliteit van de modelresultaten op een klein(er) schaalniveau kunnen beter worden onderbouwd door het aantal pilotgebieden uit te breiden. De selectie kan het beste plaatsvinden door dit samen met de regionale waterbeheerders op te pakken en de gebieden zodanig te kiezen dat ieder uitstroompunt zijn eigen vanggebied heeft en afzonderlijke uitspraken gedaan kunnen worden voor klei-, veen- en zandgebieden.

Toestand en trends oppervlaktewater

Conclusies

- De stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater in Nederland zijn vanaf beginjaren negentig van de vorige eeuw tot nu aantoonbaar verbeterd. De daling is voor stikstof groter en sneller dan voor fosfor en is aantoonbaar in de zand-, klei- en veenregio's. Het percentage meetlocaties dat aan de doelstellingen voor stikstof of fosfor voldoet is sinds 1990-1995 voor alle grondsoorten toegenomen en bedraagt op dit moment voor zowel stikstof als fosfor ongeveer 50%. Op 30% van de meetlocaties wordt aan zowel de stikstof- als de fosfornorm voldaan. In de veengebieden voldoen meer locaties aan de norm voor stikstof dan in de zand- en kleigebieden. Voor totaal fosfor geldt dat in het kleigebied het percentage van de meetlocaties dat voldoet aan de norm hoger is dan in het zand- en veengebied.

Aanbevelingen

- Het meenemen van meer meetpunten (fijnere schematisering) bij de analyse zal meer inzicht geven in regionale verschillen in toestand en trends in het oppervlaktewater en resulteert in een hogere betrouwbaarheid.

Optimalisatie maatregelenpakket

Conclusies

- Het is mogelijk om de aanvullende, landbouwkundige maatregelen efficiënter in te zetten door rekening te houden met de kosteneffectiviteit van maatregelen, de gewenste nutriëntenconcentraties en de afwenteling naar benedenstrooms gelegen stroomgebieden. Verkennende berekeningen met het modelinstrumentarium Waterwijs laten zien dat het totale areaal waar maatregelen worden toegepast met de bijbehorende totale kosten aanzienlijk kunnen worden gereduceerd, zonder dat het aantal gebieden dat aan de doelstelling voor de stikstof- en fosforconcentraties voldoet, afneemt.

Bijdrage bronnen

Regionaal oppervlaktewatersysteem

De uit- en afspoeling van stikstof en fosfor vanuit landbouw- en natuurgebieden draagt het meeste bij aan de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater (61% voor stikstof en 54% voor fosfor). Ook de bijdrage van rwzi's is significant (24% voor stikstof en 40% voor fosfor). De bijdrage van de overige bronnen is beperkt, hoewel de atmosferische depositie nog 7% bijdraagt aan de stikstofbelasting.

Sinds 1995 is de belasting van het regionaal oppervlaktewater fors gedaald. De stikstofemissie vanuit de Nederlandse bronnen is gedaald van 139 miljoen kg in 1995 naar 60 miljoen kg in 2009 (afname van ruim 50%). Ook de fosforbelasting vanuit binnenlandse bronnen is ongeveer gehalveerd (11,2 miljoen kg in 1995 tot 5,6 miljoen kg in 2009).

Rijkswateren

De vracht naar de Rijkswateren is de resultante van de emissies uit binnenlandse bronnen en kleinere buitenlandse beekjes op het regionaal watersysteem minus de retentie in het regionaal watersysteem en de instroom vanuit de grote rivieren Maas, Rijn, Schelde en Eems.

De totale vracht naar Rijkswateren in 2005 is 329 miljoen kg stikstof, waarvan ruim 75% afkomstig is vanuit het buitenland via de grote rivieren (Maas, Rijn, Schelde en Eems). Ca. 68% van de totale fosforvracht (15,7 miljoen kg in 2005) wordt door de grotere rivieren aangevoerd.

Noordzee

De nutriënten in de Nederlandse Rijkswateren zijn afkomstig uit binnenlandse bronnen en uit import uit het buitenland via de kleinere beken en de rivieren Maas, Rijn, Schelde en Eems. De totale vracht naar de Noordzee bedroeg in 2005 ca. 255 miljoen kg stikstof en 11,2 miljoen kg fosfor.

Literatuur

Bal, D., H.M. Beije, M. Fellingier, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal en F.J. van Zadelhoff, 2001. *Handboek Natuurdoeltypen*. Tweede, geheel herziene editie. Rapport EC-LNV nr. 2001/020.

Boekel, E.M.P.M. van, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, V.G.M. Linderhof, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, N.B.P. Polman, L.V. Renaud en D.J.J. Walvoort, 2011. *Ex-ante evaluatie Landbouw en KRW, Bijdrage van het voorgenomen beleid en aanvullende (landbouwkundige) maatregelen op de realisatie van de KRW-nutriëntendoelstelling*. Wageningen, Alterra-rapport 2121.

Boekel, E.M.P.M., P.J.T. van Bakel, F.J.E. van der Bolt, F.J.E. van der Bolt, W.C. Chardon, O.A. Clevering, W. van Dijk, I.E. Hoving, I.G.A.M. Noij, E.A. van Os, 2010. *Ex-ante evaluatie landbouw en KRW: achtergrondstudie: effecten van aanvullende maatregelen*. Wageningen, Alterra rapport 1987.

Bogaart, P., 2012. *Trendanalyse Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Ex post); methodologische achtergrond-rapportage*. Wageningen, Alterra rapport in prep.

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

Bolt, F.J.E. van der, O.F. Schoumans (eds.), E.M.P.M. van Boekel, P. Bogaart, H.P. Broers, B. van der Grift, C.H.G. Daatselaar, W. van Dijk, P. Groenendijk, A. van den Ham, A.E.J. Hooijboer, A. de Klijne, R.L.M. Schils en T.P. Tol-Leenders, 2012. *Ontwikkeling van de bodem- en waterkwaliteit. Evaluatie Meststoffenwet 2012: eindrapport ex post*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2318.

Cleij, P., 2008. *De Waterplanner ERC-2005 database*. Bilthoven, MNP. MNP werkdocument in voorbereiding.

Faber, W., D. Wielakker, A. Bak en J.L. Spier, 2011 *Richtlijn KRW Monitoring Oppervlaktewater en Protocol Toetsen & Beoordelen*. Rijkswaterstaat, Lelystad.

Groenendijk, P., L.V. Renaud, O.F. Schoumans, H.H. Luesink, T.J. de Koeijer en G. Kruseman, 2012. *MAMBO en STONE-resultaten van rekenvarianten van gebruiksnormen. Evaluatie meststoffenwet 2012: eindrapport ex ante*. Wageningen. Alterra, Alterra-rapport 2317.

J.C. van den Roovaart et al., Landelijk Pilot KRW-verkenner: Effecten van beleidsscenario's op de nutriëntenkwaliteit, rapportnummer 12057116-000-ZWS-01111-vj, Deltares.

Kaderrichtlijn Water, 2000. Europese Commissie, 2000. Richtlijn 2000/60/EC van het Europese Parlement en de Raad. Vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid.

Klein, J.J.M. de, 2007. *Analyse van de grootte en de herkomst van de vrachten stikstof en fosfor, via het oppervlaktewater, op het Nederlandse deel van de Noordzee*. Wageningen. Alterra-rapport 1417.

- Klein, J.J.M. de, 2008. *From Ditch to Delta, Nutrient retention in running waters*. PhD-thesis Wageningen University, Wageningen. ISBN: 978-90-8504-930-2.
- Klein, J. M. de, A. Koelmans, 2011. 'Quantifying seasonal export and retention of nutrients in West European lowland rivers at catchment scale.' In: *Hydrological Processes* 25 (13), 2102-2111.
- Kroes, J.G., E.M.P.M. van Boekel, F.J.E. van der Bolt, L.V. Renaud en J. Roelsma, 2011. *ECHO, een methodiek ter ondersteuning van waterbeleid; methodiekb beschrijving en toepassing Drentse Aa*. Wageningen. Alterra, Alterra-rapport 1913.
- Massop, H.Th.L, J.W.J. van der Gaast en A.G.M. Hermans, 2007. *Kenmerken van het ontwateringsstelsel in Nederland*. Alterra rapport 1397. Gepubliceerd: 28 feb 2007; 94 pp.
- MNP, 2007. *Werking van de meststoffenwet 2006*. Milieu- en Natuurplanbureau (MNP), Bilthoven. MNP-publicatienummer 500124001.
- MNP, 2008. *Kwaliteit voor later. Ex ante evaluatie Kader Richtlijn Water*. Milieu- en Natuurplanbureau (MNP). Bilthoven. MNP-publicatienummer 50014000.
- Molen, D.T. van der en R. Pot (redactie), 2007. *Referenties en maatlatten van natuurlijke watertypen voor de Kader Richtlijn Water*. STOWA, Utrecht, rapport 2007-32 / RWS Waterdienst, Lelystad, rapport 2007-018.
- Muhammetoglu, A. en S. Soyupak, 2000. 'A three-dimensional water quality-macrophyte interaction model for shallow lakes'. In: *Ecological Modelling* Vol. 133, pp. 161-180.
- RIVM. www.emissieregistratie.nl
- Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011a. *Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentse Aa. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden*. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-I. Alterra rapport 2218. Alterra, Wageningen.
- Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011b. *Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitenbeek. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden*. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-II. Wageningen. Alterra, rapportnummer 2219.
- Roijackers, R., S. Szabó en M. Scheffer, M., 2004. 'Experimental analysis of the competition between algae and duckweed.' In: *Hydrobiologie* 160, 401-412.
- Schoumans, O.F., P. Groenendijk, L. Renaud en F.J.E. van der Bolt, 2008. *Nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Vergelijking tussen landbouw- en natuurgebieden*. Wageningen. Alterra. Alterra-rapport 1700.
- Seitzinger, S.P., R.V. Styles, E.W. Boyer, R.B. Alexander, G. Billen, R.W. Howarth, B. Mayer en N. van Breemen, 2002. 'Nitrogen retention in rivers: model development and application to watersheds in the northeastern USA.' In: *Biogeochemistry* 57: 199-237.
- Siderius, C., P. Groenendijk, L.P.A. van Gerven, M.H.J.L. Jeuken en A.A.M.F.R Smit, 2008. *Process description of Nuswalite; a simplified model for the fate of nutrients in surface waters*. Alterra Report 1226.2, Alterra, Wageningen.

Siderius, C., J. Roelsma, H.M. Mulder, L.P.A. van Gerven, R.F.A. Hendriks en T.P. van Tol-Leenders, 2011. *Kalibratie Modelsysteem Monitoring Stroomgebieden*. Reeks Monitoring Stroomgebieden 22. Alterra rapport 2216, Alterra, Wageningen.

Smit, A.A.M.F.R, C. Siderius en L.P.A. van Gerven, 2012. *Process description of SWQN; A simplified hydraulic model*. Alterra Report 1226.1, Alterra, Wageningen.

Venohr, M., I. Donohue, S. Fogelberg, B. Arheimer, K. Irvine en H. Behrendt, 2005. *Nitrogen retention in a river system and the effects of river morphology and lakes*. In: *Water Science and Technology* 51, 19-29.

Veraart, A.J., J.J.M. de Klein en M. Scheffer, 2011b. 'Warming Can Boost Denitrification Disproportionately Due to Altered Oxygen Dynamics.' In: *PLoS ONE* 6(3): e18508.

Veraart, A.J., M. Rocha Dimitrov, A. Schrier-Uijl, F. Gillissen, H. Smidt, J.J.M. de Klein, in voorbereiding. *Denitrification in Dutch drainage ditches, relations with nitrate and nirK abundance* (tentative title).

Walsum, P.E.V. van, J. Helming, L. Stuyt, E. Schouwenberg en P. Groenendijk, 2008. *Spatial planning for lowland stream basins using a bioeconomic model*. In: *Environmental Modelling & Software* 23(5), 569-578.

Walsum, P.E.V. van, J.F.M. Helming, E.P.A.G. Schouwenberg, P. Groenendijk, L.C.P.M. Stuyt, P.H. Vereijken, K.W. Ypma, P.J.T. van Bakel en C.J.A.M. de Bont, 2002. *Waterwijs; plannen van toekomstig gebruik*. Rapport 433. DLO-Alterra. Wageningen.

Walvoort, D.J.J. en T.P. van Tol-Leenders, 2009. *Database 'Monitoring stroomgebieden': een slimme database voor het beheren van monitoringsgegevens*. Wageningen, Alterra-rapport 1955, Monitoring Stroomgebieden.

Woestenburg, M. en T.P. van Tol-Leenders, 2011. *Sturen op schoon water: eindrapportage project Monitoring Stroomgebieden*.

Wolf, J., A.H.W. Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter en H. van Zeijts, 2003. *The integrated modelling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands*. *Environ. Modelling & Software*, 18, pp. 397-417.

Bijlage 1 Retentieschattingen oppervlaktewater

Vrij afwaterende stroomgebieden

Voor de vrij afwaterende stroomgebieden is de retentie op de uitspoelende nutriënten vanuit het landsysteem afhankelijk gemaakt van de 'specifieke afvoer' (*SR*):

$$SR = \frac{Q}{OW} \quad (6)$$

Waarin:

| | | |
|-----------|---------------------------------------|--|
| <i>SR</i> | Specifieke afvoer | (m ³ s ⁻¹ ha ⁻¹) |
| <i>Q</i> | Afvoer bij uitstroompunt stroomgebied | (m ³ s ⁻¹) |
| <i>OW</i> | Openwateroppervlak in stroomgebied | (ha) |

De 'specifieke afvoer' is vergelijkbaar met hydraulische verblijftijd met het verschil dat de 'specifieke afvoer' geen informatie bevat over de waterdiepte in tegenstelling tot de hydraulische verblijftijd. De waterdiepte is erg variabel in een vrij afwaterend stroomgebied van voldoende grootte (zoals in de Evaluatie Landbouw en KRW). Omdat de variabele waterdiepte naar verwachting weinig verband houdt met de variabiliteit in de retentieprocessen is de retentie waarschijnlijk niet goed te relateren aan de waterdiepte en daarmee de hydraulische verblijftijd, althans op het schaalniveau van de stroomgebieden van dit project. Daarom is ervoor gekozen de retentie in de vrij afwaterende gebieden te relateren aan de 'specifieke afvoer', zoals vaak wordt gedaan (o.a. Klein et al., 2011; Seitzinger et al., 2002).

Voor een aantal vrij afwaterende stroomgebieden is het verband bepaald tussen de retentie en de 'specifieke afvoer' om te komen tot een algemeen verband. De hiervoor geselecteerde stroomgebieden voldoen aan de volgende criteria:

- De uitspoeling van nutriënten vanuit het landsysteem is verreweg de belangrijkste nutriëntenbron voor het oppervlaktewater.
- Het stroomgebied is niet aangesloten op bovenstrooms gelegen stroomgebieden.
- De uitgaande nutriëntenvracht bij het uitstroompunt moet goed te bepalen zijn op basis van metingen.

Het eerste criterium is van belang omdat de af te leiden retentie alleen betrekking heeft op de diffuse nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem; de andere nutriëntenbronnen zijn in de Evaluatie Landbouw en KRW voorzien van een retentiewaarde (Van Boekel et al., 2011).

Uiteindelijk bleken er vier vrij afwaterende stroomgebieden te voldoen aan bovenstaande criteria:

- Drentse Aa.
- Schuitenbeek.
- Hoevenlakense, Barneveldse en Esvelder beek (HBE beek).
- Wapperveensche en Vledder Aa (WV Aa).

Bepaling retentie

De Drentse Aa en de Schuitenbeek zijn intensief bemeten in het project Monitoring Stroomgebieden (Roelsma et al., 2011a; Roelsma et al., 2011b) en voor de overige twee stroomgebieden zijn in het kader van dit project meetdata aangeleverd. De nutriëntenretentie (R_a) is per gebied als volgt bepaald:

$$R_a = L_{\text{uitspoeling}} - L_{\text{uitstroom}}^* \quad (7)$$

Waarin:

| | | |
|--------------------------|--|-----|
| R_a | Absolute nutriëntenretentie in het oppervlaktewater | (g) |
| $L_{\text{uitspoeling}}$ | Uitspoeling van nutriënten vanuit het landsysteem | (g) |
| $L_{\text{uitstroom}}^*$ | Uitstromende nutriënten bij uitstroompunt, gecorrigeerd voor andere bronnen dan de nutriëntenuitspoeling | (g) |

De nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem ($L_{\text{uitspoeling}}$) is voor de Drentse Aa en Schuitenbeek bepaald op basis van een gekalibreerd SWAP-ANIMO modelinstrumentarium (Siderius et al., 2011). Voor de andere twee stroomgebieden is hiervoor het model STONE (Wolf et al., 2003) gebruikt, versie 2.4.

Bij de correctie van de uitstromende nutriëntenvracht ($L_{\text{uitstroom}}^*$) voor de nutriëntenbronnen buiten de uitspoeling (zoals RWZI's en industriële lozingen) is rekening gehouden met de retentie die aangrijpt op deze nutriëntenbronnen (volgens Emissieregistratie), zoals eerder bepaald in dit project (Van Boekel et al., 2011). Tabel 20 geeft aan welke data per stroomgebied zijn gebruikt om de (ongecorrigeerde) uitstromende nutriëntenvracht te bepalen.

De uitstromende nutriëntenvracht is per dag bepaald. Hiervoor zijn dagelijkse nutriëntenconcentraties nodig die zijn verkregen door lineair te interpoleren tussen de gemeten concentraties met maandelijkse steekmonsters (in HBE beek en WV Aa). Ook is lineaire interpolatie gebruikt om ontbrekende debietdata en ontbrekende debiet proportioneel gemeten nutriëntenconcentraties aan te vullen.

Tabel 20

Data per stroomgebied ter bepaling van de uitgaande nutriëntenvracht (= debiet * concentratie) bij het uitstroompunt).

| | Debiet | | Nutriëntenconcentraties | | |
|--------------|-------------|------------------------|-------------------------|----------------|--------------|
| | Meetlocatie | Meetfrequentie | Meetlocatie | Meetfrequentie | Meetmethode |
| Drentse Aa | * | Dagelijks | 1112 | wekelijks | Debietsprop. |
| Schuitenbeek | 25210 | Dagelijks/elk kwartier | 25210 | wekelijks | Debietsprop. |
| HBE beek | 4070 | Dagelijks | 29738 | maandelijks | Steekmonster |
| WV Aa | Stuw Wulpen | Dagelijks | 1STE A8RO | maandelijks | Steekmonster |

* Op basis van modelresultaten van het hydraulische model SWQN (Smit et al., 2012).

Verband tussen retentie en 'specific' runoff

De retentiefraction (R_f), het deel van de totale nutriëntenbelasting dat in het stroomgebied wordt vastgelegd, kan als volgt worden gerelateerd aan de 'specifieke afvoer' SR (Klein et al., 2011; Seitzinger et al., 2002):

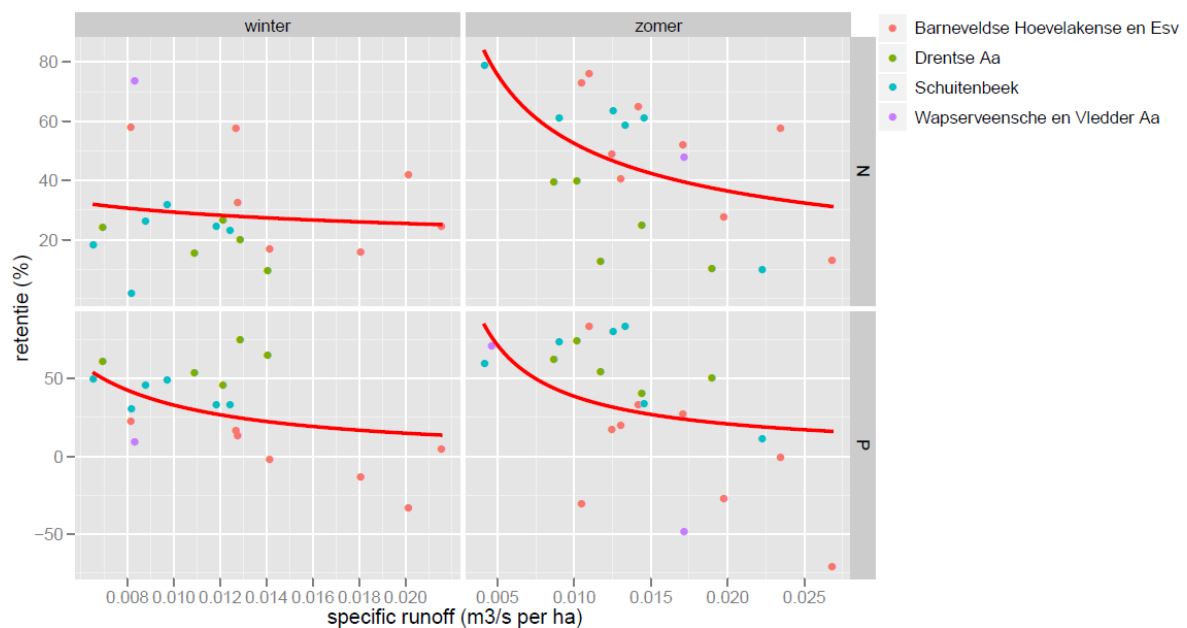
$$R_f = a \cdot SR^b \quad (8)$$

Waarbij a en b nader te bepalen coëfficiënten zijn.

Voor de vier stroomgebieden zijn deze coëfficiënten bepaald voor het winter- en het zomerhalfjaar. In elk stroomgebied is voor elk zomer- en winterhalfjaar met voldoende meetdata de retentie en de 'specifieke afvoer' bepaald, wat resulteert in de puntenwolken in figuur 23.

De 'specifieke afvoer' is hierbij berekend met het gemeten uitgaande debiet en met het openwateroppervlak op basis van de TOP10 waterlopen, waarvan de geometrie is afgeleid van het hydrotype waarin de waterlopen liggen (Massop et al., 2007).

De puntenwolken in figuur 22 zijn gefit met vergelijking 8, dit resulteert in waarden voor de coëfficiënten a en b (tabel 22). Te zien is dat de fit in alle gevallen matig is. Dit suggereert dat de 'specifieke afvoer' niet de enige verklarende variabele is voor de retentie, uitgaande van juiste meet- en modeldata. Het gevonden verband voor N is in figuur 23 vergeleken met verbanden afgeleid in andere studies (Klein et al., 2011; Venohr et al., 2005; Seitzinger et al., 2002), echter afgeleid voor per studie verschillende temporele en ruimtelijke schaalniveaus.



Figuur 22

Verband tussen het retentiepercentage (op de uitspoelende nutriënten vanuit het landsysteem) en de 'specifieke afvoer', voor de vier stroomgebieden, per stof en per halfjaar. De rode lijn geeft de gefitte curve (vergelijking 8).

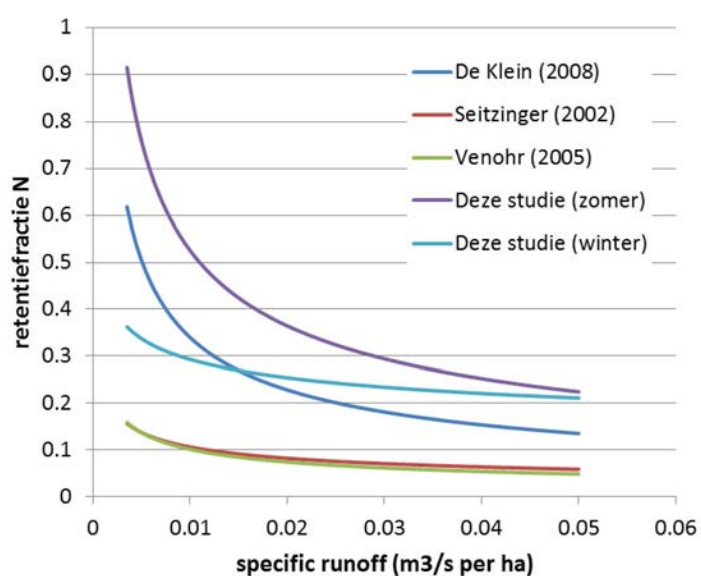
Een bekend nadeel van de machtsbenadering (vergelijking 8) is dat de retentiefraction groter dan 1 kan worden bij kleine waarden voor de 'specifieke afvoer'. In deze gevallen is de retentiefraction afgekapt tot 0,9 omdat grotere retentiewaarden onrealistisch worden geacht. Voor de vrij afwaterende stroomgebieden komen hogere waarden dan 0,9 alleen voor in het zomerhalfjaar, voor 15% van de stroomgebieden, voor zowel N als P.

Het gevonden verband is toegepast op alle vrij afwaterende stroomgebieden die in de Evaluatie Landbouw en KRW worden onderscheiden, om zo met de 'specifieke afvoer' de retentie op de uitspoelende nutriënten vanuit het landsysteem te berekenen. De 'specifieke afvoer' is per stroomgebied bepaald door de gemiddelde afvoer van gebiedseigen water in de jaren 1990-2009 (berekend met STONE) te delen door het openwateroppervlak, bepaald met de 'TOP10/hydrotypen' benadering. Dit is gedaan per stof en per halfjaar (zomer of winter).

Tabel 21

Gevonden coëfficiënten voor de vier stroomgebieden, op basis van de 'specifieke afvoer' in $m^3 s^{-1} ha^{-1}$.

| | Stikstof | | Fosfor | |
|----------------|----------|---------|--------|---------|
| | a | b | a | b |
| Winterhalfjaar | 0,1153 | -0,2025 | 0,0017 | -1,1449 |
| Zomerhalfjaar | 0,0462 | -0,5277 | 0,0065 | -0,8884 |



Figuur 23

Verband tussen de retentiefraction voor stikstof en de 'specifieke afvoer', gevonden in verschillende studies naar laagland stroomgebieden in Europa en Amerika. N.B. de ruimtelijke en temporele schaal waarop de verbanden zijn afgeleid verschillen sterk per studie: van grote stroomgebieden (860-14.000 km²) op jaarbasis (Venohr et al., 2005) naar kleinere stroomgebieden (20-400 km²) op jaarbasis (Seitzinger et al., 2002), winter- en zomerhalfjaar (deze studie) en maandbasis (Klein et al., 2008). Daarbij heeft de in deze studie berekende retentiefraction alleen betrekking op de nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem in tegenstelling tot de andere studies die de overige nutriëntenbronnen ook meenemen.

Poldersystemen

Voor de polders in Nederland is de retentie van stikstof aangepast, de retentie is niet meer constant voor elk stroomgebied, zoals in de vorige methodiek (Van Boekel et al., 2011), maar varieert per polder afhankelijk van de onderliggende retentieprocessen. De grootte van deze retentieprocessen is afgeleid uit metingen. Op deze manier is de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem bepaald om stikstof vast te leggen, uitgedrukt in gram per m² waterbodem. De zo berekende absolute N retentie heeft betrekking op alle nutriëntenbronnen in de polder. De volgende retentieprocessen zijn gekwantificeerd:

- Denitrificatie.
- Netto opname (zomerhalfjaar) en afgifte (winterhalfjaar) van nutriënten door waterplanten.

Dit is gedaan voor het zomer- en winterhalfjaar voor polders die vooral uit veen of klei bestaan. Voor de zandpolders (Noord-Nederland) waren onvoldoende metingen beschikbaar om de retentieprocessen te kwantificeren. Het retentieproces sedimentatie is niet expliciet meegenomen al zit dit proces deels verwerkt in de waterplantensterfte die een groot aandeel heeft in de totale sedimentatie.

Denitrificatie

Voor het PLONS project (www.plons.wur.nl) is in een aantal sloten verspreid over Nederland de denitrificatie gemeten. De gemeten denitrificatiesnelheden in poldersloten, ingedeeld naar het bodemtype klei of zand, is weergegeven in (Veraart et al., in voorbereiding), maar ook de watertemperatuur tijdens het meten. Deze denitrificatiesnelheden zijn omgezet naar een gemiddelde denitrificatiesnelheid in het zomer- en het winterhalfjaar door aan te nemen dat de denitrificatiesnelheid (D) afhangt van de watertemperatuur (T) volgens een aangepaste Arrhenius vergelijking:

$$D_T = D_{20} \cdot \theta_s^{(T-20)} \quad (9)$$

Waarin D_{20} de denitrificatiesnelheid is bij 20 °C en θ_s de temperatuurcoëfficiënt die de waarde 1,07 is toegekend; een waarde die kenmerkend is voor veel biochemische reacties. Echter zijn voor de denitrificatie ook hogere waarden voor de temperatuurcoëfficiënt gevonden van 1,24 en 1,28 (Veraart et al., 2011b).

Met formule 9 zijn maandgemiddelde denitrificatiesnelheden berekend voor de klei- en veenpolders, uitgaande van maandgemiddelde luchttemperaturen gemeten in de Bilt in de jaren 1990-2009 (data KNMI) (tabel 22). De maandgemiddelde denitrificatiesnelheden zijn opgeschaald naar zomer- en winterhalfjaargemiddelden (tabel 23).

Tabel 22

Gemeten denitrificatiesnelheden in veen- en kleigebieden en de watertemperatuur op het moment van meten (Veraart et al. in voorbereiding). n =aantal waarnemingen, std =standaarddeviatie.

| Bodemtype | n | Denitrificatie | Temperatuur | Denitrificatie | Temperatuur | |
|-----------|---|--|-------------|--|-------------|-----|
| | | ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{h}^{-1}$) | (°C) | ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{h}^{-1}$) | (°C) | |
| | | gemiddeld | minimum | maximum | gemiddeld | std |
| Klei | 4 | 180,2 | 31,0 | 496,8 | 16,8 | 0,9 |
| Veen | 7 | 62,9 | 5,9 | 166,6 | 21,3 | 0,8 |

Tabel 23

Afgeleide denitrificatiesnelheden voor klei- en veenpolders, voor het winter- en zomerhalfjaar.

| Bodemtype | Denitrificatie (g N m ⁻²) | |
|-----------|--|----------------|
| | zomerhalfjaar | winterhalfjaar |
| Klei | 9,9 | 5,3 |
| Veen | 2,5 | 1,4 |

Waterplanten en stikstof

Uit verschillende databronnen is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid waterplanten aan het einde van het groeiseizoen, gemiddeld over de klei- en veenpolders (tabel 24). Om een inschatting te kunnen maken van de stikstof die gemoeid is met de groei en sterfte van waterplanten is geschat welk deel van de biomassa 'overwintert'. Modelresultaten van het oppervlaktewaterkwaliteitsmodel NuswaLite (Siderius et al., 2008) geven aan dat ongeveer 20% van de kroosbiomassa overwintert en ongeveer 25% van de waterpest en ondergedoken waterplanten overwintert.

Tabel 24

Gemiddelde hoeveelheid waterplanten aan het einde van het groeiseizoen, volgend uit verschillende databronnen.

| Bodemtype | Waterplanten (g droge stof m ⁻²) | | |
|-----------|---|-------|--------------|
| | waterpest | kroos | ondergedoken |
| Klei | 8 | 43 | 12 |
| Veen | 29 | 14 | 25 |

Tabel 25 geeft een overzicht van de geschatte hoeveelheid stikstof die gemoeid is bij de groei en sterfte van waterplanten, aangenomen dat:

- kroosbiomassa voor 4% uit N bestaat (Roijackers et al., 2004);
- ondergedoken waterplanten en waterpest voor 3,5% uit N bestaan (Muhammetoglu et al., 2000);
- de waterlopen aan het einde van de zomer worden gemaaid waardoor 80% van de waterplanten wordt verwijderd. De overgebleven 20% draagt bij aan de nalevering van N naar de waterkolom door sterfte.

Tabel 25

Hoeveelheid N (in g N m⁻²) die naar schatting is gemoeid bij de netto groei (zomerhalfjaar) en netto sterfte (winterhalfjaar) van waterplanten in klei- en veenpolders. N.B. Er is aangenomen dat 80% van de waterplanten in de waterlopen aan het einde van de zomer wordt gemaaid; deze planten sterven niet meer af in de waterlopen waardoor alleen de resterende 20% van de waterplanten bijdraagt aan de nalevering van N door sterfte.

| Bodemtype | Groei | Sterfte |
|-----------|-------|---------|
| Klei | 1,92 | 0,38 |
| Veen | 1,85 | 0,37 |

Totale stikstofretentie

Tabel 26 geeft de geschatte hoeveelheid stikstofretentie in de klei- en veenpolders; het opgetelde effect van denitrificatie en waterplanten. Deze hoeveelheden, in gram per m² waterbodembodem, zijn vertaald naar hoeveelheden per polder door vermenigvuldiging met het areaal aan openwater volgens het NHI (www.nhi.nu). Voor polders waar geen NHI-openwateroppervlak beschikbaar is (polder Texel) is het openwateroppervlak gebruikt dat is bepaald met de 'TOP10/hydrotypen' benadering. Het is de vraag of het openwateroppervlak een goede benadering geeft van het oppervlak waarover stikstofretentie plaatsvindt. De gehele natte omtrek - waterbodembodem en talud - draagt waarschijnlijk bij aan de stikstofretentie, al zal het talud per strekkende meter waarschijnlijk in mindere mate bijdragen. Daarom is het openwateroppervlak bij benadering een goede maat voor het effectieve retentieoppervlak.

Tabel 26

Geschatte hoeveelheid stikstofretentie (in g N m-2) in klei- en veenpolders.

| Bodemtype | Zomerhalfjaar | Winterhalfjaar |
|------------------|----------------------|-----------------------|
| Klei | 11,8 | 5,0 |
| Veen | 4,4 | 1,0 |

Bijlage 2 Invoergegevens waterwijs

In deze bijlage wordt een overzicht gegeven van de inputvariabelen voor Waterwijs bij het zoeken naar een optimaal pakket van aanvullende maatregelen. De volgende invoerbestanden komen aan bod:

- 1) Gebiedsindeling met knopen en trajecten.
- 2) Water- en stoffenbalans van de stroomgebieden.
- 3) Aanvullende maatregelen:
 - Effecten;
 - Kosten.

Gebiedsindeling

Voor de gebiedsindeling is aangesloten bij de 124 stroomgebieden die binnen het onderzoek worden onderscheiden (figuur 1, paragraaf 2.1.1). Waterwijs gebruikt een schematisering die de volgende componenten bevat:

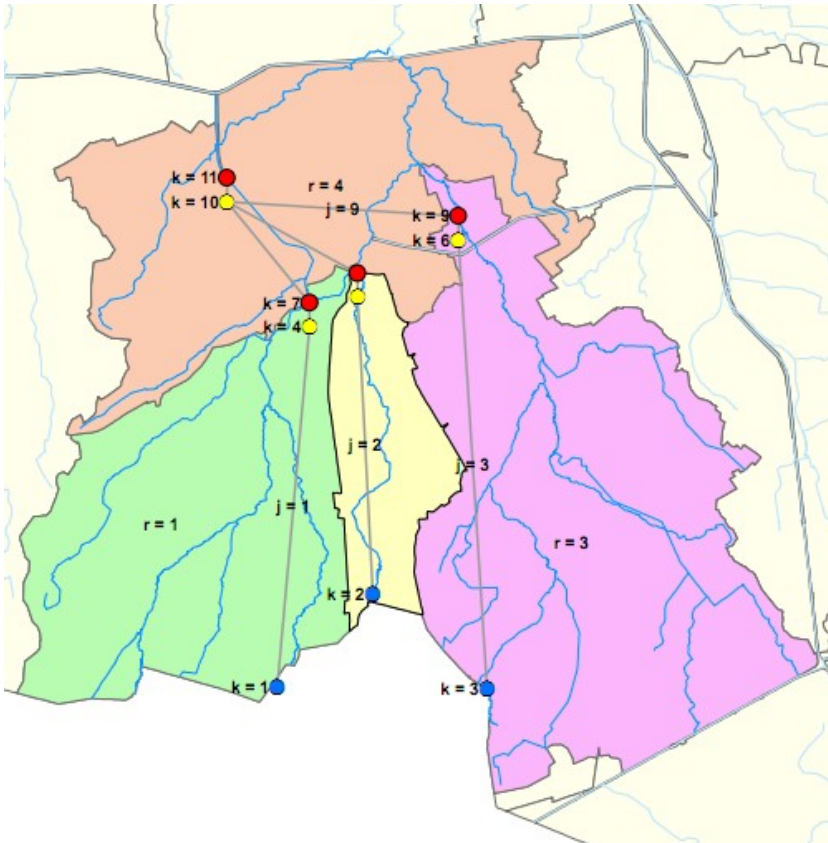
z → hydrotopen;

r → stroomgebieden;

k → knopen van het waterloopnetwerk;

j → trajecten van het waterloopnetwerk.

In figuur 24 is de samenhang (netwerk) tussen een aantal stroomgebieden (r) weergegeven. Om het overzichtelijk te houden zijn niet alle legenda's knopen en trajecten weergegeven.



Figuur 24

Voorbeeld van een ruimtelijke schematisering van het waterloopnetwerk.

De stroomgebieden (r) bestaan uit verschillende hydrotopen (z). De hydrotopen zijn niet in de figuur weergegeven. De hydrotopen zijn vergelijkbaar met 'plots, maar dan ruimtelijk ingekaderd': een bepaalde hydrotoop vertegenwoordigt een unieke combinatie van bodemtype en landgebruik binnen een bepaalde ruimtelijke eenheid, in dit geval binnen een stroomgebied.

De stroomgebieden r1 t/m r3 worden beïnvloed door de aanvoer van nutriënten uit het buitenland en komen via de **blauwe** knooppunten het stroomgebied binnen. Via de trajecten j1 t/m j3 (in feite de waterlichamen) komen de nutriënten in de **gele** knopen terecht. Naast de inlaat vanuit het buitenland wordt de nutriëntenvracht in de gele knopen ook beïnvloed door de diffuse bronnen en puntbronnen in het stroomgebied. Hierbij moet gedacht worden aan de diffuse bronnen uit het landelijke gebied (uit- en afspoeling) en de belasting vanuit RWZI's en industriële lozingen (uit de Emissieregistratie). Vanuit de gele knopen wordt de nutriënten naar de **rode** knopen 'geleid' (uitstroompunten) waar ze vervolgens het stroomgebied 'verlaten'. Voor de trajecten tussen de gele en rode knooppunten is het mogelijk om een maatregeloptie in de vorm van een helofytenfilter aan te leggen.

Water en stoffenbalansen

Voor de simulatie van het stoffentransport is inzicht nodig in de inkomende en uitgaande nutriëntenvracht van de knopen en trajecten uit figuur 25. De bijdrage van de verschillende bronnen zijn met het ECHO-instrumentarium vergeleken:

1. Instroming vanuit het landelijk gebied (uit- en afspoeling).
2. Instroming vanuit RWZI's, industriële lozingen, overige landbouwemissies, etc. (Emissieregistratie).
3. Instroming vanuit het buitenland.

4. Instroming vanuit bovenstroomse gebieden.
5. Onttrekking van stoffen door retentie in het oppervlaktewater.
6. Uitgaande vracht bij de uitstroompunten.

Aanvullende maatregelen (effecten en kosten)

Effecten

De effecten van de individuele maatregelen en maatregelpakketten op de waterkwaliteit in stroomgebieden zijn berekend met het modelinstrumentarium ECHO. De effecten van maatregelen zijn overgenomen uit Alterra-rapport 1987 (Van Boekel et al., 2010). In tabel 27 zijn de effecten van de individuele maatregelen en maatregelpakketten op de stikstof- en fosforstromen in het oppervlaktewater weergegeven op nationale schaal. Daarbij moet men realiseren dat het hierbij gaat om de relatieve afname van de stikstof- en fosforbelasting via uit- en afspoeling. De effectiviteit van de afzonderlijke maatregelen kunnen daardoor niet vergeleken worden met de effectiviteit zoals deze in Alterra-rapport 1687 en 2121 (Van der Bolt et al., 2008 en Van Boekel et al., 2011) zijn gerapporteerd, omdat daar ook de nutriëntenbelasting uit het stedelijk gebied (bijv. RWZI's) in beschouwing zijn genomen, waardoor de effectiviteit in stroomgebieden lager is.

Tabel 27

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

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

Kosten

Naast de effectiviteit is ook inzicht nodig in de kosten van de individuele maatregelen en maatregelpakken. De kosten van de maatregelen kunnen worden onderverdeeld in directe kosten en indirecte kosten:

- Directe kosten;
 - Investeringskosten.
 - Jaarlijkse kosten: onderhoud en beheer.
 - Grondverwerving.
- Indirecte kosten;
 - Inkomensveranderingen in de landbouw.

Het bepalen van de inkomensveranderingen voor landbouwbedrijven is zeer complex omdat deze onder andere worden beïnvloed door veranderingen in de mestmarkt. De veranderingen in de mestmarkt worden onder andere weer bepaald door de omvang van de genomen maatregelen en de regio waar de maatregelen worden toegepast. Op voorhand is het dus niet mogelijk om de inkomensveranderingen te bepalen omdat de omvang en de locaties van de maatregelen via de optimalisatie worden bepaald. De kosteneffectiviteit van de maatregelen verandert hierdoor ook weer.

In dit stadium is ervoor gekozen om de inkomensveranderingen nog niet mee te nemen. In tabel 28 zijn de totale investering- en onderhoudskosten voor de individuele maatregelen weergegeven.

Tabel 28

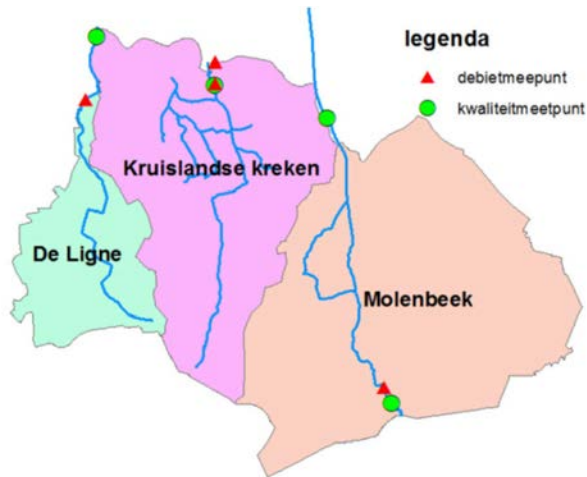
Jaarlijkse kosten van de afzonderlijke maatregelen op landelijke schaal.

| Deelvariant | Maatregel | Kosten (mljoen euro) | |
|---------------|---|-------------------------|--------------|
| | | Investering | Onderhoud |
| Bedrijf | Geen fosforkunstmest | 0,0 | 0,0 |
| | Voorjaarstoediening | 0,0 | 0,0 |
| | Vergroten mestopslag | 47,9 | 53,5 |
| | Precisiebemesting | 0,0 | 59,7 |
| | Aanpassen bouwplan | 0,0 | 91,1 |
| | Deeltotaal | 47,9 | 204,4 |
| Perceel | Uitmijnen | 0,0 | 251,5 |
| | Dieper aangelegde samengestelde peil gestuurde drainage | 44,5 | 112,8 |
| | Droge, onbemeste bufferstroken | 1,4 | 19,3 |
| | Deeltotaal | 45,9 | 383,6 |
| Sloot | Helofytenfilters | 64,2 | 22,6 |
| | Deeltotaal | 64,2 | 22,6 |
| Totaal | | 158,1 | 610,6 |

Bijlage 3 Resultaten plausibiliteit pilotgebieden

Stroomgebied de Maas

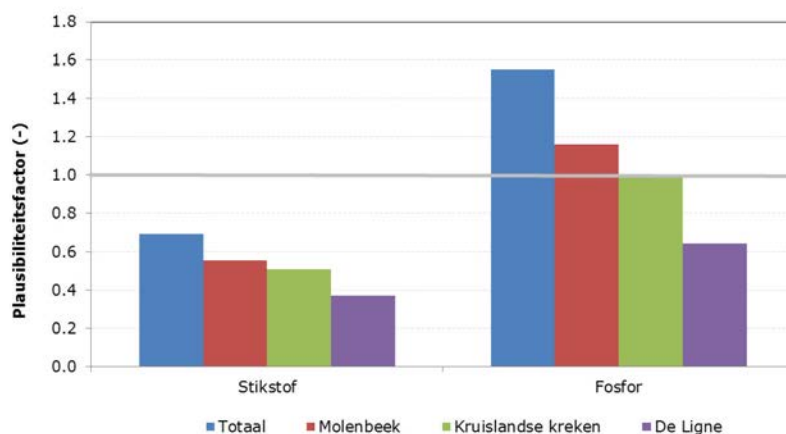
Het stroomgebied *Beek en Kreekenstelsel Roosendaal* binnen het beheergebied van waterschap Brabantse Delta is opgesplitst in drie subgebieden, *Kruislandse kreeken*, *Ligne* en *Molenbeek* (figuur 25).



Figuur 25

Gebiedsindeling voor de stroomgebieden Kruislandse Kreeken, Ligne en Molenbeek.

In figuur 26 zijn de plausibiliteitsfactoren (berekend/gemeten) weergegeven voor de stikstof- en fosforvrucht nabij de uitstroompunten voor het totale gebied en voor de afzonderlijke stroomgebieden.



Figuur 26

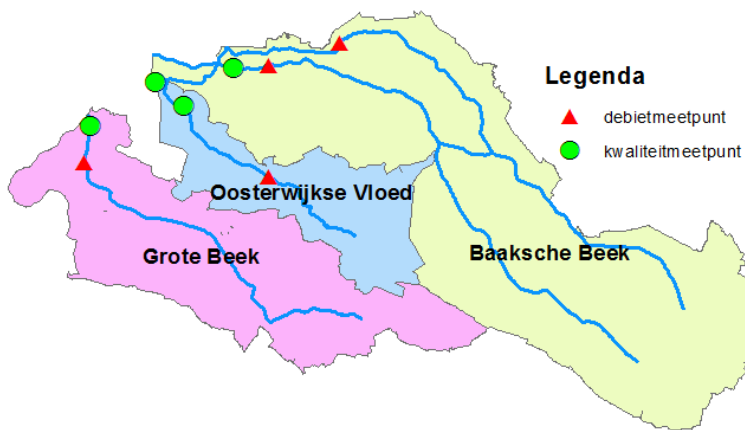
Gemiddelde plausibiliteitsfactor voor de periode 1990-2009 voor het stroomgebied Beek en Kreekenstelsel Roosendaal en voor de subgebieden Kruislandse Kreeken, Ligne en Molenbeek.

De resultaten laten zien dat:

- de resultaten voor fosfor beter zijn dan voor stikstof;
- de berekende stikstofvracht bij de uitstroompunten van het hele stroomgebied en voor de subgebieden is lager dan de gemeten vrachten (plausibiliteitsfactoren kleiner dan 1, onderschatting);
- de berekende stikstofvracht voor het totale gebied is 31% lager dan de gemeten vracht, de onderschatting van de stikstofvracht neemt toe voor de subgebieden, respectievelijk 45%, 49% en 63% voor deelgebied Molenbeek, Kruislandse Kreken en De Ligne;
- de fosforvracht voor het totale stroomgebied wordt overschat met 55%, de subgebieden laten zowel een overschatting (16% voor Molenbeek) als een onderschatting zien (35% voor de Ligne). De fosforvracht voor subgebied Kruislandse Kreken komt goed overeen met de gemeten waarde.

Stroomgebied Rijn Oost

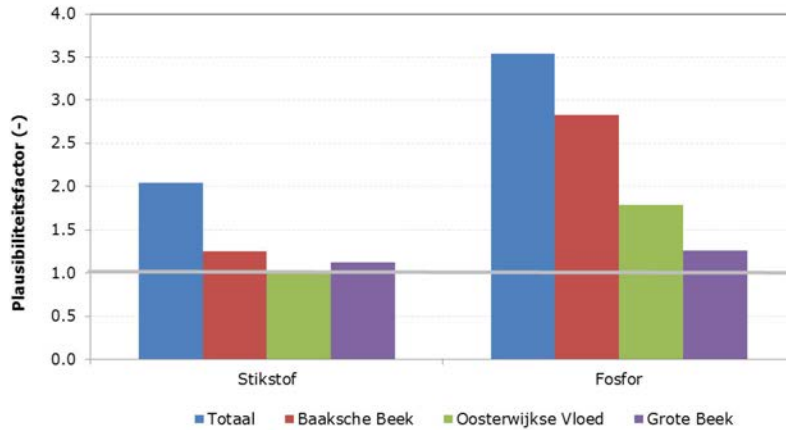
Het stroomgebied *Baaksche Beek* binnen het beheergebied van waterschap Rijn en IJssel is opgesplitst in drie subgebieden: *Baaksche beek*, *Oosterwijkse Vloed* en *Grote Beek* (figuur 27).



Figuur 27

Gebiedsindeling voor de stroomgebieden Baaksche Beek, Oosterwijkse Vloed en Grote Beek.

In figuur 28 zijn de plausibiliteitsfactoren (berekend/gemeten) weergegeven voor de stikstof- en fosforvracht nabij de uitstroompunten voor het totale gebied en voor de subgebieden.



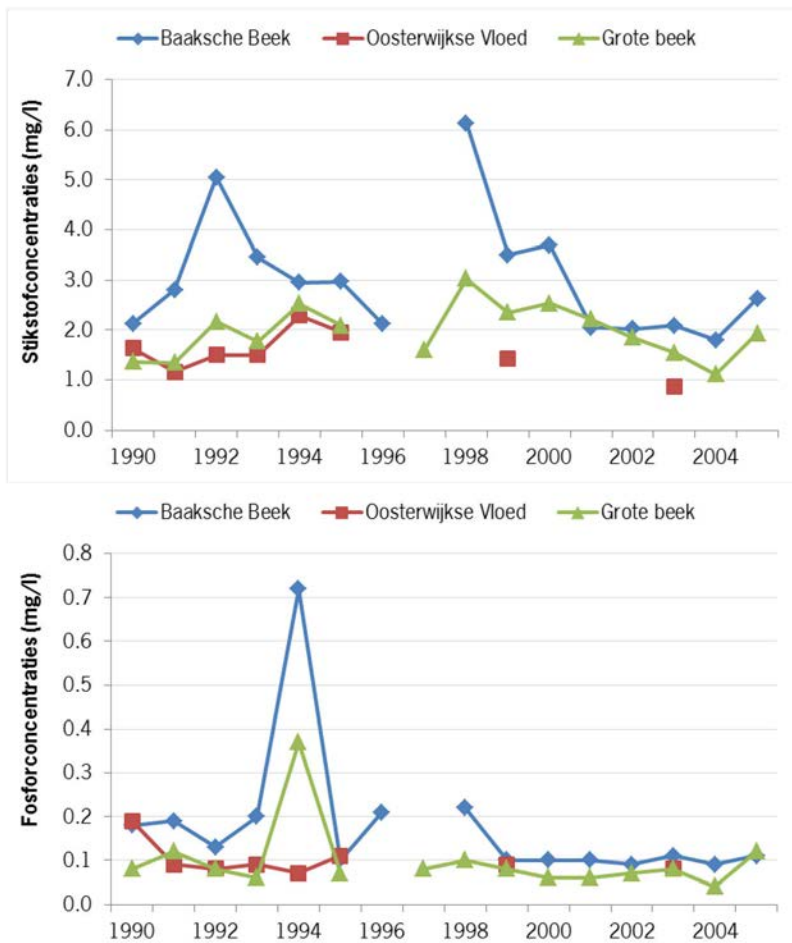
Figuur 28

Gemiddelde plausibiliteitsfactor voor de periode 1990-2009 voor het stroomgebied Baaksche Beek (totaal) en voor de subgebieden Baaksche Beek, Oosterwijkse Vloed en Grote Beek.

De resultaten laten zien dat:

- de resultaten voor stikstof beter zijn dan voor fosfor;
- de berekende stikstofvracht bij de uitstroompunten van het hele stroomgebied wordt overschat, de plausibiliteitsfactor voor de subgebieden ligt dicht bij de waarde 1,0);
- de fosforvracht voor het totale stroomgebied wordt fors overschat. Ook de fosforvracht voor de subgebieden wordt overschat. Er zijn wel duidelijke verschillen zichtbaar tussen de plausibiliteitsfactor.

In paragraaf 3.2 is geconstateerd dat het opmerkelijk is dat de plausibiliteitsfactor voor het totale gebied niet binnen de range ligt van de subgebieden. De oorzaak hiervan ligt in de wijze waarop de plausibiliteitsfactoren voor het totale gebied worden bepaald, de relatieve bijdrage van de subgebieden aan de totale afvoer van het gebied en de gemeten nutriëntenconcentraties in de afzonderlijke waterlichamen. De nutriëntenconcentraties voor waterlichaam Baaksche Beek liggen structureel hoger dan voor de andere twee waterlichamen (figuur 29). Doordat de relatieve bijdrage van de Baaksche Beek groter is dan voor de andere twee waterlichamen, maar dat de concentraties voor het hele gebied worden gemiddeld, wordt de werkelijke uitgaande vracht onderschat en dat resulteert vervolgens in een overschatting van de berekende vracht.

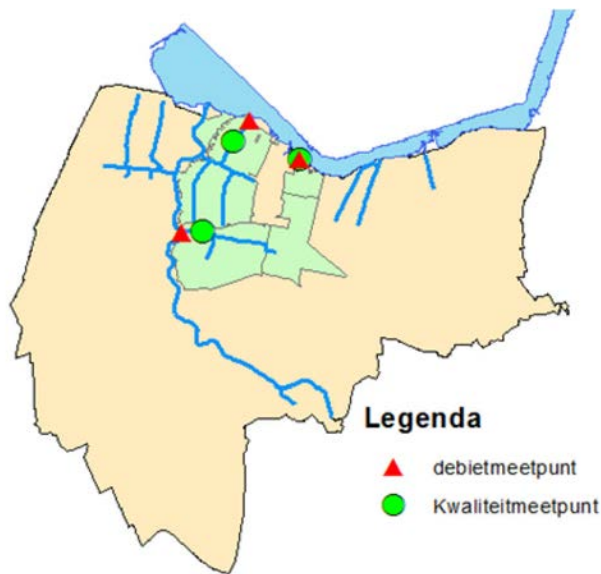


Figuur 29

Gemeten stikstof- (boven) en fosforconcentraties (onder) in de uitstroompunten voor de waterlichamen in het stroomgebied de Baaksche Beek in de periode 1990-2005).

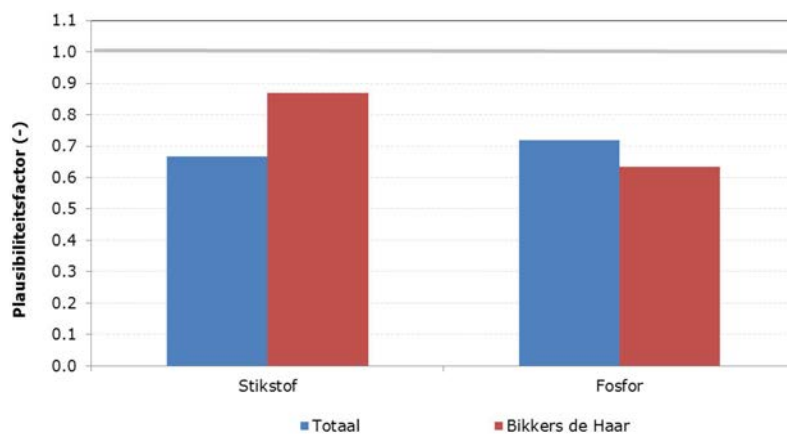
Stroomgebied Rijn Midden

Het stroomgebied *De Eem* binnen het beheergebied van waterschap Vallei en Eem is niet verder opgesplitst in subgebieden, maar er is gekozen om een polder binnen het deelgebied te bekijken. In overleg met het waterschap is gekozen voor polders Bikkers de Haar (figuur 30).



Figuur 30
Polders Bickers de Haar (groen) in het stroomgebied van de Eem.

In figuur 31 zijn de plausibiliteitsfactoren (berekend/gemeten) weergegeven voor de stikstof- en fosforvrucht nabij de uitstroompunten de polders Bickers de Haar. Omdat er gekozen is om het stroomgebied De Eem niet volledig op te splitsten, is het niet mogelijk om de plausibiliteitsfactor van het totale stroomgebied te vergelijken met de plausibiliteitsfactor voor de polder.



Figuur 31
Gemiddelde plausibiliteitsfactor voor de periode 1990-2009 voor het totale stroomgebied (De Eem) en de polder Bickers de Haar.

De resultaten laten zien dat:

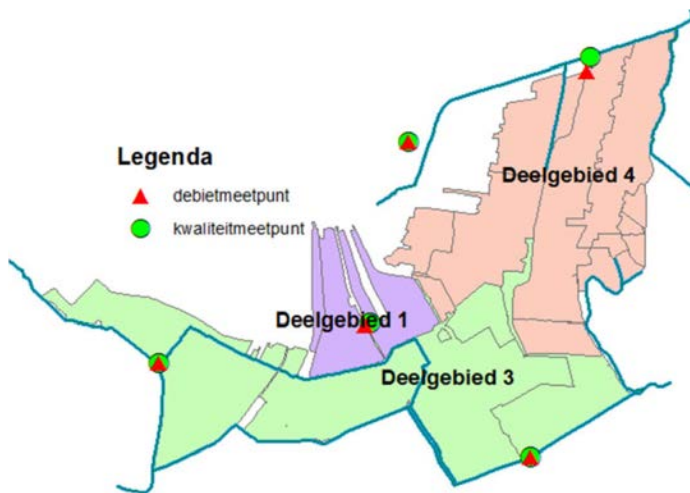
- de stikstof- en fosforvrucht bij de uitstroompunten worden onderschat. Voor stikstof is de onderschatting het grootste voor het totale stroomgebied, voor fosfor is dit juist andersom.

Stroomgebied Rijn-West

Voor het stroomgebied Rijn-West zijn twee pilotgebieden geselecteerd, stroomgebied *Noordelijke Venen* en *Alm en Biesbosch*.

Noordelijke Venen

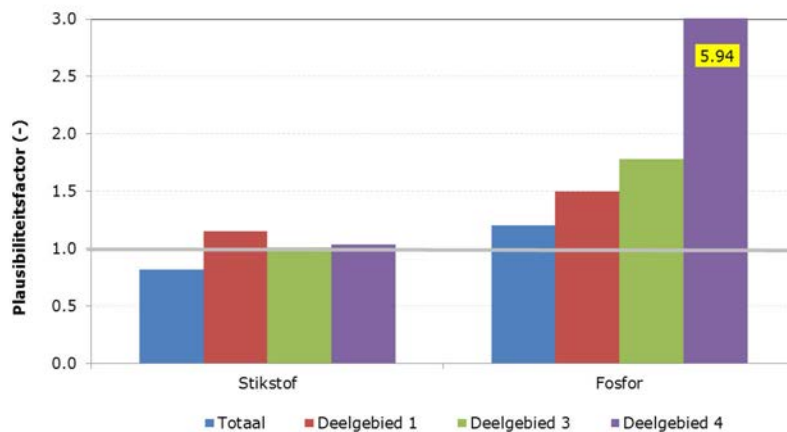
Het stroomgebied *Noordelijke Venen* binnen het beheergebied van hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht is opgesplitst in drie subgebieden, *Deelgebied 1*, *Deelgebied 2* en *Deelgebied 3* (figuur 32). Hierbij moet opgemerkt worden dat de grotere watervlakken, waaronder de Vinkeveense Plassen en Tussenboezem Vinkeveen a en b onderdeel uitmaken van het stroomgebied *Noordelijke Venen*, maar bij de verfijnstap niet meer zijn meegenomen. Bij het vergelijken van de plausibiliteitsfactoren moet dit dan ook in ogenschouw worden genomen.



Figuur 32

Gebiedsindeling voor de stroomgebieden Deelgebied 1, Deelgebied 3 en Deelgebied 4.

In figuur 33 zijn de plausibiliteitsfactoren (berekend/gemeten) weergegeven voor de stikstof- en fosforvracht nabij de uitstroompunten voor het totale gebied en voor de subgebieden.



Figuur 33

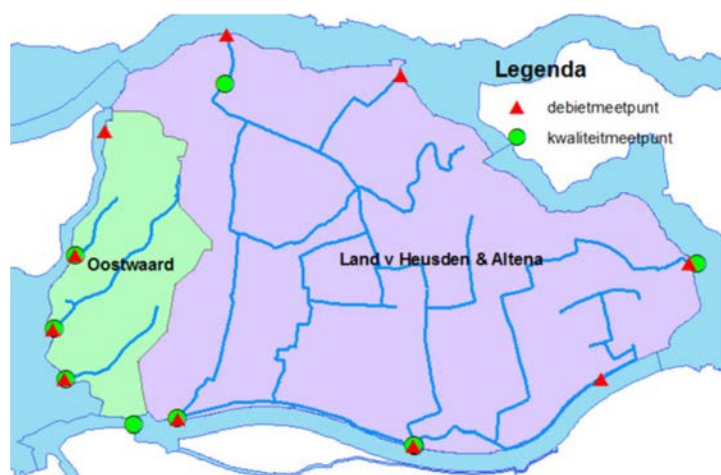
Gemiddelde plausibiliteitsfactor voor de periode 1990-2009 voor het stroomgebied Noordelijke Venen en voor de subgebieden, Deelgebied 1, Deelgebied 2 en Deelgebied 3.

De resultaten laten zien dat:

- de stikstofvracht voor de het totale gebied wordt onderschat, voor de subgebieden komt de berekende stikstofvracht aardig overeen met de gemeten stikstofvracht (plausibiliteitsfactor dicht bij de waarde 1,0);
- de fosforvracht wordt voor zowel het totale stroomgebied als voor de subgebieden overschat. Er zijn duidelijke verschillen zichtbaar tussen de subgebieden. Vooral de overschatting voor *Deelgebied 4* is fors.

Alm en Biesbosch

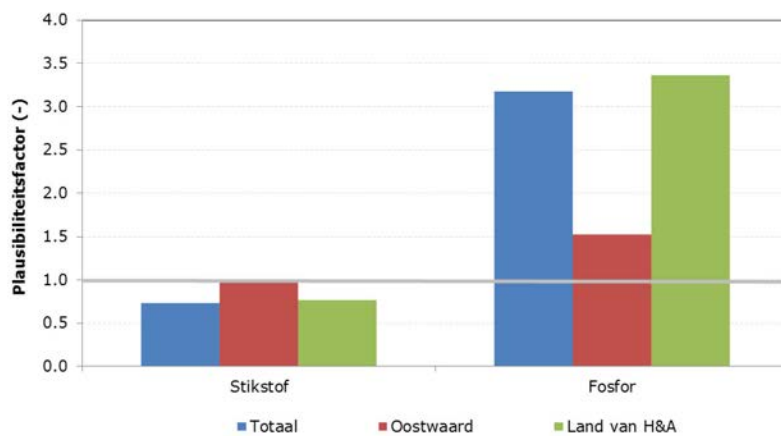
Het stroomgebied *Alm en Biesbosch* binnen het beheergebied van waterschap Rivierenland is opgesplitst in twee subgebieden, *Oostwaard* en *Land van Heusden & Altena* (figuur 34). Hierbij moet opgemerkt worden dat bij het totale gebied een groot gedeelte van de gemeente Werkendam en delen van de Biesbosch onderdeel uitmaken van het stroomgebied *Alm en Biesbosch*, maar bij de verfijning niet meer zijn meegenomen. Bij het vergelijken van de plausibiliteitsfactoren moet dit dan ook in ogenschouw worden genomen.



Figuur 34

Gebiedsindeling voor de subgebieden *Oostwaard* en *Land van Heusden en Altena*.

In figuur 35 zijn de plausibiliteitsfactoren (berekend/gemeten) weergegeven voor de stikstof- en fosforvracht nabij de uitstroompunten voor het totale gebied en voor de subgebieden.



Figuur 35

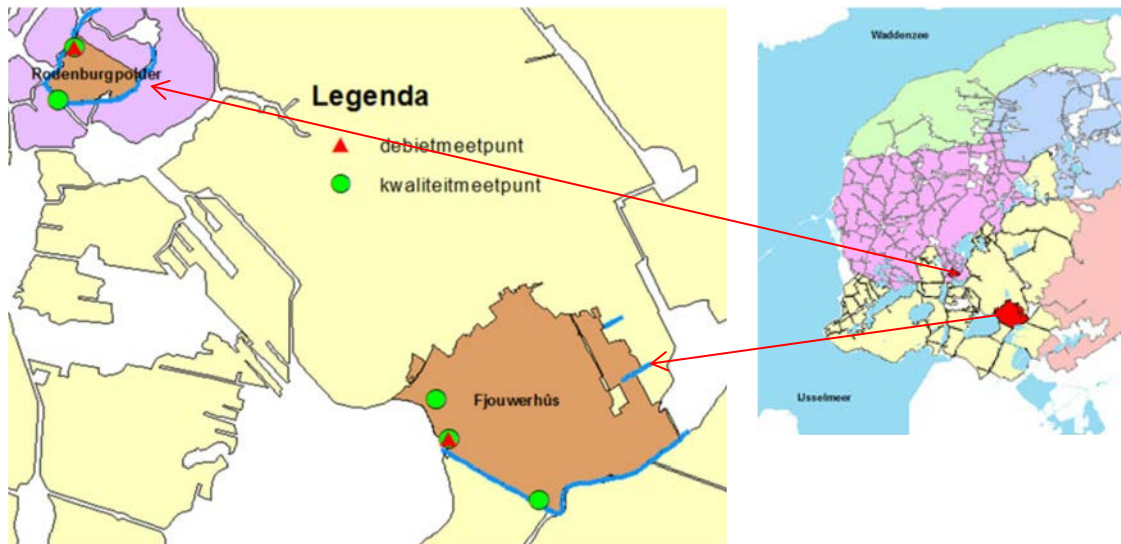
Gemiddelde plausibiliteitsfactor voor de periode 1990-2009 voor het stroomgebied Alm en Biesbosch en voor de subgebieden Oostwaard en Land van Heusden & Altena.

De resultaten laten zien dat:

- de stikstofvracht voor de het totale gebied licht wordt onderschat, voor subgebied Oostwaard wordt een plausibiliteitsfactor gevonden dicht bij de waarde 1,0;
- de fosforvracht wordt (fors) overschat. Dit geldt vooral voor het totale gebied en voor subgebied *Land van Heusden & Altena*. De plausibiliteitsfactor voor subgebied Oostwaard is fors lager, maar nog steeds ruim boven de waarde 1,0.

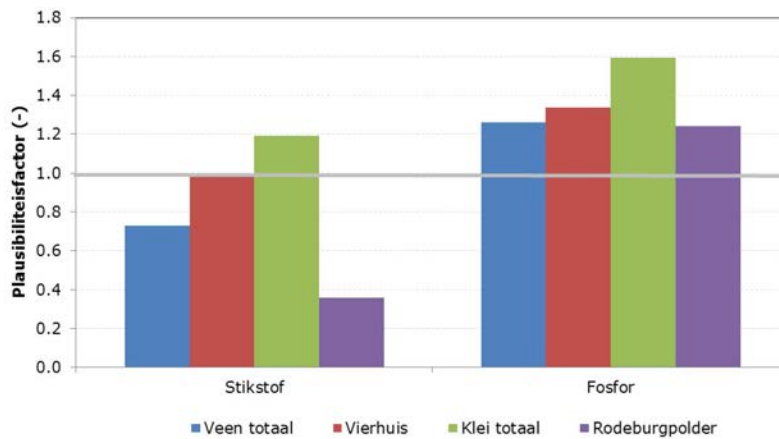
Stroomgebied Rijn-Noord

Voor het stroomgebied Rijn-Noord zijn twee polders geselecteerd die in twee verschillende stroomgebieden liggen, namelijk *Frische boezem veen* en *Frische boezem zuidelijke klei*. Het gaat hierbij om de veenpolder Vierhuis en de kleipolder Rodenburgpolder (figuur 36).



Figuur 36
Gebiedsindeling voor de polder Vierhuis en Rodenburgpolder.

In figuur 37 zijn de plausibiliteitsfactoren (berekend/gemeten) weergegeven voor de stikstof- en fosforvracht nabij de uitstroompunten voor het totale gebied en voor de twee polders. Doordat ervoor gekozen is om niet het gehele gebied op te splitsen kunnen de rekenresultaten voor de totale gebieden (*Friesche boezem veen en zuidelijke klei*) niet vergeleken worden.



Figuur 37
Gemiddelde plausibiliteitsfactor voor de periode 1990-2009 voor het stroomgebied Noordelijke Venen en voor de polders Vierhuis en Rodenburgpolder.

- De berekende stikstofvracht vanuit polder *Vierhuis* komt goed overeen met de gemeten stikstofvracht (plausibiliteitsfactor van 1,0). De fosforvracht wordt echter overschat met 34%.
- De uitgaande stikstofvracht voor de *Rodenburgpolder* wordt fors onderschat (ruim 60%), de berekende fosforvracht komt beter overeen (overschatting van 24%).

Bijlage 4 Toestand en trends in oppervlaktewater

In tabel 29 zijn de doelrealisaties (%) van KRW-normen voor een aantal meetpunten voor de jaren 2006-2010 weergegeven.

Tabel 29

Doelrealisatie (%) van KRW-normen voor aantal meetpunten voor de jaren 2007 t/m 2010.

Landelijk

| Jaar | Stikstof | | Fosfor | | Stikstof en fosfor | |
|------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | Aantal meetpunten | Doelrealisatie | Aantal meetpunten | Doelrealisatie | Aantal meetpunten | Doelrealisatie |
| 2006 | 265 | 49% | 236 | 51% | 233 | 30% |
| 2007 | 272 | 51% | 252 | 47% | 245 | 27% |
| 2008 | 281 | 56% | 253 | 48% | 251 | 30% |
| 2009 | 163 | 61% | 160 | 52% | 159 | 42% |
| 2010 | 83 | 52% | 83 | 43% | 83 | 33% |

Zand

| Jaar | Stikstof | | Fosfor | | Stikstof en fosfor | |
|------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | Aantal meetpunten | Doelrealisatie | Aantal meetpunten | Doelrealisatie | Aantal meetpunten | Doelrealisatie |
| 2006 | 91 | 48% | 88 | 44% | 87 | 26% |
| 2007 | 93 | 53% | 94 | 36% | 93 | 25% |
| 2008 | 99 | 56% | 100 | 43% | 99 | 29% |
| 2009 | 73 | 59% | 74 | 58% | 73 | 45% |
| 2010 | 47 | 47% | 47 | 34% | 47 | 28% |

Klei

| Jaar | Stikstof | | Fosfor | | Stikstof en fosfor | |
|------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | Aantal meetpunten | Doelrealisatie | Aantal meetpunten | Doelrealisatie | Aantal meetpunten | Doelrealisatie |
| 2006 | 129 | 42% | 102 | 64% | 101 | 30% |
| 2007 | 134 | 46% | 112 | 65% | 107 | 29% |
| 2008 | 133 | 54% | 105 | 60% | 104 | 30% |
| 2009 | 49 | 59% | 45 | 47% | 45 | 31% |
| 2010 | 27 | 70% | 27 | 67% | 27 | 44% |

Veen

| Jaar | Stikstof | | Fosfor | | Stikstof en fosfor | |
|------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | Aantal meetpunten | Doelrealisatie | Aantal meetpunten | Doelrealisatie | Aantal meetpunten | Doelrealisatie |
| 2006 | 43 | 72% | 44 | 36% | 43 | 37% |
| 2007 | 43 | 65% | 44 | 27% | 43 | 26% |
| 2008 | 47 | 66% | 46 | 33% | 46 | 33% |
| 2009 | 41 | 68% | 41 | 46% | 41 | 46% |
| 2010 | 7 | 29% | 7 | 29% | 7 | 29% |

De analyses van trends in de oppervlaktewaterkwaliteit voor de beleidsregio's zijn in tabel 30 weergegeven.

Tabel 30

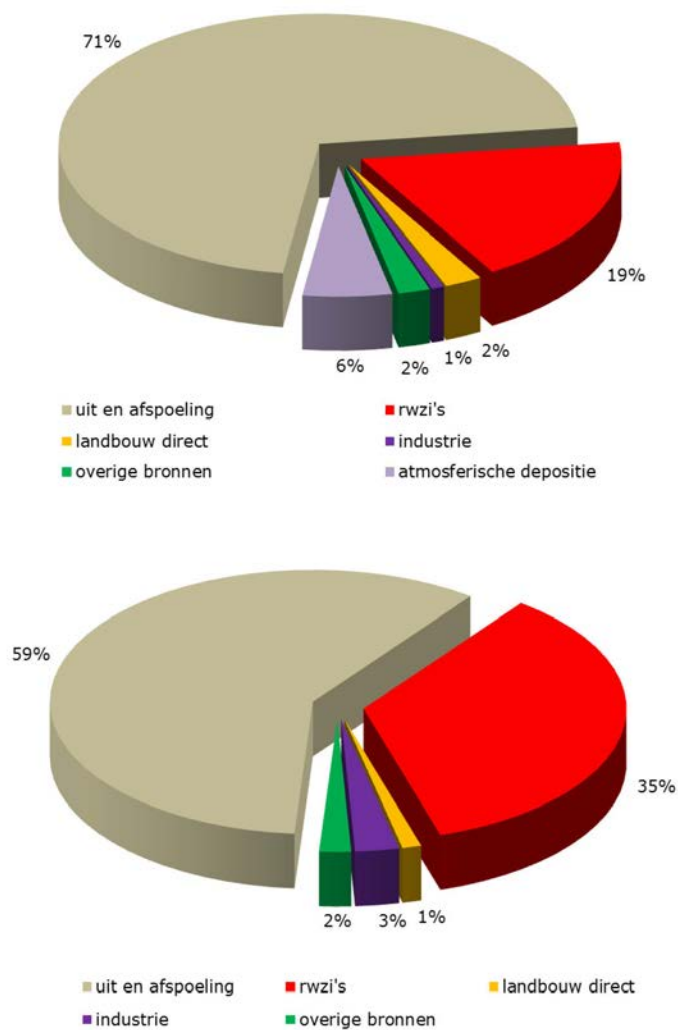
Trends (%) voor drie ruimtelijke schaalniveaus en drie tijdsperiodes voor de waterkwaliteit voor stikstof en fosfor.

Kolom x is het percentage meetlocaties met onvoldoende metingen om een trend te kunnen berekenen, - staat voor een dalende trend, 0 staat voor geen significante trend, + staat voor een stijgende trend.

| Grondsoort | N | Jaar | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----|-------|-----|----|----|--------|-----|----|----|----|-----|----|----|
| | | Zomer | | | | Winter | | | | | | | |
| Stikstof | | x | - | 0 | + | x | - | 0 | + | x | - | 0 | + |
| Zeeklei Noord | 14 | 0 | 93 | 7 | 0 | 0 | 93 | 7 | 0 | 0 | 79 | 21 | 0 |
| Zeeklei Centraal | 51 | 29 | 61 | 39 | 0 | 24 | 38 | 59 | 3 | 25 | 58 | 37 | 5 |
| Zeeklei Zuidwest | 100 | 4 | 58 | 42 | 1 | 3 | 53 | 45 | 2 | 4 | 38 | 60 | 2 |
| Rivierklei Centraal | 51 | 22 | 48 | 45 | 8 | 16 | 37 | 58 | 5 | 16 | 28 | 67 | 5 |
| Veen | 68 | 31 | 38 | 57 | 4 | 18 | 26 | 68 | 7 | 24 | 40 | 58 | 2 |
| Zand Noord | 25 | 8 | 70 | 30 | 0 | 8 | 70 | 30 | 0 | 4 | 58 | 42 | 0 |
| Zand Midden | 42 | 14 | 81 | 17 | 3 | 12 | 65 | 30 | 5 | 5 | 64 | 35 | 0 |
| Zand Zuid | 45 | 2 | 84 | 14 | 2 | 2 | 68 | 27 | 5 | 2 | 64 | 34 | 2 |
| Löss | 2 | 0 | 50 | 50 | 0 | 0 | 50 | 50 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 |
| Fosfor | | | | | | | | | | | | | |
| Zeeklei Noord | 14 | 0 | 86 | 14 | 0 | 0 | 79 | 21 | 0 | 0 | 64 | 36 | 0 |
| Zeeklei Centraal | 51 | 29 | 47 | 47 | 6 | 22 | 42 | 55 | 2 | 24 | 31 | 62 | 8 |
| Zeeklei Zuidwest | 100 | 59 | 56 | 41 | 2 | 58 | 45 | 55 | 0 | 59 | 39 | 49 | 12 |
| Rivierklei Centraal | 51 | 18 | 45 | 52 | 2 | 16 | 44 | 56 | 0 | 12 | 22 | 76 | 2 |
| Veen | 68 | 31 | 43 | 43 | 15 | 18 | 39 | 52 | 9 | 24 | 31 | 65 | 4 |
| Zand Noord | 25 | 8 | 70 | 30 | 0 | 4 | 54 | 42 | 4 | 4 | 54 | 42 | 4 |
| Zand Midden | 42 | 14 | 75 | 19 | 6 | 12 | 65 | 32 | 3 | 5 | 50 | 42 | 8 |
| Zand Zuid | 45 | 0 | 60 | 24 | 16 | 0 | 58 | 29 | 13 | 0 | 51 | 40 | 9 |
| Löss | 2 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 |

Bijlage 5 Stikstof- en fosforemissies naar oppervlaktewater

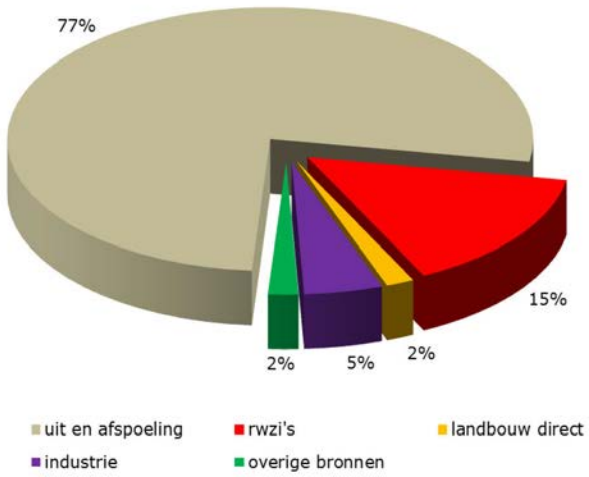
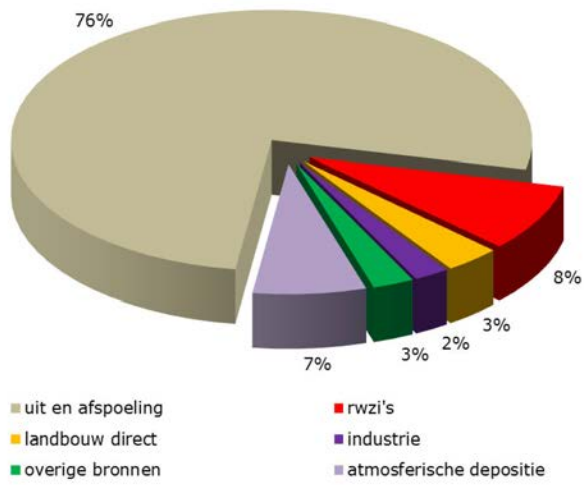
Zandgebieden



Figuur 38

Emissies (%) naar het oppervlaktewater uit Nederlandse bronnen in 2009 voor stikstof (boven) en fosfor (onder) in zandgebieden.

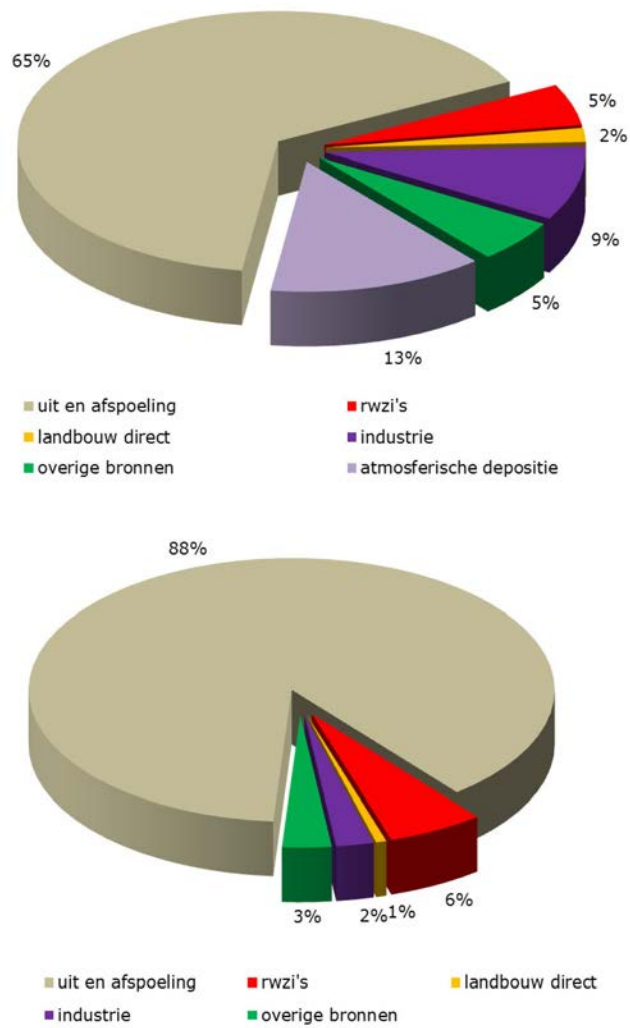
Kleigebieden



Figuur 39

Emissies (%) naar het oppervlaktewater uit Nederlandse bronnen in 2009 voor stikstof (boven) en fosfor (onder) in kleigebieden.

Veengebieden



Figuur 40

Emissies (%) naar het oppervlaktewater uit Nederlandse bronnen in 2009 voor stikstof (boven) en fosfor (onder) in veengebieden.



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

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

Meer informatie: www.wageningenUR.nl/alterra