



Bronnenanalyse nutriënten stroomgebied Maas

Peter Schipper, Leo Renaud, Erwin van Boekel



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Bronnenanalyse nutriënten stroomgebied Maas

Peter Schipper, Leo Renaud, Erwin van Boekel

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van en gefinancierd door
Programmabureau KRW/DHZ Maasregio

Wageningen Environmental Research
Wageningen, januari 2019


Rapport 2931
ISSN 1566-7197

P.N.M. Schipper, E.M.P.M. van Boekel, L.V. Renaud, 2019. *Bronnenanalyse nutriënten stroomgebied Maas*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 2931. 82 blz.; 16 fig.; 6 tab.; 26 ref.

De waterkwaliteit in Nederland – en ook in het Maasstroomgebied (Noord-Brabant en Limburg) – verbetert wel, maar dit gaat niet snel genoeg om de doelen die voor de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) zijn gesteld op tijd te halen. De stoffen stikstof en fosfor (nutriënten) zijn belangrijke factoren voor het bereiken van waterkwaliteitsdoelen. Om effectieve maatregelen te vinden, zijn gedegen gebiedsgerichte analyses nodig om bronnen van de belasting van het (grond)watermilieu door stoffen te kwantificeren. Deze analyses vormen de basis voor de maatregelen die in 2021 worden vastgesteld in de nationale stroomgebiedbeheerplannen (derde generatie SGBP'en) en regionale (water)plannen. De waterschappen en provincies in het Maasstroomgebied hebben behoefte aan een eenduidige analyse van de herkomst van de nutriënten in het oppervlaktewater. In opdracht van het Programmabureau KRW-DHZ Maasregio is onderzoek uitgevoerd naar de nutriëntenbelasting en de bronnen die deze belasting veroorzaken. Uit het onderzoek blijkt dat de totale nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in hoofdzaak worden bepaald door de diffuse uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden, effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's), toestroming vanuit het buitenland en inlaat vanuit rijkswateren. Voor stikstof heeft actuele bemesting een groot aandeel (72%) in de uit- en afspoeling. Voor fosfor is dit aandeel kleiner (gemiddeld 33%). Binnen de beheersgebieden van de vier waterschappen zijn er per vanggebied grote verschillen tussen de belasting en herkomst. Enerzijds door de regionale verschillen tussen de af- en uitspoeling en het aandeel van de bemesting hierin, anderzijds door de lozingslocaties van RWZI's, de toestroom vanuit het buitenland, inlaat vanuit rijkswater en de doorvoer van bovenstrooms gelegen waterlichamen, hetgeen sterk verschilt per gebied. Deze resultaten bieden de basis om scenario's voor maatregelen op te stellen en effecten ervan op de waterkwaliteit te kwantificeren.

Trefwoorden: Kaderrichtlijn Water, oppervlaktewater kwaliteit, doelgat, nutriëntenbelasting, herkomst nutriënten, stikstof, fosfor, uitspoeling, afspoeling, waterbalans, nutriëntenbalans, Maasstroomgebied, actuele bemesting, historische bemesting, nalevering bodem, kwel, stikstofdepositie, overstorten, RWZI's, regenwaterriolen

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/468844> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

 2019 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- 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.

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

Wageningen Environmental Research Rapport 2931 | ISSN 1566-7197

Foto omslag: Dynamisch beekdal in Brabant. Foto van Waterschap Aa en Maas.

Inhoud

	Woord vooraf	5
	Samenvatting	7
	Lijst met definities	11
1	Inleiding	13
	1.1 Achtergrond en probleemstelling	13
	1.2 Doelstelling	13
	1.3 Leeswijzer	14
2	Methodiek	15
	2.1 Gebruikte modelinstrumenten	15
	2.2 Fasering	17
	2.3 Interactie met de regio en begeleidingsgroep	18
3	Nutriëntenbelasting	19
	3.1 Verfijning landelijke bronnenanalyse (stap 1)	19
	3.2 Gebiedsindeling vanggebieden waterlichamen	21
	3.3 Nutriëntenbelasting	23
	3.4 Retentie	25
	3.5 Validatie	25
4	Doelgat stikstof en fosfor	31
5	Herkomstanalyse stikstof en fosfor	33
	5.1 Herkomstverdeling naar beïnvloedbaarheid	33
6	Discussie	38
	6.1 Schaalniveau en validatie	38
	6.2 Rekenperiode herkomst uit- en afspoeling landbouw	39
	6.3 Onderscheid bronnen achter de uit- en afspoeling	39
	6.4 Interactie grondwater – oppervlaktewater	40
	6.5 Inzet modelinstrumentarium voor maatregelen	40
7	Conclusies en aanbevelingen	41
	7.1 Conclusies	41
	7.2 Aanbevelingen	42
	Literatuur	43
	Bijlage 1 Methodiek ECHO	45
	Bijlage 2 Overzicht nutriëntenbronnen in de EmissieRegistratie	59
	Bijlage 3 Kenmerken vanggebieden	60
	Bijlage 4 Kaarten herkomst	64
	Bijlage 5 Herkomst in vanggebieden met een doelgat voor nutriënten	78

Woord vooraf

De waterschappen en provincies in het Maasstroomgebied hebben behoefte aan een eenduidige bronnenanalyse van de nutriënten in het oppervlaktewater. Namens de samenwerkende Maaspartijen, is in opdracht van het Programmabureau KRW-DHZ Maasregio, de onderhavige bronnenanalyse uitgevoerd. De resultaten van de bronnenanalyse ondersteunen verdere watersysteemanalyses die worden uitgevoerd om maatregelen voor doelbereik te onderzoeken. Ze worden ook benut in de Nationale analyse van de Delta-aanpak Waterkwaliteit, die in opdracht van ministerie I&W in 2018-2019 wordt uitgevoerd.

Het onderzoek is begeleid door de volgende personen (begeleidingscommissie):

Programmabureau Maas:	Henk van Wezel en Noud Kuipers
Provincie Brabant:	Peter Ramakers
Provincie Limburg:	Ton Geensen
Waterschap Brabantse Delta:	Kees Peerdeman
Waterschap Limburg:	Gabriel Zwart
Waterschap Aa en Maas:	Wim van der Hulst
Waterschap Dommel:	Oscar van Zanten
KnowH2O:	Gé van de Eertwegh

Tijdens de overleggen zijn tussenresultaten gepresenteerd en besproken met een bredere begeleidingsgroep waarin ook vertegenwoordigers van landbouworganisaties, waterleidingbedrijven en natuurbeheerders hebben deelgenomen.

De hydrologen van de betrokken waterschappen hebben een actieve rol vervuld door inbreng van hun expert- en gebiedskennis over de werking van het watersysteem, de grenzen van de catchments, ligging van monitoringslocaties die representatief zijn voor de kwaliteit en debieten op belangrijke uitwisselpunten van watersystemen. Ook hebben zij nauwgezet meegekeken naar de opgezette balansen en voor diverse gebieden verbeteringen aangedragen ten aanzien van de afwenteling van effluentwater van RWZI's en inlaat van rijkswater. Lopende het onderzoek is door Erwin Meijers van Deltares het landelijke KRW-Verkennermodel voor het Maasstroomgebied verbeterd. Hierdoor is waardevolle informatie beschikbaar gekomen en uitgewisseld over de stromingsrichting, inlaten en doorvoer van oppervlaktewater. De inbreng van de hydrologen van de waterschappen, bundeling van monitoringsdata en de samenwerking met Erwin Meijers hebben de betrouwbaarheid van de resultaten vergroot.

De auteurs bedanken de betrokken hydrologen en overige leden van de begeleidingscommissie voor hun actieve inbreng, controle en bijdrage aan de schematisatie van de gebieden. Verder bedanken de auteurs Erwin Meijers van Deltares voor zijn waardevolle inbreng van kennis en meetdata van het oppervlaktewatersysteem en Piet Groenendijk voor zijn grondige review van het rapport.

Wageningen, december 2018

De auteurs

Samenvatting

Aanleiding en doel

De waterkwaliteit voldoet op veel plaatsen in de Maasregio (Noord-Brabant en Limburg) nog niet aan de doelen die voor de Europese Kaderrichtlijn Water zijn gesteld. De stoffen stikstof en fosfor (nutriënten) zijn belangrijke factoren voor het bereiken van de waterkwaliteitsdoelen. Om effectieve maatregelen voor de aanpak van emissies van nutriënten naar het (grond)water te vinden, zijn gebiedsgerichte analyses nodig om de bronnen van deze stoffen te kwantificeren. Daarom is namens de samenwerkende Maaspartijen, in opdracht van het Programmabureau KRW-DHZ Maasregio, onderzoek uitgevoerd naar de nutriëntenbelasting en herkomst daarvan.

Onderzoeksmethode

Bij de uitvoering van het onderzoek is gebruikgemaakt van gegevens, modellen en methoden die in lijn zijn met eerdere regionale en landelijke bronnenanalyses voor nutriënten en evaluaties van het mestbeleid. De belasting en herkomst zijn in dit onderzoek gekwantificeerd met de door Wageningen Environmental Research (WENR) ontwikkelde methode ECHO.

De bronnen zijn zodanig ontrafeld dat deze te verbinden zijn aan sectoren en partijen die hun bijdrage aan de nutriëntenbelasting kunnen beïnvloeden (landbouw, waterschap, gemeenten, Rijkswaterstaat en buurlanden). De uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden zijn uitgesplitst in het deel dat veroorzaakt wordt door bemesting (actueel en historisch), stikstofdepositie, kwel, nalevering bodem en uitspoeling van eerder geïnfilteerd oppervlaktewater. De inlaat van rijkswater en afwenteling van nutriënten op benedenstroomse vanggebieden is gelabeld voor het aandeel dat RWZI's, buitenlandwater en rijkswater hierin hebben.

Het onderzoek is in twee stappen uitgevoerd. In de eerste stap zijn – in nauwe samenwerking met hydrologen van de waterschappen – de beheersgebieden ingedeeld in 45 deelgebieden. In elk gebied is nagegaan welke meetgegevens benut kunnen worden om te bepalen hoeveel water het gebied in- en uitstroomt en van welke kwaliteit. Hiermee is de landelijke studie *Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren* (WUR 2016) verfijnd en verbeterd.

Vervolgens is in de tweede stap een gedetailleerdere indeling gemaakt. Voor ieder KRW-waterlichaam is het invloedsgebied (voorts aangeduid als vanggebied) en de routing bepaald op basis van de in stap 1 verkregen inzichten in de werking van het watersysteem en op basis van het KRW-Verkennermodel. Dit model is tegelijkertijd aan de uitvoering van dit onderzoek vanuit de landelijke schematisering sterk verbeterd en verfijnd voor het Maasstroomgebied. Met routing wordt bedoeld de verbindingen tussen waterlopen, de richting van de waterstroming en de verdeling van water op belangrijke uitwisselpunten van de waterlopen. Op basis van deze verfijning is het stroomgebied ingedeeld in 140 vanggebieden. Na validatie van de resultaten in stap 1 en 2 is voor de periode 2010 tot en met 2013 een complete stoffenbalans voor stikstof en fosfor opgesteld, jaargemiddeld en zomerhalfjaargemiddeld. Het resultaat is opgenomen in een database, waarin per gebied voor stikstof en fosfor alle deelbronnen zijn gekwantificeerd in deelvrachten en procentueel ten opzichte van de totale belasting in het vanggebied. Voor ieder vanggebied is ook de retentie berekend, met onderscheid in punt- en diffuse bronnen en wateraanvoer. Daarmee is voor ieder gebied berekend hoeveel nutriënten worden doorgevoerd (afgewenteld) op benedenstroomse vanggebieden of rijkswater. Deze afwenteling is gelabeld voor het aandeel dat RWZI's, buitenlandwater en rijkswater hierin hebben.

Resultaten

Uit het onderzoek blijkt dat de totale nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in hoofdzaak wordt bepaald door de diffuse uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden, effluenten van RWZI's, toestroming vanuit het buitenland (regionale grensoverschrijdende beken/rivieren) en inlaat vanuit rijkswateren (kanalen en Maas). Op jaarbasis levert de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden in veel gebieden de grootste bijdrage. In het zomerhalfjaar is die bijdrage minder, omdat die uit- en

afspoeling vooral in het winterhalfjaar plaatsvindt, terwijl waterinlaat juist plaatsvindt in de zomer en de belasting door RWZI's door het jaar vrij constant is.

Het ontwikkelde modelinstrumentarium is op drie manieren getoetst aan de praktijk. Ten eerste zijn over de periode waarop de balans is berekend (2010 tot 2014) op 17 uitwisselpunten (benedenstrooms van een vanggebied) de berekende uitgaande debieten vergeleken met gemeten debieten. Ten tweede zijn op dezelfde uitwisselpunten en dezelfde periode de berekende uitgaande vrachten getoetst aan uit metingen afgeleide vrachten (gemeten concentraties vermenigvuldigd met gemeten debieten). Op de derde plaats zijn de modelmatige aannames voor de routing en het gebruik van metingen voor toestroming, inlaat en afwenteling nagelopen met de hydrologen van de vier waterschappen. De toetsing van de debieten en vrachten op belangrijke uitstroompunten van catchments leverde bevredigende resultaten. De gemiddelde afwijking tussen de gemeten en berekende debieten is 6% en de gemiddeld absolute afwijking 13%. De gemiddelde afwijking tussen de berekende en uit metingen afgeleide stikstofvrachten bedraagt -9% en de gemiddeld absolute afwijking 22%. Voor fosfor zijn deze percentages 12 en 35%. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat voor enkele van die 17 meetlocaties weinig (minder dan eenmaal per maand) waterkwaliteitsgegevens zijn verzameld over de periode waarop de balans is berekend. In samenhang beschouwd, geeft de validatie van de debieten, netto uitgaande stofvrachten en controles door de experts van de waterschappen op de Excel-database vertrouwen in de berekende nutriëntenbelasting en retentie en is daarmee een goede basis voor het afleiden van de herkomst.

Als de zomerhalfjaar-gemiddelde concentraties van de laatste jaren (2015-2017) worden vergeleken met de KRW-doelen, worden deze voor stikstof in 108 van de 140 vanggebieden overschreden en voor fosfor in 87 vanggebieden. Voor die vanggebieden geldt aldus een zogenaamd KRW-doelgat. De nutriëntenbelasting dient daar te worden gereduceerd om de KRW-doelen te halen. De opgave voor deze reductie is omvangrijk, want in ongeveer een derde van de waterlichamen is de zomergemiddelde concentratie meer dan tweemaal zo hoog als het KRW-doel en soms wel tot vijfmaal zo hoog. De resultaten van het onderhavige onderzoek bieden de benodigde informatie om deze reductieopgaven toe te wijzen aan de sectoren en partijen die de nutriëntenbelasting kunnen verminderen. Deze opgaven zijn bepaald voor de verkenning van varianten (maatregelenpakketten) om de KRW-doelen voor nutriënten voor oppervlaktewater- en grondwaterbeschermingsgebieden in de Maasregio dichterbij te brengen dan wel te bereiken¹. De opgave is hoofdzakelijk toebedeeld aan buitenland, de waterschappen en landbouw. De opgave voor industrie en gemeenten is daarbij vergeleken zeer gering.

De modelanalyses en modelresultaten dienen als input voor de nationale analyse die in 2019 door het PBL wordt uitgevoerd in het kader van de derde generatie stroomgebiedbeheerplannen en de Delta-aanpak Waterkwaliteit. Daardoor wordt voor deze (beleids)analyses een goede afstemming tussen het Rijk en de regio bewerkstelligd. Het opgezette modelinstrumentarium kan ook efficiënt worden ingezet om de effecten van diverse maatregelen op de nutriëntenbelasting te berekenen, inclusief de scenario's die hiervoor in de verkenning voor de aanpak van nutriënten worden ontwikkeld.

Aanbevelingen

In toenemende mate is voor het waterkwaliteitsbeleid behoefte aan kwantitatief inzicht op het niveau van waterlichamen alsmede op bedrijfsniveau in de effecten van gebieds- en bedrijfsspecifieke maatregelen die de diffuse af- en uitspoeling van nutriënten vanuit landbouwgronden verminderen. De effecten daarvan op de waterkwaliteit kan met modellen gekwantificeerd worden, indien deze modellen gevalideerd zijn en toegesneden zijn om de waterbeweging, de waterbalans, de totale nutriëntenbelasting en de retentie daarvan in het oppervlaktewater op de betreffende schaalniveaus te simuleren.

De huidige monitoring en systeeminzichten zijn niet toegesneden op het hier gewenste detailniveau. Het verdient derhalve aanbeveling om in het waterbeheer meer aandacht te besteden aan monitoring van debieten en waterkwaliteit op uitwisselpunten, zodat modelaannames voor begrenzing van waterlichamen, inlaat, afwenteling, buitenlandse aanvoer en retentie beter kunnen worden onderbouwd.

¹ Gebiedsgericht samenwerken van regio en rijk aan een aanpak voor nutriënten.

Voor de bronnenanalyse is gebruikgemaakt van de met het modelinstrumentarium STONE berekende uit- en afspoeling tot en met 2013. Recentere perioden met als input de gemeten meteo (neerslag, verdamping) en geregistreerde mestgiften waren ten tijde van het onderzoek niet beschikbaar. Recentelijk zijn echter de berekeningen doorgezet tot en met 2017 met de gemeten meteo en de mestgiften vanaf 2014, zoals berekend volgens het 5^e Nitraat Actie Programma (Groenendijk, 2015). Met het modelinstrumentarium kan redelijk eenvoudig de nutriëntenbelasting berekend worden voor de recentere periode.

Het onderscheid tussen de uitspoeling die voortkomt uit actuele en historische bemesting is moeilijk te maken, omdat dit wordt beïnvloed door de keuze van de periode waarvoor bemesting als historisch wordt beschouwd. Aanbevolen wordt om de methodiek voor het onderscheid van bronnen van de nutriënten in de uitspoeling verder te verbeteren conform de voorstellen die hiervoor zijn gedaan in het Kennisimpuls Waterkwaliteit Nutriënten en de uitkomsten te verifiëren met gerichte metingen.

De analyse is gericht op oppervlaktewaterlichamen. De routes via de bodem en grondwater zijn wel meegenomen, maar er is geen specifieke, op grondwaterkwaliteit gerichte analyse uitgevoerd. Aanvullend onderzoek is nodig om na te gaan in hoeverre met de aanpak gericht op oppervlaktewater ook de nutriëntendoelen voor grondwater (algemeen, drinkwaterwinningen en grondwaterafhankelijke natuur) worden bereikt.

Voor de toetsing van de modelmatige aannames voor de routing en het gebruik van metingen is relatief veel aandacht besteed aan de routing in de KRW-Verkenner en de gedane gebiedsindeling in stap 1 (45 deelgebieden). Op het niveau van de 140 catchments zullen gedane aannames voor inlaat, routing en ruimtelijke begrenzing in diverse catchments nog verbeterd kunnen worden. Aanbevolen wordt om hierop in te zetten en verbeterpunten overdraagbaar vast te leggen. De database die met de waterschappen is uitgewisseld en de werkdocumenten bieden hiervoor goede handvatten. Omdat de resultaten worden gebruikt voor kwantificering van reductieopgaven en effecten van beleidsscenario's, wordt aanbevolen om de systeembekendheid van de waterlichamen met innovatieve, hoogfrequente monitoring te vergroten, met name in vanggebieden waar hoge concentraties worden gemeten en in vanggebieden waar aanwijzingen zijn dat de af- en uitspoeling sterk kunnen afwijken door specifieke geohydrologische omstandigheden (wijnstgronden, gebieden waar relatief vaak oppervlakkige afstroming plaatsvindt).

Lijst met definities

Bronnen	In deze studie: oorzaken van het vrijkomen van de stikstof en de fosfor die in het oppervlaktewater terechtkomen.
Diffuse bronnen	Bronnen van verontreiniging die niet eenduidig op een bepaalde plek hun oorsprong hebben, maar over een groter gebied plaatsvinden. Voorbeelden zijn verontreinigingen afkomstig uit de landbouw en het verkeer die via atmosferische depositie en uit- en/of afspoeling van gronden het grond- en oppervlaktewater bereiken.
Stuurbare bronnen	Bronnen van verontreiniging waarvan de bronsterkte te beïnvloeden is door menselijk handelen. In deze studie wordt dit beperkt tot: waarvan de bronsterkte te beïnvloeden is door landbouwkundig handelen (uit- en afspoeling door bemesting) en emissiebeperkende maatregelen (puntenbronnen, overige bronnen).
Kaderrichtlijn Water	De Europese Kaderrichtlijn Water (2000/60/EG) is in 2000 van kracht geworden en heeft als doel de kwaliteit van oppervlakte- en grondwater in Europa te waarborgen. In Nederland vertaalt de Rijksoverheid de Kaderrichtlijn Water (KRW) in landelijke beleidsuitgangspunten, kaders en instrumenten. De minister van Infrastructuur en Milieu is eindverantwoordelijk voor de uitvoering van de KRW.
KRW-opgave	De Kaderrichtlijn Water heeft als doel dat alle wateren uiterlijk in 2027 een goede chemische en ecologische toestand hebben. De opgave houdt in dat alle overheden ernaar streven om de kwaliteit niet te laten verslechteren (standstill) en zo veel mogelijk zinvolle maatregelen treffen om de kwaliteit te verbeteren.
KRW-waterlichaam	In de KRW is een groot deel van het oppervlaktewater aangewezen als waterlichaam. Een waterlichaam is een 'onderscheiden oppervlaktewater van aanzienlijke omvang, zoals een meer, een waterbekken, een stroom, een rivier, een kanaal, een overgangswater of een strook kustwater'. Voor deze wateren moet de toestand van het aquatisch ecosysteem beschreven worden.
Ecologische doelen	De KRW eist dat Nederland ecologische doelstellingen formuleert. In Nederland zijn 42 verschillende watertypen onderscheiden, waarvoor een beschrijving is gemaakt hoe ze er ecologisch uit zouden zien als er geen of slechts geringe menselijke invloed zou zijn geweest (referentie). Aan de hand van een maatlat wordt beoordeeld of de toestand van een water 'zeer goed' (de referentie), 'goed', 'matig', 'ontoereikend' of 'slecht' is. De KRW-norm ligt bij 'goed'.
Regionaal oppervlaktewater	In deze studie worden de regionale waterlichamen soms aangeduid met 'regionaal oppervlaktewater'. De regionale wateren zijn vrijwel altijd in beheer bij waterschappen.
Vanggebied	Het beïnvloedingsgebied dat afwatert op een bepaald oppervlaktewaterlichaam. Grenzen tussen beïnvloedingsgebieden zijn op te vatten als waterscheidingen.
Doelgat	Het verschil tussen de huidige ecologische toestand van het oppervlaktewater en de toestand 'goed'. In deze studie is dit verder toegespitst op de mate van overschrijding van stikstof- en fosforconcentraties in de regionale waterlichamen.
Generiek mestbeleid	Het stelsel van gebruiksnormen en gebruiksvorschriften voor bemesting zoals dat van kracht is voor landbouwbedrijven.
Agrarische bedrijfsvoering	In deze studie: het landbouwkundig handelen dat leidt tot overschotten van stikstof en/of fosfor die op het veld en/of in de bodem achterblijven.

Mest	In deze studie is het begrip 'mest' gekoppeld aan mestgift of bemesting en wordt er de som van kunstmest en dierlijke mest mee aangeduid.
Actuele bemesting	De toegediende mestgiften in het jaar waarin het berekende overschot, uitspoeling en/of toestand van de bodem wordt geëvalueerd.
Historische bemesting of bemesting in het verleden	De toegediende mestgiften de jaren voorafgaand aan het jaar waarin het berekende overschot, uitspoeling en/of toestand van de bodem wordt geëvalueerd. Het begrip historische bemesting wordt meestal gebruikt in de context van na-ijling van of nalevering uit in het verleden opgebouwde voorraden in de bodem, hetgeen vooral voor fosfor lang (decennia) kan duren. De grens tussen historische en actuele bemesting is arbitrair en kan niet exact gekoppeld worden aan een bepaalde tijdsperiode. Zoals modelmatig ingevuld met STONE, kan aangenomen worden dat globaal de laatste vijf jaar voorafgaand aan een berekend zichtjaar nog toe te schrijven is aan de actuele bemesting.
Nalevering	Uit- en afspoeling die niet gerelateerd is aan bemesting, maar aan de nalevering door bodemprocessen, zoals mineralisatie van veen of de uitloging van in het verleden opgehoopte fosfaat afkomstig uit kwel.
Retentie	De opname door planten en de afbraak, omzetting en vastlegging van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater en in sediment direct grenzend aan oppervlaktewater door biologische en chemische processen.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en probleemstelling

De waterkwaliteit voldoet op veel plaatsen in de Maasregio (Noord-Brabant en Limburg) nog niet aan de doelen die voor de Europese Kaderrichtlijn Water zijn gesteld. De stoffen stikstof en fosfor (nutriënten) zijn belangrijke factoren voor het bereiken van de waterkwaliteitsdoelen (Galen, 2016; ministerie I&W, 2016). In de Stroomgebiedsbeheerplannen voor de derde periode (2022-2027) moet Nederland de definitieve keuzes maken over de doelen van de waterlichamen en in te zetten maatregelen. Om effectieve maatregelen voor de aanpak van emissies van nutriënten naar het (grond)water te vinden, zijn gebiedsgerichte analyses nodig om de bronnen van deze stoffen te kwantificeren. De regionale analyses vormen de basis voor de maatregelen die in 2021 worden vastgesteld in de nationale stroomgebiedbeheerplannen (derde generatie SGBP-en) en regionale (water)plannen.

Voor de regionale bronnenanalyses heeft het Programmabureau KRW-DHZ Maasregio aan de kennisinstututen die samenwerken aan de kennisimpuls gevraagd om voor nutriënten, zware metalen en bestrijdingsmiddelen een onderzoeksmethode op te stellen. Voor ieder van die stofgroepen is een onderzoeksmethode (plan van aanpak) opgesteld. Op basis van deze plannen heeft het programmabureau, namens de samenwerkende Maaspartijen, opdracht gegeven voor deze bronnenanalyses. Het onderhavige rapport beschrijft de resultaten van de bronnenanalyse van nutriënten.

1.2 Doelstelling

Het doel van de studie is om de huidige nutriëntenbelasting (stikstof en fosfor) van het regionale oppervlaktewater in het Maasstroomgebied te kwantificeren en de bronnen hierbij zodanig uit te splitsen dat de opgave voor emissiereductie toegeschreven kan worden aan sectoren (broneigenaren).

De KRW-opgaven voor nutriënten zijn in delen van de Maasregio groot (Schipper en Rozemeijer, 2018). Het doel voor de bronnenanalyse nutriënten is om kwantitatief en gebiedsgericht inzicht te geven in de huidige nutriëntenbelasting van de regionale wateren, de herkomst, emissieroutes en afwenteling op benedenstroomse regionale wateren en rijkswateren. Met deze resultaten is onderscheid te maken tussen meer en minder beïnvloedbare bronnen, hetgeen aanknopingspunten geeft voor gebiedsgerichte maatregelen.

Voor de analyse is een methodiek opgesteld die gebruikmaakt van databestanden en rekenmodellen. Het doel is dat de methodiek een helder en gedragen inzicht geeft in de nutriëntenbelasting van de oppervlaktewaterlichamen en de herkomst van de nutriëntenbronnen, onderverdeeld naar beïnvloedbaarheid op het schaalniveau van de invloedsgebieden van de regionale oppervlaktewaterlichamen (in dit rapport aangeduid als vanggebieden). Tevens is de methodiek dan ook geschikt om effecten van beleidsscenario's voor emissiereductie van nutriënten op de waterkwaliteit te kwantificeren. Het maken van onderscheid in bronnen kan ook benut worden om, gelet op de hoogte van niet-beïnvloedbare bronnen (achtergrondbelasting), in vervolgonderzoek na te gaan en te onderbouwen waar doelaanpassing eventueel te overwegen is.

De analyse levert ook een belangrijke input voor de gebiedsgerichte verkenning van de nutriëntenaanpak in de Maasregio². In dit traject, dat gestart is in november 2017, wordt in zeven proefgebieden onderzoek uitgevoerd voor de selectie en realisatie van effectieve en gedragen

² Gebiedsgericht samenwerken van regio en rijk aan een aanpak voor nutriënten.

maatregelen, het bewerkstelligen van synergie met andere maatschappelijke opgaven en het ontwikkelen van methodes voor het betrekken en samenwerken van partijen en welke instrumenten daarbij zijn in te zetten.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de werkwijze van het onderzoek. De resultaten van de berekende nutriëntenbelasting en validatie van het modelinstrumentarium zijn beschreven in hoofdstuk 3. De verdeling van de bronnen van herkomst wordt in hoofdstuk 4 beschreven. Hoofdstuk 5 geeft een synthese van de modelresultaten. De conclusies en aanbevelingen zijn in hoofdstuk 6 geformuleerd.

In bijlage 1 wordt de methodiek van het gebruikte modelinstrumentarium toegelicht. Bijlage 2 geeft een overzicht van de bronnen waar in EmissieRegistratie emissies voor nutriënten naar water worden berekend en de indicaties van de betrouwbaarheid van de emissieschattingen. In bijlage 3 zijn de kenmerken van de onderscheiden vanggebieden in tabellen per waterschap weergegeven. De kaarten met per broncategorie het aandeel in de nutriëntenbelasting zijn opgenomen in bijlage 4. Bijlage 5 geeft in grafieken per waterschapsgebied een overzicht van de herkomst in die vanggebieden waar op basis van de zomerhalfjaar-gemiddelde gemeten concentraties sprake is van het KRW-doelgat. De per vanggebied berekende nutriëntenbelasting, herkomst, retentie en doelgat zijn opgeleverd in een Exceldatabase (jaargemiddeld en zomerhalfjaar).

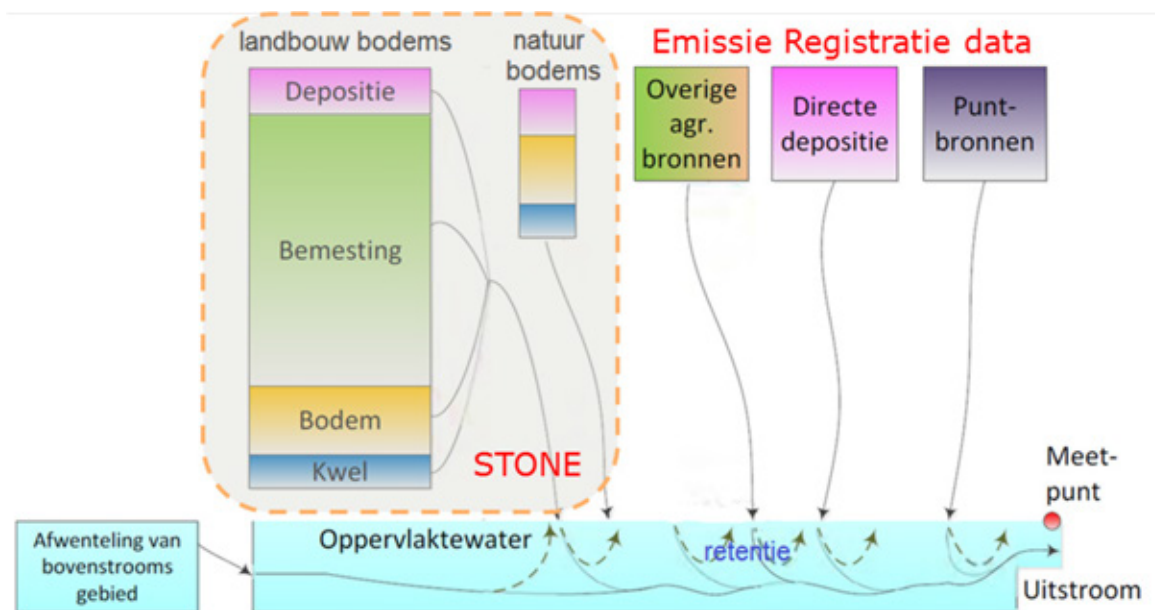
2 Methodiek

2.1 Gebruikte modelinstrumenten

Voor het onderzoek zijn twee modelinstrumentariums ingezet en aan elkaar gekoppeld: KRW-ECHO en de KRW-Verkenner.

KRW-ECHO

Met KRW-ECHO (Kroes, 2011) wordt het stroomgebied geografisch ingedeeld in subdeelstroomgebieden. Deze indeling is erop gericht om met systeem- en gebiedskennis voor ieder regionaal waterlichaam het vanggebied te bepalen. Voor ieder vanggebied wordt de nutriëntenbelasting berekend van alle punt- en diffuse bronnen. Ook wordt de nutriëntenbelasting van inlaat en doorvoer van gebiedsvreemd water berekend, waarbij zo veel mogelijk gebruik wordt gemaakt van meetpunten op de uitwisselpunten van de waterlichamen (debieten en bijbehorende nutriëntenconcentraties). Vervolgens worden op basis van de belasting, de waterafvoer en het type vanggebied de retentie van de nutriënten in ieder vanggebied berekend. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in de retentie van diffuse bronnen, puntbronnen, inlaat en toestromend bovenstrooms water. Deze systematiek wordt schematisch weergegeven in figuur 2.1.



Figuur 2.1 Nutriëntenbelasting vanggebied oppervlaktewater met onderscheid naar herkomst (bron: Groenendijk, 2016).

Voor ieder vanggebied wordt de hoeveelheid nutriënten die wordt doorgevoerd (afgewenteld) op benedenstroomse vanggebieden of rijkswater, bepaald door de berekende belasting minus de retentie. Deze afwenteling is gelabeld voor het aandeel dat RWZI's, buitenlandwater en rijkswater hierin hebben.

Tabel 2.1 geeft een overzicht van de nutriëntenbronnen die voor het kwantificeren van de belasting zijn onderscheiden. De niet-landbouwbronnen en overige landbouwbronnen zijn gekwantificeerd met de data die zijn opgenomen in de EmissieRegistratie (ER, versie 2013). De hierin opgenomen vrachten van regenwaterriolen, riooloverstorten en overig huishoudelijk afvalwaterlozingen (IBA's en directe), zijn vervangen door de update van ER voor deze bronnen (Liefing, 2017).

Tabel 1 Nutriëntenbronnen die in het onderzoek zijn gekwantificeerd. Gearceerd de bronnen die voor kwantificering zijn ontleend aan EmissieRegistratie (ER).

Niet-landbouw bronnen	Landbouw bronnen
<ul style="list-style-type: none"> • Effluënten RWZI's • Af- en uitspoeling natuurbodems • Atmosferische depositie (alleen stikstof) • Industriële lozingen • Overstorten • Regenwater riolen • Atmosferische depositie (alleen stikstof) • Overige diffuse bronnen <ul style="list-style-type: none"> - IBA's en andere huishoudelijke lozingen (recreatie- en binnenvaart) - AVI, verkeer e.a. 	<ul style="list-style-type: none"> • Af- en uitspoeling landbouwgronden, uitgesplitst in: <ul style="list-style-type: none"> - Actuele bemesting - Historische bemesting - Nalevering bodem - Kwelwater - Eerder in zomer geïnfiltrerd oppervlaktewater • Overige landbouwbronnen (uit ER) <ul style="list-style-type: none"> - Erfafspoeling - Meemesten sloten - Glastuinbouw
Inlaat en toestroom gebiedsvreemd water, uitgesplitst in:	
<ul style="list-style-type: none"> • Toestroming vanuit buitenland • Inlaat rijkswater • Toestroming bovenstrooms vanggebied, deelstroom afkomstig van RWZI's • Toestroming bovenstrooms vanggebied, deelstroom afkomstig van overige bronnen 	

Voor het afleiden van de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit landbouw- en natuurgronden, wordt gebruikgemaakt van bestaande modelberekeningen die zijn uitgevoerd in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet. Deze berekeningen zijn uitgevoerd vanaf 1941 tot en met 2013. Berekeningen voor meer recente jaren waren niet beschikbaar. Op basis van de herschikkingsmethode (Kroes et al., 2011) worden de rekeneenheden van het landelijke modelinstrumentarium STONE ruimtelijk gedetailleerder toegesneden op de regionale informatie (landgebruik, bodemtype en grondwaterstanden).

Op uitwisselpunten van vanggebieden waar geschikte meetgegevens van debieten en concentraties beschikbaar waren, zijn de met KRW-ECHO berekende uitgaande debieten en nutriëntenvrachten gevalideerd. Na deze validatie is de herkomst van de bronnen bepaald. Hierbij zijn de uit- en afspoeling op basis van een gevoeligheidsanalyse die met STONE is uitgevoerd, nader onderverdeeld in de bronnen actuele bemesting, historische bemesting, atmosferische stikstofdepositie, nalevering van de bodem, kwelwater en uitspoeling van in de zomer geïnfiltrerd oppervlaktewater. De methodiek hiervan staat beschreven in Groenendijk et al. (2014) en is toegepast in voorgaande landelijke beleidsstudies (Van der Bolt 2012; Groenendijk 2013; Groenendijk, 2016) en diverse regionale bronnenanalyses voor waterschappen: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (Boekel, 2013), Rijnland (Hellmann, 2014), Hollands Noorderkwartier (Boekel, 2015), Schieland en Krimpenerwaard (Schipper, 2016), Waterschap Rivierenland (Boekel, 2018) en Wetterskip Fryslân (Boekel, 2016). Bijlage 1 geeft een gedetailleerde beschrijving van de KRW-ECHO-methode.

KRW-Verkenner

De KRW-Verkenner berekent de waterstroming in de geschematiseerde waterlopen op basis van de informatie in het Nederlands Hydrologische Instrumentarium (NHI). Aan deze informatie worden vanuit ER per geografische Local Surface Watereenheid (LSW's) voor nutriënten de punt- en diffuse bronnen toegekend. Op basis van de hydrologische informatie en de informatie over de nutriëntenbronnen wordt de resulterende waterkwaliteit berekend. In de KRW-Verkenner kunnen voor de retentie meerdere opties (methodes) worden toegepast. Een verschil met de retentiemethodiek van ECHO is dat de retentie met de KRW-Verkenner berekend wordt op een kleiner ruimtelijk schaalniveau (zogenaamde Local Surface Watereenheden) en op basis van de berekende verblijftijden per LSW (het quotiënt van het berekende debiet en het watervolume). Met ECHO wordt de retentie berekend op het niveau van de onderscheiden vanggebieden en in vrij afwaterende gebieden op basis van de specifieke afvoer (zie paragraaf 3.4).

Parallel aan het onderhavige onderzoek is in een separate opdracht door Deltares voor het Maasstroomgebied de informatie over de routing van het oppervlaktewater verbeterd. Deze verbetering heeft zich vooral gericht op de juiste locaties van lozingspunten van RWZI's, de stromingsrichting in belangrijke waterlopen, de verdeling van water op belangrijke uitwisselpunten,

debiëten van inlaatwater en toestroming vanuit het buitenland. Deze verbeteringen zijn geïnventariseerd tijdens werksessies met de hydrologen van de vier waterschappen.

EmissieRegistratie (ER)

De EmissieRegistratie is de landelijke database waarin de emissies naar bodem, water en lucht voor veel beleidsrelevante stoffen per emissiebron zijn vastgelegd om (inter)nationale rapportageverplichtingen te kunnen nakomen (www.Emissieregistratie.nl). De EmissieRegistratie omvat gegevens van puntbronnen en diffuse bronnen voor de periode vanaf 1990. Emissiebronnen die bijdragen aan de stikstof- en fosforbelasting van het oppervlaktewater zijn in de EmissieRegistratie toegekend aan 34 subdoelgroepen die vervolgens geclusterd zijn tot 13 doelgroepen. Bijlage 2 geeft een overzicht van de bronnen waar in EmissieRegistratie emissies voor nutriënten naar water worden berekend. Zoals aangegeven, is voor de af- en uitspoeling niet met de ER-data gerekend.

Koppelingen KRW-ECHO en KRW-Verkenner

Aan het KRW-verkenner model zijn per LSW de met KRW-ECHO berekende uit- en afspoeling gekoppeld alsmede daarbij per vanggebied de berekende uitsplitsing van de af- en uitspoeling landbouwgronden in actuele en historische bemesting, nalevering bodem, kwelwater en in de zomer geïnfiltreerd oppervlaktewater. Voor de schematisering van de vanggebieden is in KRW-ECHO gebruikgemaakt van de verbeterde routing die met de KRW-Verkenner is gerealiseerd, met name wat betreft de begrenzing van de vanggebieden per waterlichaam en de waterverdeling op de uitwisselpunten van de waterlichamen.

Qua hydrologie verschilt de met KRW-ECHO berekende uit- en afspoeling van landbouw- en natuurbodems met die van de KRW-Verkenner. KRW-ECHO rekent met de hydrologie zoals die wordt berekend met STONE, terwijl de KRW-Verkenner rekent met de hydrologie van het Landelijk Hydrologisch Modelinstrumentarium (LHM). Uit een vergelijking met de STONE-resultaten en -metingen blijkt dat met de hydrologie van het LHM te lage grondwaterstanden en daarbij te lage drainagefluxen naar het oppervlaktewater worden berekend. Daardoor werden in diverse vanggebieden onrealistisch lange verblijftijden en daardoor onrealistisch hoge retenties berekend. Daarom is het voorliggende onderzoek uitgewerkt met KRW-ECHO. Het onderhavige rapport behandelt dus alleen de resultaten van KRW-ECHO. Het onderzoek met de KRW-verkenner wordt beschreven in een afzonderlijke rapportage.

2.2 Fasering

Het onderzoek is gefaseerd uitgevoerd in twee stappen. In de eerste stap is de landelijke bronnenanalyse voor nutriënten (Groenendijk, 2016) regio-specifieker gemaakt en verbeterd door de begrenzing van de onderscheiden deelstroomgebieden en routing van de catchments aan te passen met inbreng van de gebiedskennis van de waterschappen. Hiertoe zijn werksessies bij ieder waterschap gehouden. Tijdens deze werksessies zijn door de hydrologen van de waterschappen ook de aannames en meetdata voor debieten en concentraties van toestromend en inlaat water aangevuld en waar nodig aangepast. De aanpassingen zijn verwerkt in de modelschematisering. Hiermee is de belasting berekend op het niveau van 45 deelstroomgebieden. Voor de uit- en afspoeling van landbouw en natuurgronden is de configuratie van rekenplots van het landelijke model STONE verfijnd door deze ruimtelijk te herschikken en meer toe te spitsen op de regionale situatie. Hiermee is de nutriëntenbelasting voor de periode 2010 tot en met 2013 opnieuw berekend. De totale belasting minus de met ECHO berekende retentie is gevalideerd op uitwisselpunten (blauwe knopen) waar in de periode 2010 tot en met 2013 zowel debieten als waterkwaliteitsmetingen (stikstof en fosfor concentraties) beschikbaar zijn.

In de tweede stap zijn de belasting en herkomst verder in detail geanalyseerd. Op basis van de verbeterde routing van de KRW-verkenner en de resultaten van stap 1 zijn op een gedetailleerder niveau de vanggebieden van de regionale KRW-waterlichamen ruimtelijk begrensd en is de routing daarvan in de modelschematisering verwerkt. Het resultaat hiervan is een indeling in 140 vanggebieden. Hierbij zijn ten behoeve van de routing en te kwantificeren diffuse bronnen ook enkele vanggebieden van rijkswateren opgenomen. Door de hydrologen van de Waterschappen is op basis van tussenresultaten extra informatie aangeleverd over inlaat vanuit rijkswater en het

buitenland. Voor ieder vanggebied zijn – analoog aan stap 1 – de nutriëntenbelasting en de retentie en daarmee de water- en nutriëntenbalans berekend. Na validatie is de herkomst voor de referentieperiode bepaald. Omdat de waterkwaliteitsdoelen voor nutriënten zijn afgeleid voor het zomerhalfjaar, is de herkomst jaargemiddeld en voor een gemiddeld zomerhalfjaar bepaald.

2.3 Interactie met de regio en begeleidingsgroep

Interactie met de begeleidingsgroep heeft op twee manieren verder plaatsgevonden. De modelschematisering en tussenresultaten zijn op diverse momenten van het onderzoek transparant uitgewisseld met de hydrologen van de waterschappen. Als basis is per waterschap een werkdocument opgesteld met de gebiedsindeling, de gebruikte meetdata voor inlaat, toestromend en uitstromend water (debieten en concentraties) en de lozingspunten van de RWZI's. Alle gedane aanpassingen hierop zijn omwille van de reproduceerbaarheid in de documenten vastgelegd. Deze werkdocumenten zijn als afzonderlijke rapporten aangeleverd.

Na de werksessies is nog diverse malen bilateraal contact geweest om de kennis bij het waterschap zo goed mogelijk in de modelschematisering te kunnen verwerken. Om de meetreeksen voor de vrachtberekeningen te complementeren, zijn gegevens ontleend van het Waterkwaliteitsportaal en hebben de WUR en Deltares elkaars data (debieten en chemie) samengevoegd.

Daarnaast zijn rekenresultaten gecompriemd opgenomen in een Exceldatabase die op diverse momenten is uitgewisseld met de hydrologen van het Waterschap. Hiermee konden zij voor ieder deelgebied op de e-mail steeds direct overzien wat de belangrijke punt- en diffuse bronnen zijn, welke inlaathoeveelheden en herkomst daarvan zijn gehanteerd, hoe de afwenteling qua verdeling is geschematiseerd en welke retentie is berekend. Deze database gaf duidelijke handvatten om vanuit hun gebieds- en systeemkennis hiaten of verbeterpunten te identificeren. Mondeling en via werkdocumenten per beheersgebied is aangegeven hoe deze hiaten en verbeterpunten in het model zijn verwerkt. Figuur 2.2 geeft een indruk (screendump) van deze database.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with a complex table structure. The columns are labeled with letters A through AK. The rows contain numerical data organized into several main sections: 'Totaal in' (columns E-H), 'Herkomst in' (columns I-L), 'Totaal uit' (columns M-P), and 'Herkomst uit' (columns Q-T). There are also columns for 'Industrie' (U-V) and 'Inlaat' (W-X). The table lists various regions and waterschappen, such as 'Aa en Maas', 'Brabantse Delta', and 'Wierden'. The data is presented in a grid format with some cells containing text labels like 'GEEN INLAAT' or 'NIET RELEVANT'. The bottom of the spreadsheet includes a legend and summary rows for 'Totaal in N', 'Herkomst in N', 'Totaal uit N', 'Herkomst uit N', and 'Totaal uit P'.

Figuur 2.2 Screendump van de database waarin de resultaten per vanggebied zijn opgenomen.

Naast deze uitwisseling zijn de resultaten op diverse momenten gepresenteerd aan de begeleidingsgroep. Naast de waterschappen waren hierbij ook vertegenwoordigers aanwezig van de waterleidingbedrijven en van landbouw- en natuurorganisaties. Ook zijn op verzoek technische briefings gehouden waarin de resultaten nader zijn toegelicht aan diverse vertegenwoordigers van de landbouw en aan bestuurders van de waterschappen.

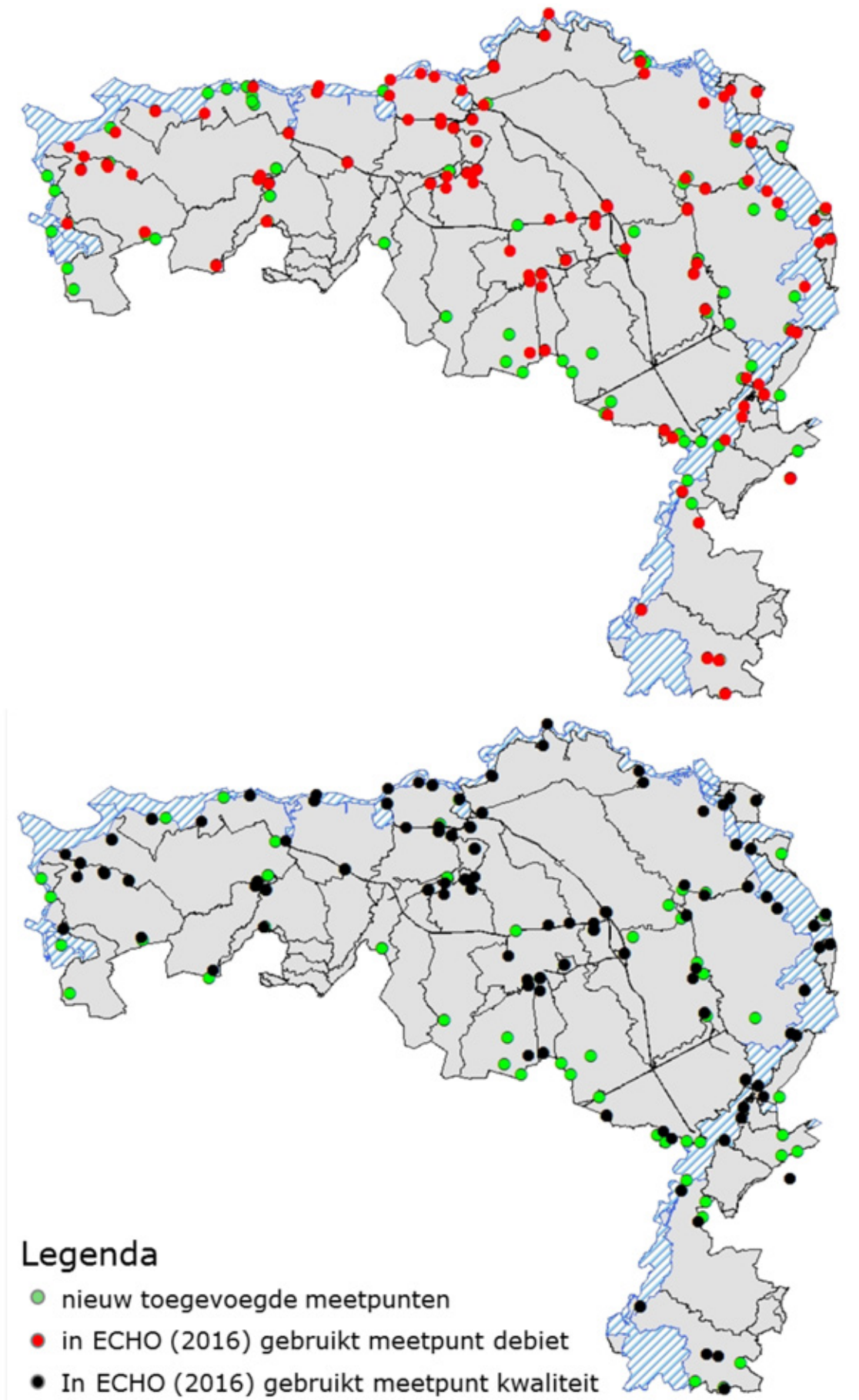
3 Nutriëntenbelasting

3.1 Verfijning landelijke bronnenanalyse (stap 1)

In de landelijke analyse (Groenendijk, 2016) was het stroomgebied ingedeeld in 35 vanggebieden. In samenwerking met de hydrologen van de waterschappen zijn de indeling, watervdeling, waterinlaat en toestroming vanuit het buitenland op onderdelen aangepast en verbeterd met additionele meetpunten. Dit heeft geresulteerd in een indeling in 45 vanggebieden zoals weergegeven in figuur 3.1. In figuur 3.2 zijn de meetpunten weergegeven die voor de debieten en bijbehorende kwaliteit (fosfor- en stikstofconcentraties) zijn gebruikt. Ten opzichte van de landelijke analyse is het aantal meetpunten bijna verdubbeld. Voor 17 vanggebieden zijn de meetreeksen zodanig compleet dat deze konden worden benut voor toetsing van de modelresultaten.



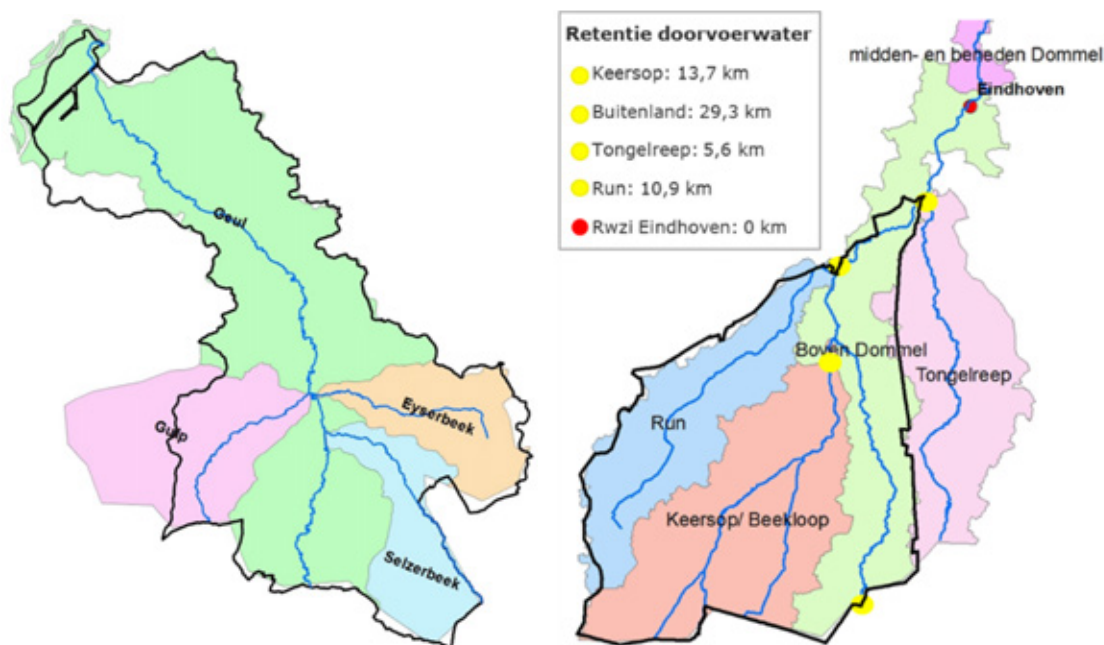
Figuur 3.1 Gebiedsindeling stap 1 in 45 vanggebieden.



Figuur 3.2 Meetpunten die zijn benut voor kwantificering van debieten en bijbehorende waterkwaliteit dat toestroomt vanuit het buitenland, doorgevoerd wordt naar benedenstroomse vanggebieden en waterinlaat. Bovenin de debietmeetpunten, onderin de kwaliteitmeetpunten. De groene meetpunten zijn op basis van de werksessies met de waterschappen nieuw toegevoegd.

3.2 Gebiedsindeling vanggebieden waterlichamen

Op basis van de in stap 1 verkregen inzichten is een gedetailleerdere gebiedsindeling in vanggebieden gemaakt. Voor deze verfijnde indeling en bijhorende routing is uitgegaan van de ligging van de Local Surface Water eenheden van de KRW-verkenner en de onderlinge interactie tussen de vanggebieden zoals die is afgeleid tijdens de regionale verfijning van de KRW-verkenner. Dit heeft geresulteerd in een indeling in 140 vanggebieden. De werkwijze waarop de detaillering is uitgevoerd, wordt in figuur 3.3 geïllustreerd voor de Geul in Zuid-Limburg en voor de bovenloop van de Dommel.



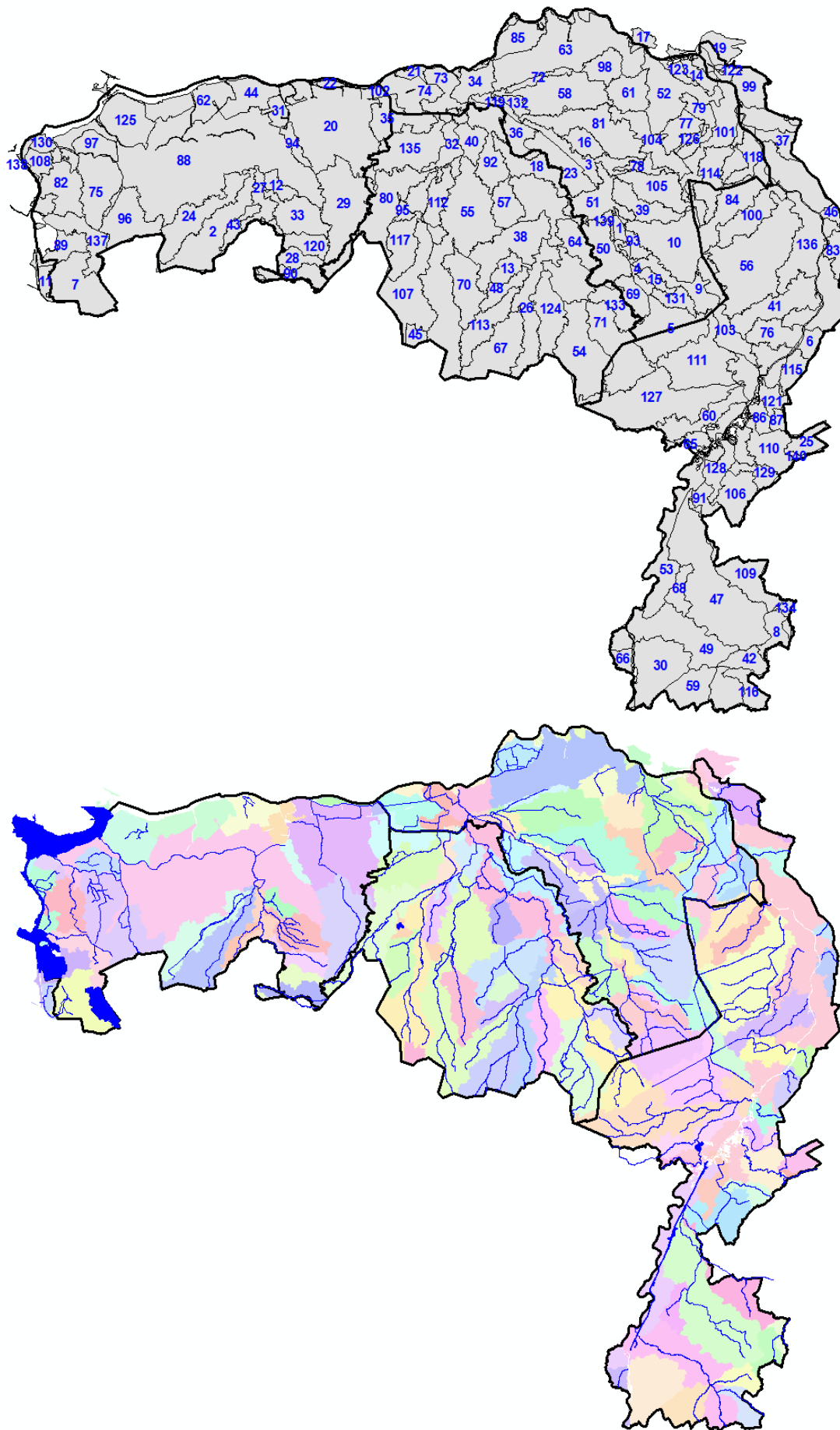
Figuur 3.3 Voorbeelden van de detaillering van stap 1, van 45 naar 140 vanggebieden. De zwarte lijn geeft de grens van het vanggebied aan zoals in stap 1 is aangehouden. In stap 2 is de Geul (links) en de Boven-Dommel (rechts) opgedeeld om de belasting en herkomst te kunnen bepalen voor de zijbeken die als KRW-waterlichamen zijn aangewezen.

In Zuid-Limburg was in stap 1 voor de Geul één vanggebied genomen, terwijl in stap 2 het vanggebied is opgedeeld in vier vanggebieden: de Geul, Eyserbeek, Selzerbeek en Gulp. Voor drie van deze vanggebieden is op basis van de LSW's nagenoeg exact dezelfde buitenste begrenzing aangehouden als in stap 1 met het waterschap was doorgesproken. Voor het vanggebied van de Gulp is de configuratie van de LSW's zodanig dat hier ten opzichte van stap 1 een ruimere begrenzing aangehouden is. Ruimtelijk aansluiten op de LSW's is nodig om een goede koppeling te kunnen houden met de KRW-Verkenner.

De Boven-Dommel is in stap 2 opgedeeld in vier vanggebieden. De buitenste begrenzing van stap 1 kon hier met de configuratie van de LSW's worden aangehouden. Wel moest de retentie worden aangepast van doorvoerwater. De Boven-Dommel ontvangt namelijk water vanuit België en verderop van de Keersop-beekloop, Run en Tongelreep en helemaal benedenstrooms loost RWZI Eindhoven het effluent. De retentie voor het doorgevoerde water is zodanig aangepast dat rekening wordt gehouden met de afstand tussen de uitwisselpunten en het uitstroompunt op de Midden-Dommel.

De indeling en routing is doorgenomen met de hydrologen van de regionale waterbeheerders. Belangrijke verbeterpunten die zij hebben aangedragen, zijn in de schematische verwerkt. De indeling in de 140 vanggebieden is weergegeven in figuur 3.4. Bijlage 3 geeft per waterschap een overzicht van de vanggebieden en daarbij horende kenmerken die een belangrijke invloed hebben op de nutriëntenbalans. De nummering komt overeen met de nummering in figuur 3.4.

Voor vanggebieden van rijkswater en gebieden langs de Maas waar veel rivierwater wordt uitgewisseld, konden geen water- en nutriëntenbalans worden berekend en dus ook geen verdeling van de herkomst. Wel zijn hier de punt- en diffuse bronnen in het modelinstrumentarium meegenomen voor de berekening van de nutriëntenbelasting en afwenteling binnen het stroomgebied.



Figuur 3.4 Gebiedsindeling stap 2. Bovenin de nummers van de 140 vanggebieden zoals opgenomen in de Excelexport, onderin geprojecteerd op de oppervlaktewaterlichamen.

3.3 Nutriëntenbelasting

De per vanggebied berekende belasting en herkomst in de periode 2010 tot en met 2013 zijn opgenomen in een Excel-database voor het jaargemiddelde en zomerhalfjaar-gemiddelde. De bronnen die zijn hierin zijn uitgesplitst, zijn weergegeven in tabel 2.1. Ook zijn hierin de berekende retentie en de uitgaande stikstof en fosforvracht per vanggebied opgenomen en daarmee de totale nutriëntenbalans.

De kenmerkende totalen van de jaargemiddelde belasting (2010 tot en met 2013) zijn op waterschapniveau weergegeven in tabel 3.1 en 3.2. De belangrijkste bronnen zijn uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden, effluenten RWZI's en input vanuit buitenland en rijkswateren. In Limburg is ook een grote industriële lozing op de Grensmaas. Binnen de beheersgebieden van de waterschappen zijn per vanggebied grote verschillen tussen de belasting en herkomst.

Tabel 3.1 Stikstofbelasting van het oppervlaktewater in de vanggebieden van de regionale waterlichamen in de Maasregio; jaargemiddeld 2010-2013 in ton per jaar en procentueel (tussen haakjes).

	Stikstof belasting (ton/jaar en %)							
	Aa en Maas		Brabantse Delta		Dommel		Limburg	
Uit- en afspoeling landbouw	2604	(30%)	2635	(30%)	1801	(25%)	1963	(15%)
Overige landbouwemissies ¹	128	(1%)	137	(2%)	79	(91%)	138	(1%)
Uit- en afspoeling natuur	191	(2%)	207	(2%)	328	(4%)	210	(2%)
RWZI's	952	(11%)	534	(6%)	866	(12%)	1137	(9%)
Overige punt- en diffuse bronnen ²	188	(2%)	195	(2%)	131	(2%)	645	(5%)
Totaal interne bronnen	4063	(46%)	3708	(42%)	3205	(44%)	4092	(31%)
Extern: toestroom buitenland	0	(0%)	1140	(13%)	879	(12%)	4779	(36%)
Extern: inlaat rijkswater	641	(7%)	304	(3%)	0	(0%)	158	(1%)

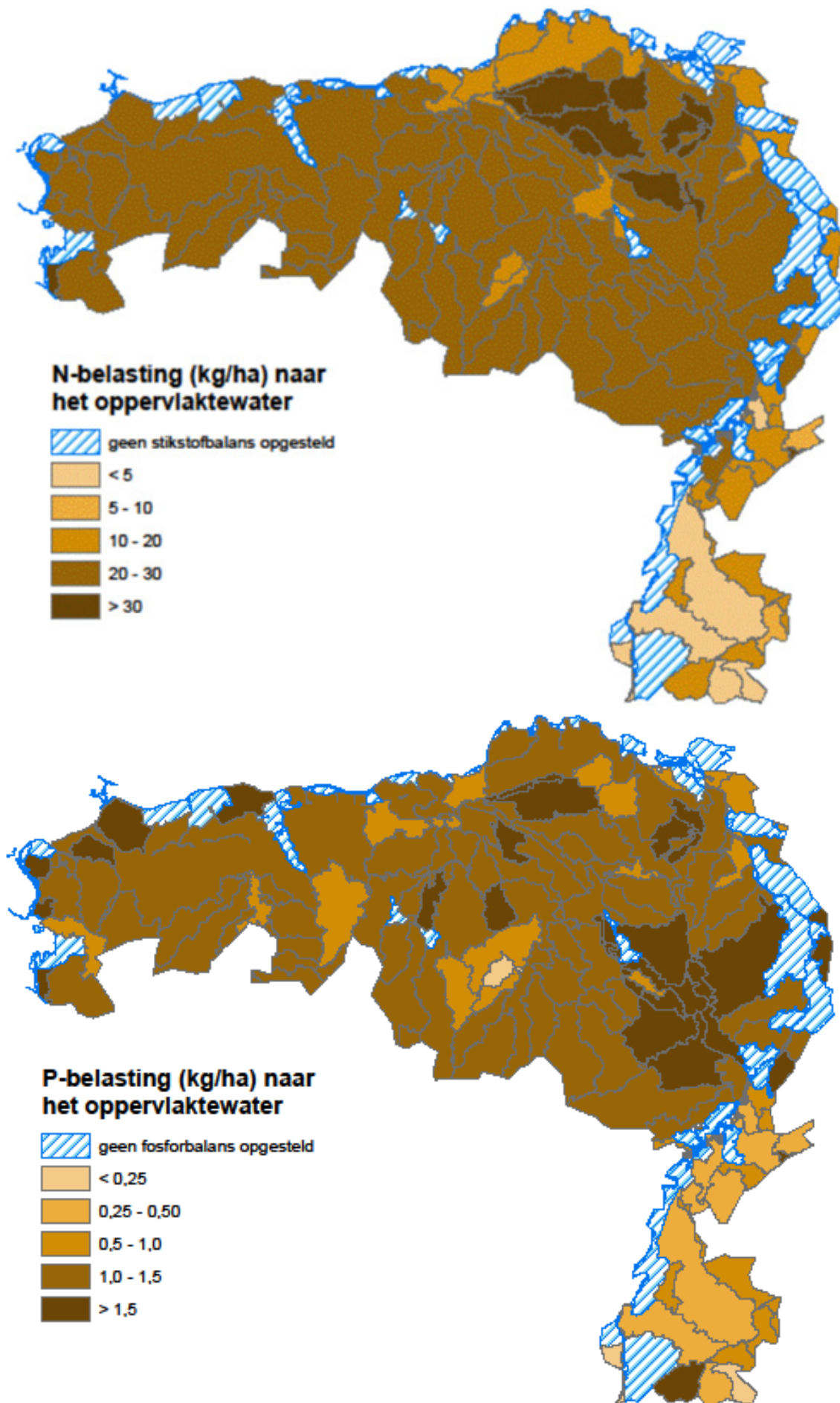
Tabel 3.2 Fosforbelasting van het oppervlaktewater in de vanggebieden van de regionale waterlichamen in de Maasregio; jaargemiddeld 2010-2013.

	Fosfor belasting (ton/jaar en %)							
	Aa en Maas		Brabantse Delta		Dommel		Limburg	
Uit- en afspoeling landbouw	135	(20%)	135	(24%)	87	(19%)	106	(13%)
Overige landbouwemissies ¹	24	(4%)	20	(4%)	15	(3%)	19	(2%)
Uit- en afspoeling natuur	10	(1%)	10	(2%)	16	(4%)	13	(2%)
RWZI's	146	(22%)	79	(14%)	82	(18%)	173	(21%)
Overige punt- en diffuse bronnen ²	8	(1%)	8	(1%)	6	(1%)	17	(2%)
Totaal interne bronnen	323	(48%)	252	(44%)	207	(45%)	327	(39%)
Extern: toestroom buitenland	0	(0%)	57	(10%)	42	(9%)	171	(20%)
Extern: inlaat rijkswater	33	(5%)	8	(1%)	0	(0%)	13	(2%)

¹⁾ Meemesten sloten, erfafspoeling en emissies vanuit glastuinbouw.

²⁾ Industriële lozingen, overstorten, regenwaterriolen, IBA's, huishoudelijk afvalwater recreatie- en scheepsvaart, atmosferische stikstofdepositie direct op open water en andere diffuse bronnen.

De af- en uitspoeling vanuit de landbouwgronden is ruimtelijk weergegeven in figuur 3.5. Hieruit komt naar voren dat er belangrijke verschillen zijn binnen de beheersgebieden. De patronen komen overeen met voorgaande landelijke studies (Groenendijk, 2016; 2017), alleen is nu door de fijnere indeling in 140 vanggebieden en het herschikken van de rekenplots ruimtelijk een scherper beeld ontstaan. Dit komt vooral tot uitdrukking in de bepaling van de herkomst (hoofdstuk 4).



Figuur 3.5 Af- en uitspoeling uit landbouwgronden, jaargemiddeld voor de periode 2010-2013. Links stikstof, rechts fosfor. De belasting is hierbij uitgedrukt in kg/ha landbouwgrond.

3.4 Retentie

Een deel van de nutriëntenbelasting verdwijnt binnen een oppervlaktewaterlichaam of wordt vastgelegd in waterplanten en de waterbodem voordat het water het uitstroompunt van het oppervlaktewater passeert. De berekening van de retentie is conform de werkwijze die is ontwikkeld door Van Gerven (2009). In bijlage 1 is een uitgebreide beschrijving opgenomen van de methodiek om te retentie te kwantificeren. De belangrijkste vier uitgangspunten die in deze methodiek worden gehanteerd zijn:

(1) De retentie van stikstof en fosfor, die vanuit landbouw- en natuurgronden uitspoelen naar het oppervlaktewater, is voor vrij afwaterende gebieden afhankelijk gesteld van de 'specifieke afvoer' (Gerven, 2009). In formule:

$$Q_{\text{specifiek}} = \frac{Q_{\text{afvoerpunt}}}{A_{\text{water}}}$$

Hierin is $Q_{\text{specifiek}}$ de specifieke afvoer ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{ha}^{-1}$), $Q_{\text{afvoerpunt}}$ de afvoer bij uitstroompunt van het stroomgebied ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) en A_{water} het open wateroppervlak in het deelstroomgebied (ha). De retentiefractie (R_f), het deel van de totale nutriëntenbelasting dat in het (deel)stroomgebied wordt vastgelegd, wordt als volgt berekend (zie bijv. Van Gerven et al., 2009; fig. 4-4):

$$R_f = a \cdot Q_{\text{specifiek}}^b$$

Een bekend nadeel van de machtsbenadering is dat de retentiefractie groter dan 1 kan worden bij kleine waarden voor de 'specifieke afvoer'. In deze gevallen is de retentiefractie afgekapt tot 90% van de inkomende vracht, omdat grotere retentiewaarden onrealistisch worden geacht.

(2) De retentie van stikstof in de veen- en kleipolders is afhankelijk van de onderliggende retentieprocessen denitrificatie, netto-opname (zomerhalfjaar) en afgifte (winterhalfjaar) van stikstof door waterplanten. Voor het model is de retentiecapaciteit afgeleid op basis van oppervlak open water en een retentiecapaciteit voor sloten in kleigronden van 11,8 en 5,0 gram N per m^2 slootoppervlak voor respectievelijk het zomerhalfjaar en het winterhalfjaar.

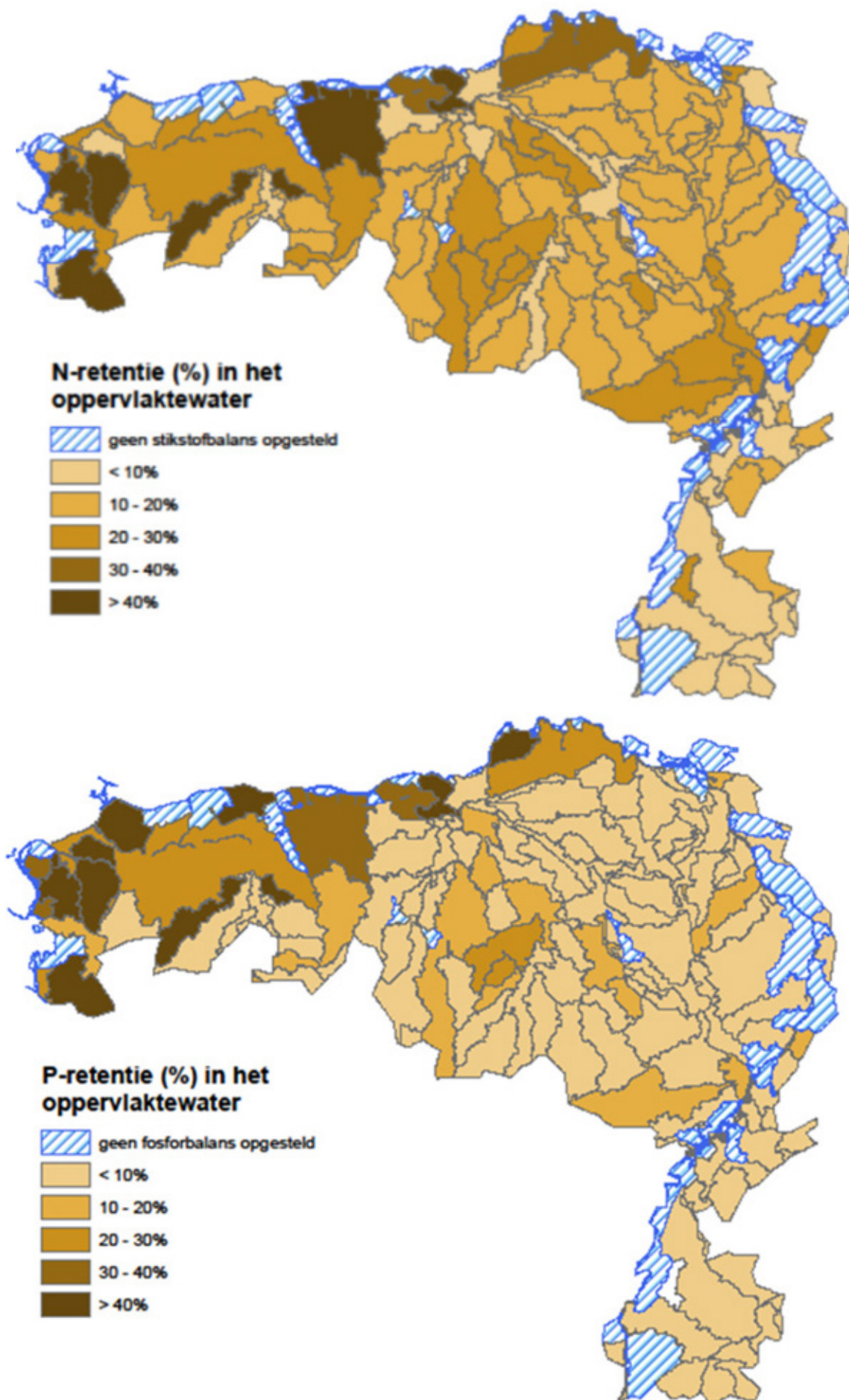
(3) Voor fosforretentie van uit- en afspoeling in poldersystemen is een vast percentage gebruikt van 50 en voor andere (punt)bronnen een vast retentiepercentage van 20. De gedachte daarbij is dat de uitspoeling door diffuse bronnen vooral in de haarvaten (sloten) met relatief grote verblijftijden plaatsvindt. Puntlozingen vinden doorgaans rechtstreeks plaats op de grotere waterlopen en hebben daardoor kleinere verblijftijden.

(4) Retentie van water dat afkomstig is van het buitenland, inlaat en doorvoer van bovenstroomse vanggebieden wordt berekend op basis van de stroomsnelheid en af te leggen afstand van het instroompunt tot het uitstroompunt van het vanggebied. De retentie van RWZI's wordt ook volgens deze systematiek berekend.

De aldus berekende jaargemiddelde retentie is weergegeven in figuur 3.6. Voor het merendeel van de vrij afwaterende gebieden is een retentie voor stikstof berekend van 10 à 20%. In Zuid-Limburg wordt een lagere stikstofretentie berekend. Voor fosfor is de berekende retentie in de vrij afwaterende gebieden meestal kleiner dan 10%. In de vanggebieden met poldersystemen is een stikstof- en fosforretentie van 40 à 50 % berekend.

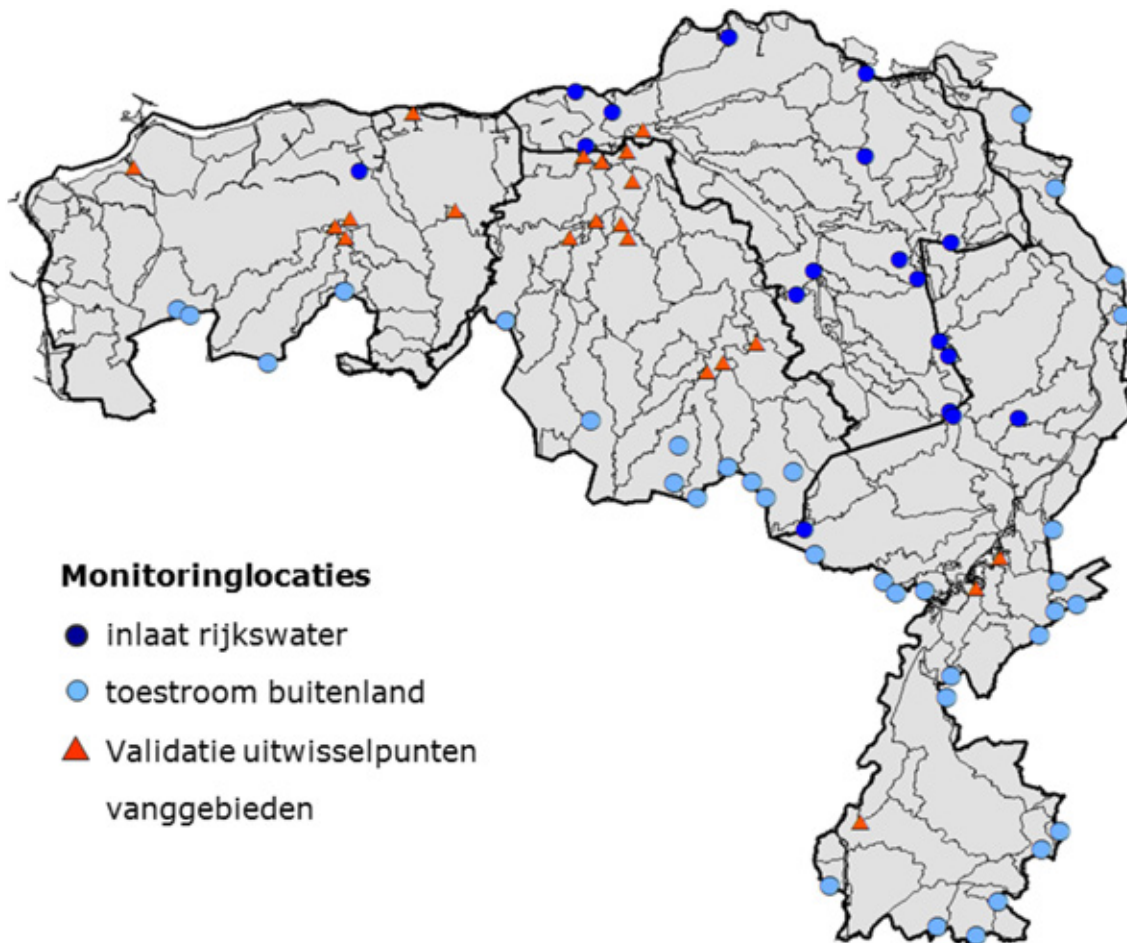
3.5 Validatie

Ten behoeve van de validatie zijn in samenwerking met de hydrologen van de waterschappen monitoringslocaties geselecteerd waar debieten en concentraties van stikstof en fosfor worden gemeten. In figuur 3.7 zijn de monitoringspunten aangegeven die benut zijn voor de belasting vanuit het buitenland en inlaat van rijkswateren. De monitoringsgegevens zijn belangrijk voor de plausibiliteitsbeoordeling van de berekende belasting en herkomst. De toestroom uit het buitenland en de inlaat vanuit het Peelkanaal en andere rijkswateren zijn een belangrijke post in de water- en nutriëntenbalansen.



Figuur 3.6 Jaargemiddelde (2010-2013) retentie van stikstof (boven) en fosfor (onder).

Voor de validatie van de debieten en stofvrachten zijn 17 uitwisselpunten geselecteerd (waar het ene vanggebied afwentelt op een benedenstrooms vanggebied) waar voldoende monitoringsgegevens voorhanden zijn om debieten en bijhorende stofvrachten af te leiden en daarmee het modelinstrumentarium te valideren. Deze locaties zijn in figuur 3.7 aangeduid als validatie uitwisselpunten vanggebieden.



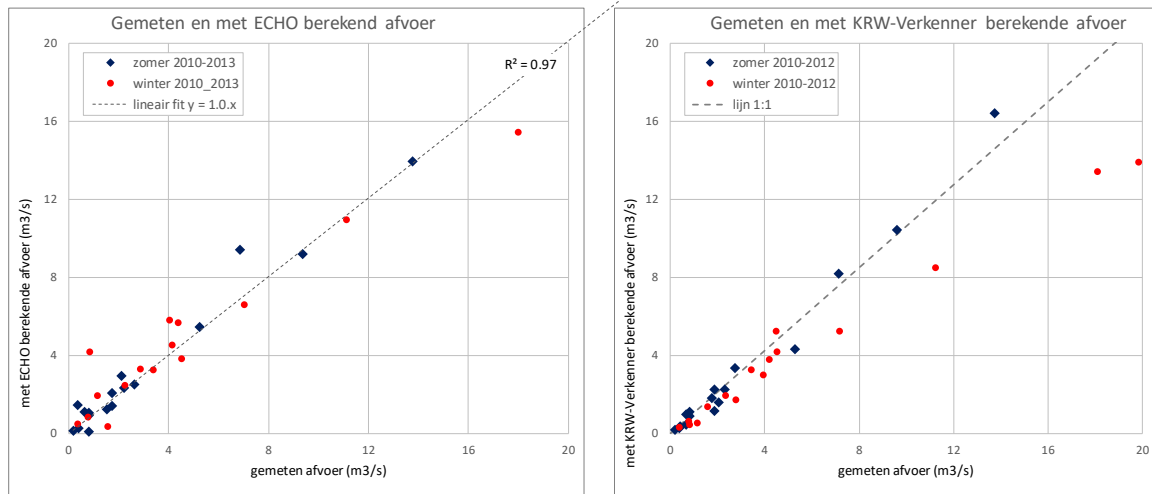
Figuur 3.7 Monitoringslocaties oppervlaktewater die gebruikt zijn voor kwantificering van de belasting vanuit het buitenland, inlaat Peelkanaal en andere rijkswateren en validatie berekende debieten en nutriëntenbelasting op uitwisselpunten van vanggebieden.

Validatie hydrologie

Als eerste indicatie voor de plausibiliteit zijn de met ECHO en KRW-Verkenner berekende uitgaande debieten op jaarbasis vergeleken met de uit metingen afgeleide uitgaande debieten. In figuur 3.8 zijn de debieten op jaarbasis en voor het zomer- en winterhalfjaar met elkaar vergeleken. Hierbij zijn ook de debieten vergeleken die met de KRW-Verkenner worden berekend.

De debieten die met de KRW-verkenner worden berekend, zijn wat betreft de grote debieten structureel wat lager dan de metingen. Dit heeft te maken met de drainagefluxen vanuit het grondwater die de KRW-Verkenner ontleent aan het LHM. Omdat het LHM in het oostelijk en zuidelijk zandgebied structureel te diepe grondwaterstanden berekent, worden de drainagefluxen onderschat. KRW-ECHO rekent voor de drainagefluxen met de STONE-hydrologie, waar dit probleem zich niet voordoet. De gemiddelde afwijking tussen de gemeten en met ECHO berekende debieten is 6% en de gemiddeld absolute afwijking 13%. Bij de interpretatie moet rekening worden gehouden dat met KRW-ECHO enkele waterbalanst termen niet worden meegenomen, namelijk de directe neerslag en verdamping op open water, rioolwater dat buiten de RWZI's op het oppervlaktewater wordt geloosd en af- en uitspoeling (drainage) in stedelijk gebied. In gebieden met een groot areaal stedelijk gebied wordt daardoor in de winter (netto neerslagoverschot) een te laag debiet berekend. In figuur 3.10 komt dit niet tot uitdrukking, omdat het areaal open water en areaal stedelijk gebied gering is ten opzichte van het areaal landelijk gebied waarvoor de drainage en

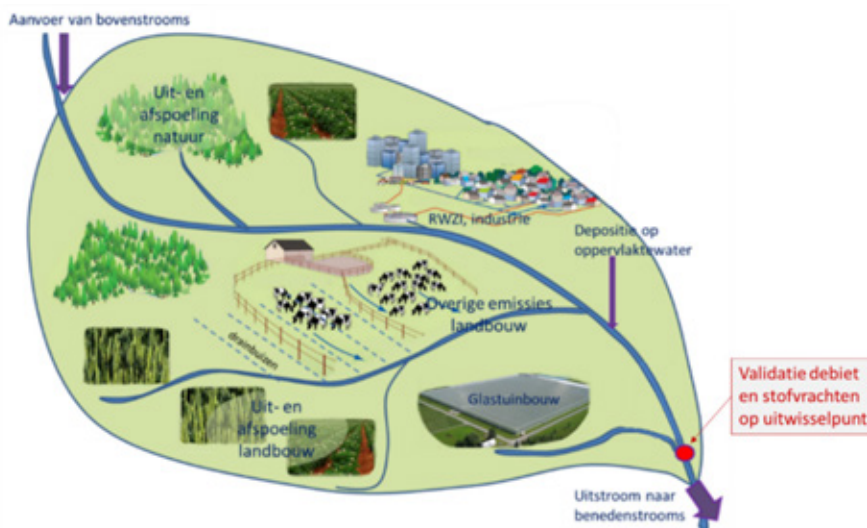
kwel wel is berekend. Verder moet bij de interpretatie rekening worden gehouden dat de meetreeksen voor de debieten vaak incompleet zijn en dat het afleiden van debieten gepaard gaat met onzekerheden (Mulder et al., 2011). Dat geldt ook voor de hier beschikbare debietmeetreeksen. Met deze wetenschap kan uit de vergelijking geconcludeerd worden dat qua orde van grootte en het verloop per seizoen de berekende debieten vrij goed aansluiten bij de uit metingen afgeleide debieten. De validatie op de debieten geeft vertrouwen in de hydrologische component van het model.



Figuur 3.8 Validatie berekende en gemeten debieten per seizoen en op jaarbasis. In de figuren zijn de met KRW-ECHO en KRW-Verkenner (WFDE) uitgaande debieten opgenomen.

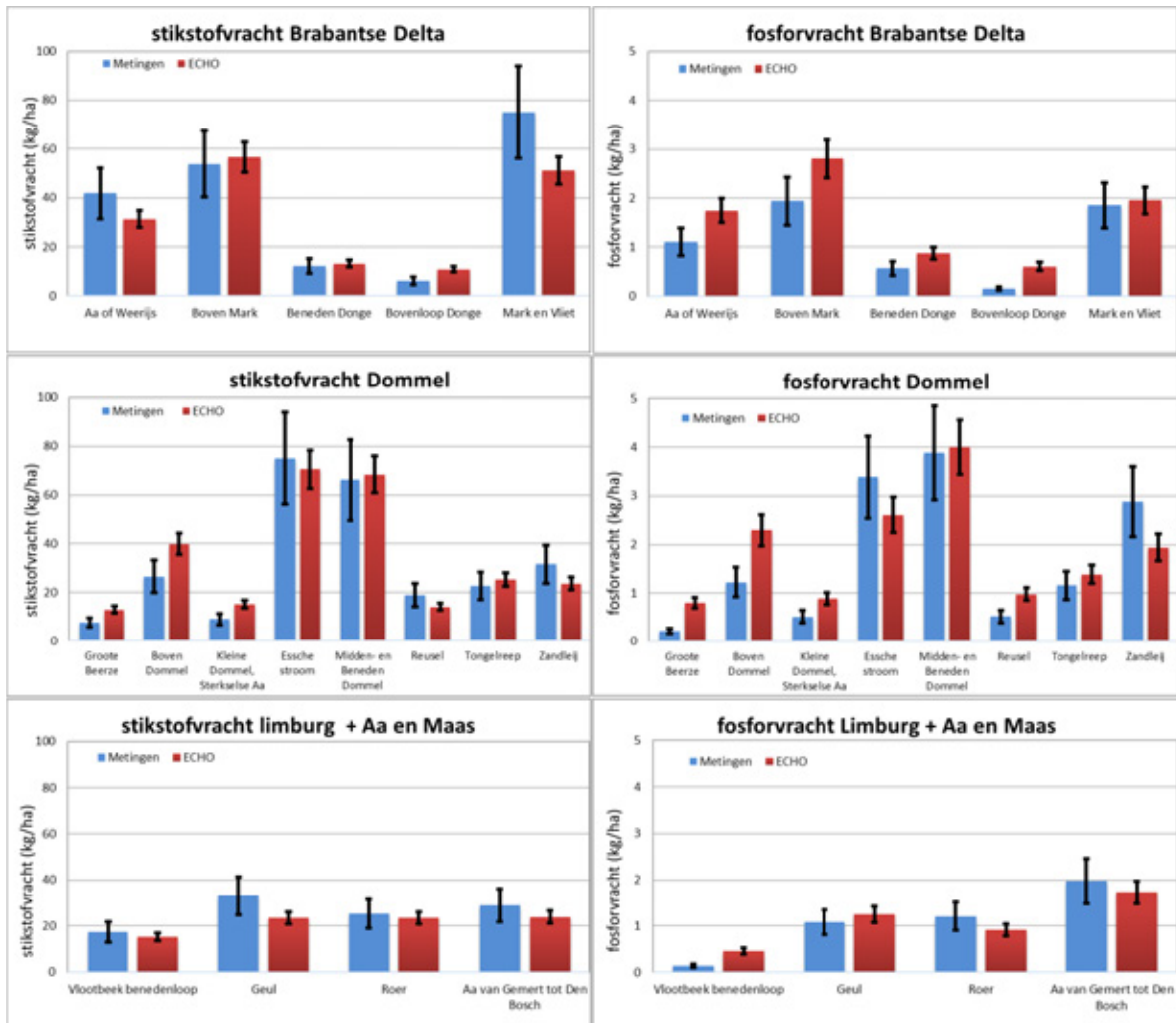
Validatie stikstof- en fosforbelansen

Zowel in stap 1 als in stap 2 zijn op de 17 uitwisselpunten de berekende uitgaande stikstof- en fosforvrachten vergeleken met de uit metingen afgeleide vrachten. Voor die vanggebieden wordt de met KRW-ECHO berekende belasting van de bovenstroomse aanvoer, inlaat en alle punt- en diffuse bronnen in het vanggebied tezamen verminderd met de berekende bronspecifieke retentie. Deze nettobelasting wordt dan vergeleken met de stofvrachten zoals die op het benedenstroomse meetpunt kan worden afgeleid op basis van de gemeten kwaliteit op dat meetpunt en de gemeten debieten (uitstroom naar benedenstrooms). Deze validatie is schematisch weergegeven in figuur 3.9. Veelal is het benedenstroomse meetpunt waarop de belasting is gevalideerd, ook de meetlocatie die voor de KRW-beoordeling wordt gebruikt.

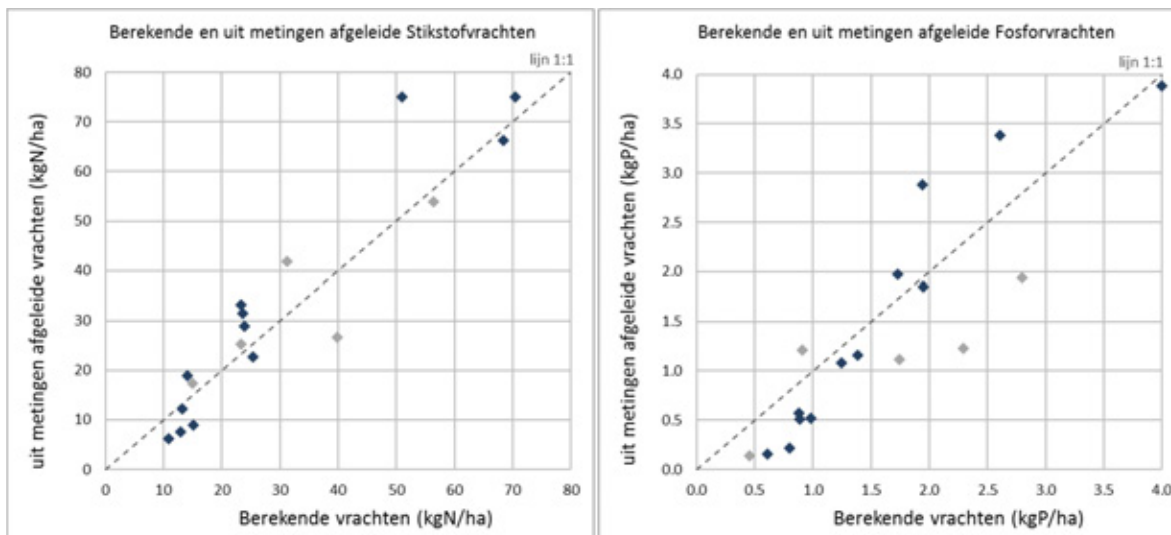


Figuur 3.9 Schematische weergave modelvalidatie. De uitstroom van stikstof en fosfor wordt met ECHO berekend als de som van de aanvoer en interne punt- en diffuse bronnen minus de retentie (naar Groenendijk, 2016).

De vergelijking van de berekende nutriëntenvrachten met de uit metingen afgeleide vrachten wordt weergegeven in figuur 3.10. In de figuur zijn onzekerheidsmarges van 25% aangegeven op basis van voorgaande studies. Uit onderzoek van Rozemeijer (2015) komt naar voren dat als jaarlijkse stofvrachten worden afgeleid uit maandelijkse metingen, deze ten opzichte van tweewekelijkse metingen voor N-totaal een afwijking hebben van -36% tot +19,2% en voor P-totaal een afwijking van -24% tot +11,9%. Omdat op de validatiepunten vaak minder dan 12 metingen per jaar beschikbaar waren, zal de onzekerheidsmarge voor de uit metingen afgeleiden vrachten groter zijn. Uit onderzoek van Van Boekel (2011) volgt voor de berekende netto uitgaande belasting een onzekerheidsmarge van 25% voor stikstof en fosfor als resultante van alle bronnen met ieder een eigen onzekerheidsmarge.



Figuur 3.10 Vergelijking berekende en uit metingen afgeleide stikstof- en fosforvrachten op uitwisselpunten van 17 vanggebieden. De zwarte balken geven de onzekerheidsmarges aan.



Figuur 3.11 Vergelijking berekende en uit metingen afgeleide stikstofvrachten (links) en fosforvrachten (rechts) op 17 validatiepunten. De validatiepunten waar meer dan de helft van de berekende belasting is afgeleid uit metingen, zijn lichter weergegeven.

In figuur 3.11 zijn voor dezelfde validatiepunten de berekende en uit metingen afgeleide vrachten tegen elkaar uitgezet. Voor een vijftal vanggebieden geldt dat de aanvoer van bovenstreams ook uit metingen is afgeleid en deze aanvoer meer dan de helft van de totaal berekende belasting is. Omdat de validatie in die vanggebieden minder betekenis heeft voor de betrouwbaarheid van de berekende punt- en diffuse bronnen, zijn deze in figuur 3.11 lichtgrijs weergegeven.

In de voor validatie beschouwde vanggebieden is een netto stikstofbelasting berekend van gemiddeld 30 kgN/ha en een netto fosforbelasting van gemiddeld 1.6 kgP/ha. De validatie laat zien dat de berekende nettobelastingen (benedenstreams uitgaande vrachten) redelijk goed overeenkomen met hetgeen uit de monitoringsgegevens is afgeleid. De gemiddelde afwijking is voor stikstof 2 kgN/ en voor fosfor 0,2 kgP/ha. De gemiddeld absolute afwijking is voor stikstof 6 kgN/ha en voor fosfor 0,5 kgP/ha. Dezelfde validatie is op dezelfde validatiepunten ook uitgevoerd in stap 1 en dus op het niveau van een indeling in 45 deelstroomgebieden. Dit gaf vrijwel exact hetzelfde beeld. Met de opsplitsing in meerdere vanggebieden en aangepaste routing, zijn dus nagenoeg dezelfde uitgaande vrachten op de voor validatie gekozen uitwisselpunten berekend. Dit is ook de consistentie die bij het opsplitsen van de gebieden voor de simulatie wordt nagestreefd.

In samenhang beschouwd, kan geconcludeerd worden dat de validatie van de debieten, de netto uitgaande stofvrachten en de controles door de experts van de waterschappen op de Excel-database vertrouwen geeft in de berekende nutriëntenbelasting en retentie en daarmee een goede basis is voor het afleiden van de herkomst.

4 Doelgat stikstof en fosfor

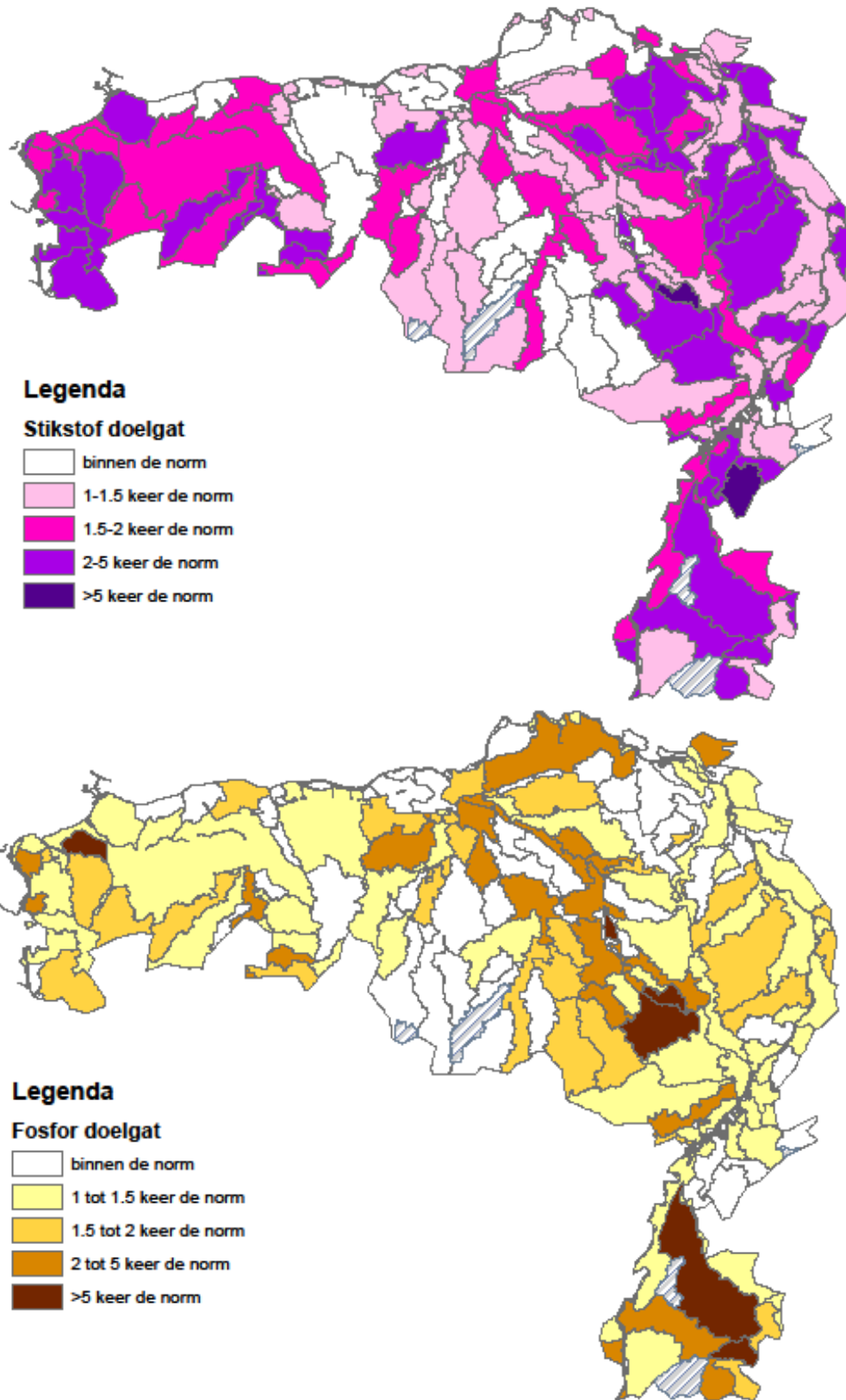
De regionale waterbeheerders meten en analyseren op basis van ecologische sleutelfactoren voor de oppervlaktewaterlichamen in hoeverre de ecologie aan de KRW-doelen voldoet en zo niet, waar dit dan aan ligt. In veel waterlichamen vormt de nutriëntenbelasting een dominante belemmering voor de ecologische doelen, voor vrij afwaterende gebieden vooral de belasting in het zomerhalfjaar. Om de doelen te bereiken, zijn er opgaven om de nutriëntenbelasting te verminderen. Deze opgave kan voor ieder vanggebied worden bepaald op basis van het doelgat en de nutriëntenbelasting (Groenendijk, 2016).

Voor de Maasregio zijn, aansluitend op de bronnenanalyse, het doelgat en de reductieopgave bepaald op het niveau van de vanggebieden. Het doelgat is gedefinieerd als het verschil tussen de KRW-doelen voor nutriënten en de zomergemiddelde concentraties in het waterlichaam. Hiervoor zijn de meetlocaties gebruikt die de waterschappen ook gebruiken voor de beoordeling van de KRW-lichamen. Dit zijn idealiter KRW-metpunten die benedenstrooms in het waterlichaam liggen. In vanggebieden waar benedenstrooms een geschikt KRW-metpunt ontbreekt, is uitgeweken naar een KRW-metpunt dat het representatiefst is voor de bepaling van het doelgat.

De toestand en het doelgat voor de waterlichamen zijn ontleend aan KRW-NUTrend (<http://krw-nutrend.nl/>). Uitgegaan is van de zomergemiddeldes in de periode 2015-2017 en de KRW-doelen voor nutriënten die in de stroomgebiedbeheerplannen van 2015 (SGBP2015) zijn gehanteerd. Voor nadere informatie wordt verwezen naar de notitie "Toedelen KRW-opgave nutriënten stroomgebied Maas aan broneigenaren" (Schipper en Rozemeijer, december 2018).

De berekende overschrijdingen van de KRW-doelen voor zomergemiddelde concentraties voor stikstof en fosfor zijn weergegeven in figuur 4.1. Uit de figuur komt naar voren dat het merendeel van de waterlichamen een duidelijke opgave heeft. Voor stikstof is in 108 vanggebieden sprake van een doelgat en voor fosfor in 87 vanggebieden. Als de gearceerde vanggebieden (waar met de rekenmethodiek geen water- en stoffenbalans voor is berekend) buiten beschouwing worden gelaten, resteren er voor stikstof 95 vanggebieden met een doelgat en voor fosfor 79.

In ongeveer een derde van de waterlichamen is de zomergemiddelde concentratie meer dan twee- tot vijfmaal zo hoog als het KRW-doel. Voor de reductieopgave betekent dit in principe dat daar de nutriëntenbelasting met meer dan de helft verminderd moet worden om aan de ecologische doelen voor de KRW te kunnen voldoen.



Figuur 4.1 Doelgat stikstof en fosfor: overschrijding KRW-doelen zomergemiddelde gehalten 2015-2017.

5 Herkomstanalyse stikstof en fosfor

5.1 Herkomstverdeling naar beïnvloedbaarheid

De bronnen van de nutriëntenbelasting zijn zodanig gekwantificeerd en uitgesplitst dat deze te verbinden zijn aan sectoren en partijen (landbouw, waterschap, gemeenten, Rijkswaterstaat en buurlanden) die deze beïnvloeden. Als basis hiervoor is uitgegaan van de verdeling die is gemaakt in een notitie die is opgesteld voor de Nutriëntenwerkgroep Rijn-West (Schipper, 2012). Hierin zijn de nutriëntenbronnen ingedeeld naar beïnvloedbaarheid (direct of op korte/lange termijn) en niet of moeilijk beïnvloedbaar.

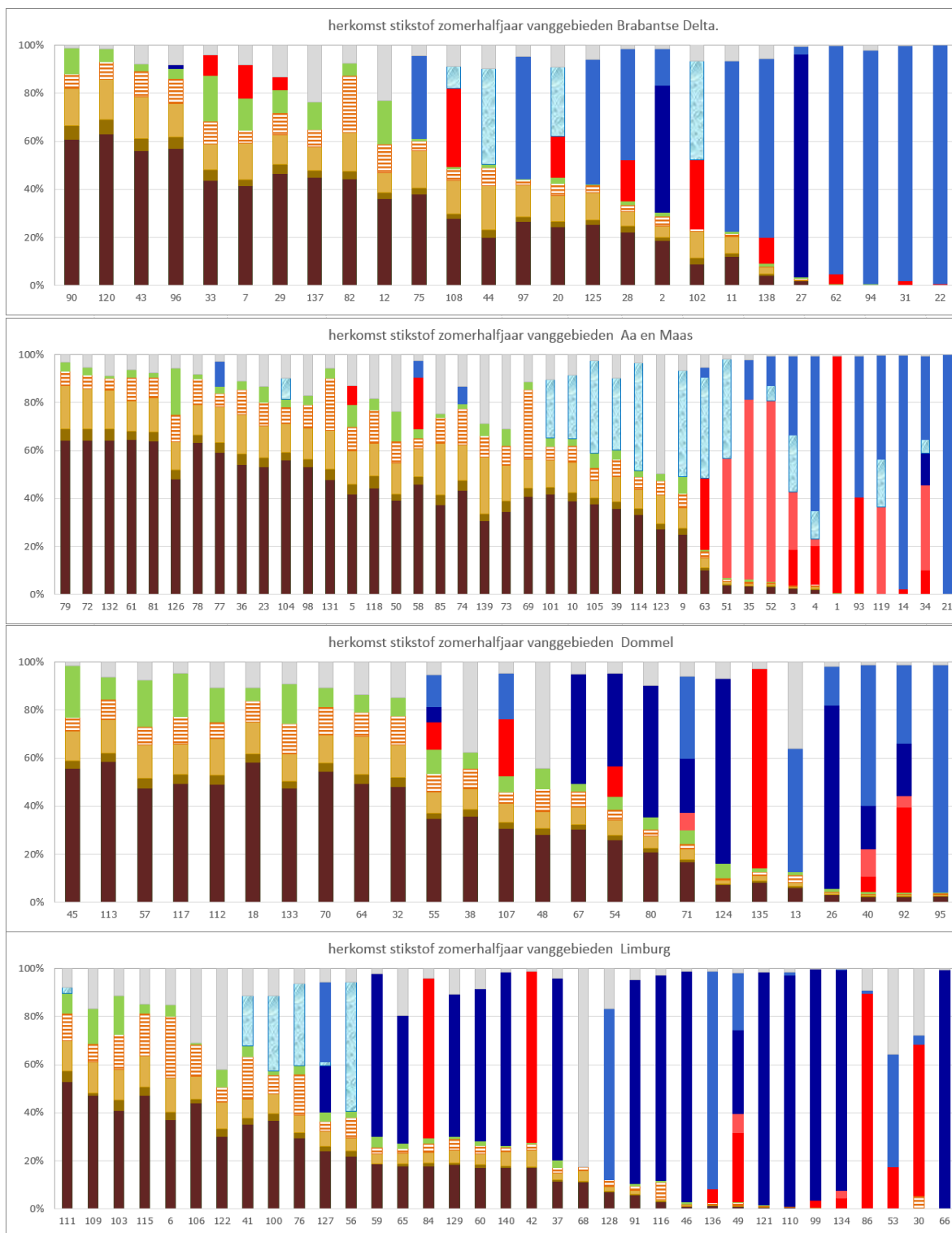
Voor de herkomstverdeling zijn de uit- en afspoeling opgesplitst in het deel dat veroorzaakt wordt door bemesting (actueel en historisch), stikstofdepositie, kwel, nalevering bodem en uitspoeling van eerder geïnfiltreerd oppervlaktewater. Hierbij is dezelfde methode toegepast als in de studie van Groenendijk (2016). De inlaat van rijkswater en afwenteling van nutriënten op benedenstroomse vanggebieden zijn gelabeld voor het aandeel dat RWZI's, buitenlandwater, rijkswater en bovenstrooms af- en uitspoeling hierin hebben. Hierbij is rekening gehouden met de bron specifieke retentie.

Omdat de waterkwaliteitsdoelen voor nutriënten zijn afgeleid voor het zomerhalfjaar, zijn de belasting en herkomstverdeling uitgesplitst voor het zomer- en winterhalfjaar. Voor deze uitsplitsing zijn de af- en uitspoeling, doorvoer van water en waterinlaat per seizoen berekend. De andere bronnen zijn ontleend aan ER en zijn daarin alleen op jaarbasis opgenomen. Voor het zomerhalfjaar is voor die bronnen de helft van de jaarvrucht genomen.

Binnen ieder beheersgebied van de waterschappen zijn er per vanggebied grote verschillen tussen de belasting en herkomst. Dit komt goed tot uitdrukking in de figuren 5.1 (stikstof) en 5.2 (fosfor) waar voor de vanggebieden de herkomst in het zomerhalfjaar procentueel is weergegeven. In deze figuren zijn voor het overzicht de vanggebieden geordend naar het aandeel van de totale uit- en afspoeling en zijn enkele bronnen samengevoegd. De termen die zijn opgenomen in de legenda van figuur 5.1 en 5.2 worden toegelicht in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Toelichting brontermen herkomst die in figuur 5.1 en 5.2 worden onderscheiden.

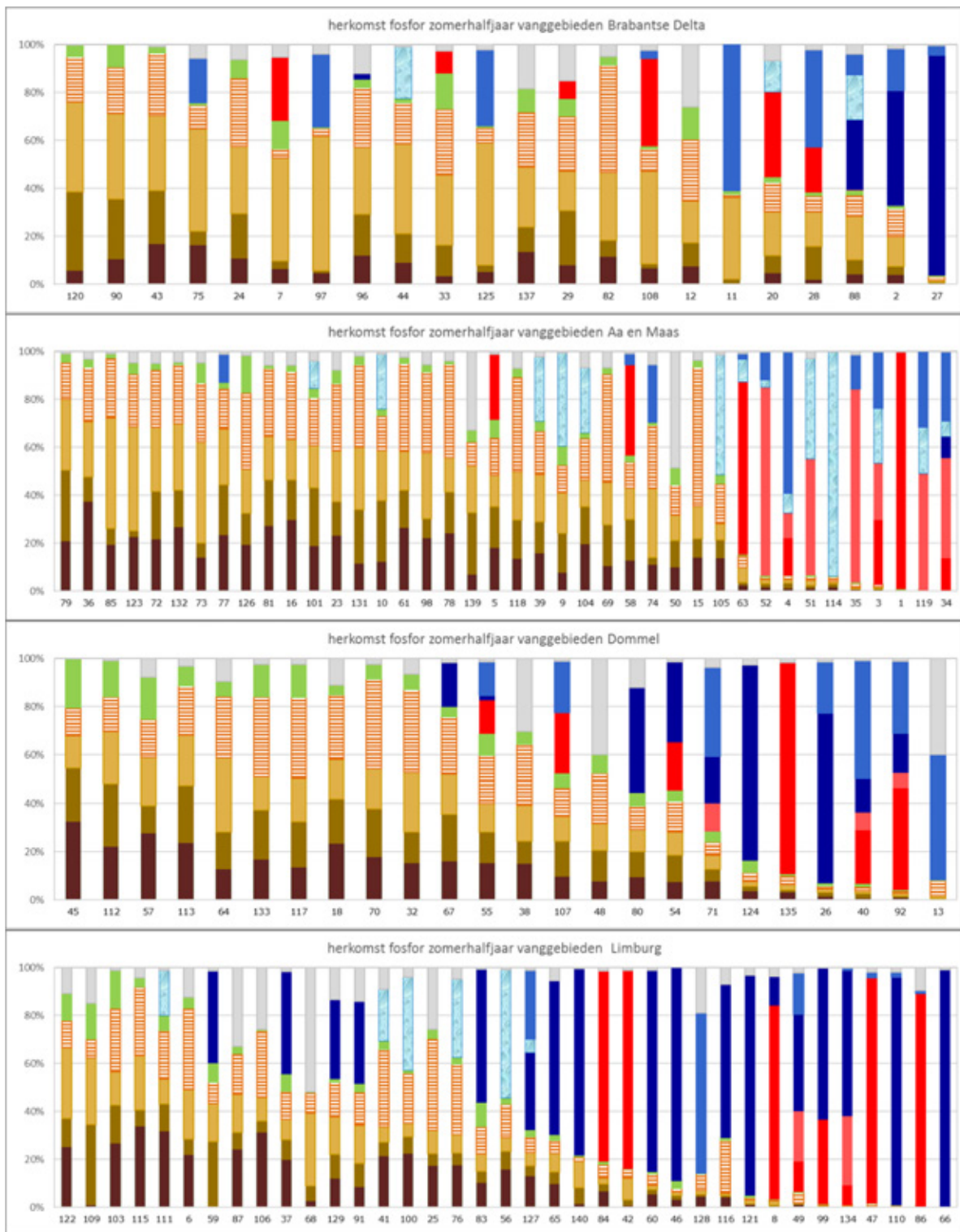
Brontermen herkomst	toelichting
Actuele bemesting	
Historische bemesting	
Overige uitspoelingstermen landbouw	Uit- en afspoeling landbouwgronden
Uitspoeling natuur	
Landbouw overig	Erfafspoeling, meesten sloten en glastuinbouw
RWZI	Effluentlozingen RWZI's
Afwenteling RWZI's bovenstrooms	
Buitenland	Toestroming bovenstrooms vanggebied, gelabeld naar herkomst: buitenland, RWZI's, rijkswater en overig (uit- en afspoeling en de andere
Inlaat en doorvoer rijkswater	punt- en diffuse bronnen)
Afwenteling bovenstrooms overig	
Overige bronnen	IBA's, huishoudelijke lozingen (recreatie- en binnenvaart), verkeer en andere voor nutriënten geringe bronnen



Legenda

- actuele bemesting
- historisch bemesting
- overige uitspoeling landbouw
- landbouw overig
- uitspoeling natuur
- afwenteling RWZI's bovenstrooms
- buitenland
- inlaat en doorvoer rijkswater
- afwenteling bovenstrooms overig
- overige bronnen

Figuur 5.1 Herkomstverdeling stikstof per vanggebied zomerhalfjaar 2010 t/m 2013.



Legenda

- actuele bemesting
- historisch bemesting
- overige uitspoeling landbouw
- landbouw overig
- uitspoeling natuur
- rwzi
- afwenteling RWZI's bovenstrooms
- buitenland
- inlaat en doorvoer rijkswater
- afwenteling bovenstrooms overig
- overige bronnen

Figuur 5.2 Herkomstverdeling fosfor per vanggebied zomerhalfjaar 2010 t/m 2013.

De verschillen in herkomst zijn groot: enerzijds door de regionale verschillen tussen de af- en uitspoeling en het aandeel van bemesting hierin, anderzijds door de lozingslocaties van RWZI's en de toestroom vanuit het buitenland, inlaat rijkswater en doorvoer van bovenstrooms gelegen waterlichamen (afwenteling), hetgeen sterk verschilt per gebied.

Actuele bemesting vormt in veel vanggebieden een belangrijke bijdrage. Voor fosfor is volgens verwachting de bijdrage van historische bemesting relatief groot. Verder valt het op dat het aandeel van 'landbouw overig' voor fosforvanggebieden vrij groot is (gemiddeld 8%). Dit komt voor een belangrijk deel door erfafspoeling, waarbij bedacht moet worden dat de emissies hiervan naar water in ER hoog zijn ingeschat en momenteel onderzoek plaatsvindt om meer betrouwbare waarden voor erfafspoeling te bepalen.

De uitsplitsing van de bronnen naar herkomst is voor het zomerhalfjaargemiddelde in de referentieperiode (2010-2013) op waterschapniveau weergegeven in tabel 5.1 (stikstof) en 5.2 (fosfor). Deze tabellen zijn analoog opgezet als tabel 3.1 en 3.2, alleen zijn nu de brontermen uit- en afspoeling en afwenteling opgesplitst.

Tabel 5.1 Overzicht belasting en herkomst van stikstof in de Maasregio zomerhalfjaar 2010-2013.

	Stikstof (ton zomerhalfjaar)			
	Aa en maas	Brabantse Delta	Dommel	Limburg
Uit- en afspoeling landbouw	450	486	286	250
<i>Actuele bemesting</i>	330	325	216	187
<i>Historische mestgiften</i>	25	28	15	14
<i>kwel, N-depositie, nalevering bodem</i>	95	133	54	49
Overige landbouwemissies ¹	64	69	39	69
Uit- en afspoeling natuur	33	37	52	29
RWZI's	477	268	434	570
Overige punt- en diffuse bronnen ²	94	98	66	323
Totaal interne bronnen	1118	956	877	1240
Extern: toestroom buitenland	0	202	258	1784
Extern: inlaat rijkswater	249	290	0	83

Tabel 5.2 Overzicht belasting en herkomst van fosfor in de Maasregio zomerhalfjaar 2010-2013.

	Fosfor (ton zomerhalfjaar)			
	Aa en maas	Brabantse Delta	Dommel	Limburg
Uit- en afspoeling landbouw	31	31	18	17
<i>Actuele bemesting</i>	10	5	6	8
<i>Historische mestgiften</i>	9	6	6	4
<i>kwel, N-depositie, nalevering bodem</i>	12	20	6	5
Overige landbouwemissies ¹	12	10	8	9
Uit- en afspoeling natuur	2	2	3	2
RWZI's	73	40	41	87
Overige punt- en diffuse bronnen ²	4	4	3	9
Totaal interne bronnen	122	86	73	124
Extern: toestroom buitenland	0	11	14	71
Extern: inlaat rijkswater	29	8	0	7

¹) Meemesten sloten, erfafspoeling en emissies vanuit glastuinbouw.

²) Industrie, overstorten, regenwaterriolen, IBA's, ongerioleerd huishoudelijk afvalwater e.a.

RWZI's vormen op het niveau van de beheersgebieden een belangrijk aandeel in de nutriëntenbelasting tijdens het zomerhalfjaar. De uit- en afspoeling zijn in de zomerperiode beduidend lager dan in de winterperiode, terwijl de belasting van RWZI's weinig door het jaar varieert. Daardoor is het aandeel van RWZI's in het zomerhalfjaar groter dan jaargemiddeld. Dit geldt ook, zij het in mindere mate, voor de inlaat van rijkswater.

Per bron zijn kaarten gemaakt met de mate van bijdrage aan de aanwezigheid van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater (140 vanggebieden). Deze kaarten en een toelichting op die kaartbeelden zijn opgenomen in bijlage 4. Deze kaarten zijn ook opgenomen in de Gebiedsatlas die voor de pilot nutriëntenaanpak Maas is opgezet. De kaarten hebben betrekking op de bijdrage die is berekend voor de periode 2010-2013 (jaargemiddeld) alsmede het zomerhalfjaar-gemiddelde over die periode.

In het vorige hoofdstuk bleek dat er in het merendeel van de vanggebieden sprake is van een doelgat voor nutriënten. Voor die vanggebieden is er derhalve een reductieopgave van de nutriëntenbelasting om de KRW-doelen te bereiken. In 95 vanggebieden waarvoor de nutriëntenbalans is berekend, is sprake van een doelgat. In 47 van deze gebieden is de bijdrage van de uit- en afspoeling aan de totale stikstofbelasting op jaarbasis groter dan 50% en in 17 gebieden met een doelgat voor stikstof is de bijdrage van RWZI's op jaarbasis groter dan 50%. Voor fosfor is in 79 vanggebieden waarvoor de nutriëntenbalans is berekend sprake van een doelgat. In 31 van deze vanggebieden is de bijdrage van de uit- en afspoeling aan de totale fosforbelasting op jaarbasis groter dan 50% en in 8 van de vanggebieden met een doelgat voor fosfor is de bijdrage van RWZI's op jaarbasis groter dan 50%.

In bijlage 5 zijn dezelfde grafieken opgenomen als in figuur 5.1 en 5.2, maar dan alleen voor die vanggebieden waar de nutriëntenbalans is berekend én sprake is van een doelgat. In dit overzicht kan men goed overzien wat de belangrijke bronnen zijn voor de waterlichamen waar de KRW-doelen voor nutriënten in het zomerhalfjaar van de afgelopen jaren (2015-2017) worden overschreden.

6 Discussie

6.1 Schaalniveau en validatie

Omdat de KRW-opgave wordt beoordeeld op het niveau van oppervlaktewaterlichamen, is het ruimtelijke detailniveau van het modelinstrumentarium toegespitst op de vanggebieden van de regionale waterlichamen. Op dit detailniveau zijn de grenzen van de vanggebieden niet overal duidelijk. Ook zijn de locaties van de KRW-meetpunten niet altijd logisch, gelet op de benedenstroomse uitwisselpunten met andere waterlichamen en de lozingslocaties van RWZI's. Op dit detailniveau zijn de waterstromen en de bijbehorende concentraties op de uitwisselpunten vaak niet bekend. Om balansen op te kunnen stellen, zijn naast meetgegevens ook vaak schattingen van hoeveelheden debieten van inlaatwater nodig. Ondanks de inbreng van gebieds- en systeemkennis van de hydrologen van de waterschappen en bundeling van monitoringsgegevens, zijn de gedane aannames voor de begrenzing van de vanggebieden en vrachten door afwenteling in diverse gebieden onzeker. Daarom is aandacht besteed aan een transparante documentatie van gedane aannames. Voor ieder waterschap is een werkdocument opgesteld waarin de gebiedsindeling, routing, gebruikte meetlocaties en aannames voor inlaatdebieten zijn beschreven.

De rekenmethodiek is getoetst op basis van debietmetingen en uit metingen afgeleide vrachten op 17 uitwisselpunten. Deze toetsing levert weliswaar bevredigende resultaten, maar hierbij moet worden opgemerkt dat het aantal meetpunten waar deze toetsing uitgevoerd kon worden, beperkt is, namelijk slechts 17 gebieden, terwijl de balansen zijn opgezet voor in totaal 140 vanggebieden. En voor enkele van die 17 meetlocaties zijn over de periode waarop de balans is berekend (2010 t/m 2013) weinig meetgegevens verzameld (minder dan eenmaal per maand).

Een andere wijze waarop het modelinstrumentarium is getoetst, is door een Exceldatabase met informatie over nutriëntenbronnen en veronderstelde inlaatdebieten per invloedsgebied met de hydrologen van de waterschappen uit te wisselen. Hiermee is de rekenmethodiek getoetst voor de gedane aannames ten aanzien van inlaat, routing en afwenteling van buitenland en RWZI's.

De resultaten zijn globaal vergeleken met een voorgaande regionale studie van Aa en Maas (Eertwegh, 2015). In deze studie is in het beheersgebied van het Waterschap Aa en Maas de nutriëntenbelasting berekend voor de (29) oppervlaktewaterlichamen in de zomer- en wintersituatie voor de periode 2009-2013. Hierbij is de belasting berekend voor bovenstroomse aanvoer, waterinlaat, RWZI's en grondwater. Voor grondwater is de belasting berekend door onderverdeling van die component in oppervlakkige afstroming, ondiepe grondwaterafvoer en diepe grondwaterafvoer. Aan ieder van deze componenten is een gemiddelde concentratie van stikstof en fosfor toegekend. Deze methode, aangeduid als WAHYD (Waterkwaliteit op basis van Afkomst en HYDRologische systeemanalyse), is eerder toegepast voor Brabant en Limburg (Klein, 2010; TNO, 2008). In deze studies zijn met het WAHYD-concept de grondwaterconcentraties gekoppeld aan de grondwaterfluxen uit geohydrologische modellen; IBRAHYM en IWANH in Limburg en het Triwaco model voor Noord-Brabant.

Er kan niet vergeleken worden in hoeverre de onderverdeling van de uit- en afspoeling in bemesting, depositie, nalevering en kwel overeenkomt met de WAHYD-studies, omdat de WAHYD-methode hierin geen onderscheid maakt. Volgens het WAHYD-concept worden de uit- en afspoeling bepaald door de concentraties die op basis van meetgegevens aangenomen worden voor het oppervlakkig afstromende water, het ondiepe (1 à 2 m-mv) en diepere (10-25 m-mv) grondwater. Voor fosfor wordt met deze methode in veel gebieden een relatief grote bijdrage berekend voor de diepe afvoer, met name in de winter. Uit de studies en modelconcepten van de WUR komt naar voren dat afspoeling van fosfor vooral plaatsvindt vanuit de bovenste lagen van de bodem en dat de bijdrage van middeldiep grondwater voor zowel fosfor als stikstof alleen belangrijk is in gebieden waar de kwel een groot aandeel heeft in de waterbalans.

Een ander verschil is dat in de onderhavige studie meerdere bronnen zijn beschouwd, waarvan met name erfafspoeling, glastuinbouw en meemesten sloten ('landbouw overig) in diverse gebieden zichtbaar invloed hebben op de belasting en verdeling van de herkomst.

In vergelijking met de landelijke studie van Groenendijk (2016) is het belangrijkste verschil dat in de onderhavige studie de belasting door waterinlaat en toestroming vanuit het buitenland betrouwbaarder is gekwantificeerd door verwerking van de door de waterschappen aangedragen additionele monitoringdata en expertschattingen van hoeveelheden waterinlaat.

Voor diverse waterlichamen is naar voren gekomen dat de ruimtelijke indeling van Nederland in LSW's (ruim 8000 eenheden) niet overall goed past op een systeemgerichte begrenzing van het vanggebied. Deze indeling is een vaste rekenbasis voor de KRW-Verkenner en is omwille van de aansluiting met de KRW-Verkenner ook gebruikt bij de verfijning van de deelstroomgebieden in 140 vanggebieden. Ook was het voor enkele waterlichamen niet goed mogelijk om een logische en systeemgerichte begrenzing en/of routing te definiëren. Voor diverse vanggebieden zullen aldus de gedane aannames voor inlaat, routing en ruimtelijke begrenzing verbeterd kunnen worden. De database die met de waterschappen is uitgewisseld en de werkdocumenten over de gebiedsindeling, routing en gebruikte meetgegevens die per waterschap zijn opgesteld, bieden hiervoor goede handvatten.

6.2 Rekenperiode herkomst uit- en afspoeling landbouw

Met het landsdekkende STONE-model is in een voorgaande studie (Groenendijk, 2014) een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd om de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden nader onder te verdelen in de bronnen depositie, actuele bemesting en bemesting in het verleden, nalevering van de bodem, kwelwater en uitspoeling van in de zomer geïnfiltreerd oppervlaktewater. Tussen deze bronnen treedt een verschuiving op naarmate de tijd voortschrijdt. Het effect van nalevering uit de bodem en door bemesting in het verleden zijn na-ijlingeffecten van de periode vóór 2010 en deze brontermen nemen geleidelijk af in de tijd. Omdat het modelinstrumentarium ook ingezet zal worden om maatregelen door te rekenen die bijdragen aan het verminderen van de overschrijding van normen voor N- en P-concentraties in het oppervlaktewater, is de onderlinge verdeling van bronnen die verantwoordelijk zijn voor de N- en P-uitspoeling uit landbouwgronden in 2027 als uitgangspunt genomen. Het jaar 2027 geldt als uiterste datum dat maatregelen zijn genomen om een goede waterkwaliteit volgens de KRW-beoordelingssystematiek te bereiken. De voorspelde N- en P-uitspoeling in 2027 uit studie met MAMBO en STONE van Groenendijk et al. (2015) is hiervoor als uitgangspunt genomen. Deze analyse levert informatie over de herkomst van de nutriënten van de nutriëntenuitspoeling in 2027.

De belasting is berekend voor de periode 2010-2013. Een deel van het huidige doelgat zal deels door na-ijling van aangescherpt mestbeleid en andere maatregelen, zoals verbetering van zuiveringsrendementen bij RWZI's, al worden weggenomen.

6.3 Onderscheid bronnen achter de uit- en afspoeling

Het onderscheid tussen de uitspoeling die voortkomt uit actuele en historische bemesting is moeilijk te maken, omdat dit wordt beïnvloed door de keuze van de periode waarvoor bemesting als historisch wordt beschouwd. In eerdere rapportages (onder andere Groenendijk, 2014) zijn aanbevelingen gedaan om de methode te verbeteren, en daarmee het onderscheid tussen 'historisch' en 'actueel' scherper te maken. Ook het onderscheid tussen kwel en nalevering is moeilijk te maken, omdat door kwel nutriënten vanuit de diepere ondergrond in de ondiepe bodemlagen terecht komen en vanuit die bodemlagen lang kunnen naleveren. Aanbevolen wordt om de methodiek voor het onderscheid van bronnen van de nutriënten in de uitspoeling verder te verbeteren conform de voorstellen die hiervoor zijn gedaan in het Kennisimpuls Waterkwaliteit Nutriënten (Groenendijk, 2018) en de uitkomsten te verifiëren met gerichte metingen.

6.4 Interactie grondwater – oppervlaktewater

De analyse is gericht op oppervlaktewaterlichamen. De routes via de bodem en grondwater zijn meegenomen, maar er is geen specifiek op grondwaterkwaliteit gerichte analyse uitgevoerd. Wel is naar voren gekomen dat afspoeling van fosfor vooral plaatsvindt vanuit de bovenste lagen van de bodem en dat de bijdrage van middeldiep grondwater voor zowel fosfor als stikstof alleen belangrijk is in gebieden waar de kwel een groot aandeel heeft in de waterbalans. Aanvullend onderzoek is nodig om na te gaan in hoeverre met de aanpak gericht op oppervlaktewater ook de nutriëntendoelen voor grondwater (algemeen, drinkwaterwinningen en grondwaterafhankelijke natuur) worden bereikt.

6.5 Inzet modelinstrumentarium voor maatregelen

De rekenmethodiek kan ingezet worden om effecten van diverse type maatregelen op de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater te kwantificeren. Emissiereducties van RWZI's en verbetering van de kwaliteit van uit het buitenland toestromend water, kunnen op directe wijze worden doorgerekend. Effecten van maatregelen die betrekking hebben op landbouwmaatregelen of verandering landgebruik kunnen in twee stappen worden doorgerekend. Als eerste stap kunnen effecten van maatregelen die met de rekenplots van STONE in voorgaande modelstudies zijn berekend, gekoppeld worden aan de rekenplots die binnen de vanggebieden met het herschikken zijn toegewezen. Deze 'nieuwe' af- en uitspoeling kunnen vervolgens met KRW-ECHO worden doorgerekend, waarmee voor ieder vanggebied de nieuwe nutriëntenbelasting en herkomstverdeling worden gekwantificeerd. Voor landbouwmaatregelen die nog niet in voorgaande modelstudies zijn doorgerekend, kunnen ook nieuwe STONE-berekeningen worden uitgevoerd.

Beleidsmatig wordt ingezet om na te gaan in hoeverre regiospecieke maatwerk-maatregelen voor emissiereductie van nutriënten vanuit landbouwgronden kunnen bijdragen aan verbetering van de waterkwaliteit. Hiervoor zijn diverse lijsten met zogenaamde DAW-maatregelen opgesteld. Voor veel van deze maatregelen ontbreekt het aan gefundeerde kennis over het effect op de uit- en afspoeling van nutriënten. Momenteel worden initiatieven genomen om kennis over de diffuse af- en uitspoeling en effecten van DAW-maatregelen te vergroten door een combinatie van innovatieve monitoring, aansluitende modellering en veldexperimenten van maatregelen (Maximi project Aa en Maas, Kennisimpuls project nutriënten). Ook wordt het modelinstrumentarium van STONE verfijnd en ingepast in het nieuwe Landelijke Waterkwaliteit Model (LWKM). Deze initiatieven en modelontwikkeling kunnen nieuwe inzichten geven in de nutriëntenbelasting en effecten van DAW-maatregelen.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Uit het onderzoek blijkt dat de totale nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater in hoofdzaak wordt bepaald door de diffuse uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden, effluenten van RWZI's, toestroming vanuit het buitenland (regionale grensoverschrijdende beken/rivieren) en inlaat vanuit rijkswateren (kanalen en Maas).

Op jaarbasis leveren de uit- en afspoeling vanuit landbouwgronden in veel gebieden de belangrijkste bijdrage; voor stikstof is het aandeel van de uit- en afspoeling in 79 van de 140 vanggebieden meer dan 50%, voor fosfor is dat het geval in 78 vanggebieden. Actuele bemesting heeft voor stikstof een groot aandeel (gemiddeld 72%) in de uit- en afspoeling; voor fosfor is dit aandeel kleiner (gemiddeld 33%). In het zomerhalfjaar is de bijdrage van de uit- en afspoeling minder groot, omdat de uit- en afspoeling vooral in het winterhalfjaar plaatsvindt, terwijl waterinlaat juist meer plaatsvindt in de zomer en de belasting door RWZI's door het jaar vrij constant is.

Binnen de beheersgebieden van de vier waterschappen zijn er per vanggebied grote verschillen tussen de belasting en herkomst. Enerzijds door de regionale verschillen tussen de af- en uitspoeling en het aandeel van de bemesting hierin, anderzijds door de lozingslocaties van RWZI's, de toestroom vanuit het buitenland, inlaat vanuit rijkswater en de doorvoer van bovenstrooms gelegen waterlichamen hetgeen sterk per gebied verschilt. Als alleen naar de interne bronnen in het zomerhalfjaar wordt gekeken (dus exclusief toestroming bovenstrooms en inlaat), is voor stikstof de invloed van RWZI's in 23 vanggebieden groter dan 50% en de invloed van actuele bemesting in 41 vanggebieden groter dan 50%. Voor fosfor is de invloed van RWZI's en actuele bemesting in minder gebieden zo groot omdat de belasting procentueel daar meer dan bij stikstof ook wordt bepaald door nalevering vanuit de bodem, historische bemesting en erfafspoeling.

De validatie van de resultaten van de toegepaste rekenmethodiek geeft vertrouwen in de berekende nutriëntenbelasting, retentie en herkomstverdeling. De resultaten bieden de benodigde informatie om reductieopgaven voor het dichten van het KRW-doelgat van nutriënten toe te wijzen aan de sectoren en partijen die de nutriëntenbelasting kunnen verminderen. Deze opgaven zijn bepaald voor de pilot nutriëntenaanpak Maasstroomgebied³. Het opgezette modelinstrumentarium kan efficiënt worden ingezet om de effecten van diverse maatregelen op de nutriëntenbelasting te berekenen.

De modelanalyses en modelresultaten dienen als input voor de nationale analyse die in 2019 door het PBL wordt uitgevoerd in het kader van de derde generatie stroomgebiedbeheerplannen en de Delta-aanpak Waterkwaliteit. Daardoor wordt voor deze (beleids)analyses een goede afstemming tussen het rijk en de regio bewerkstelligd.

³ Gebiedsgericht samenwerken van regio en rijk aan een aanpak voor nutriënten.

7.2 Aanbevelingen

In toenemende mate is voor het waterkwaliteitsbeleid behoefte aan kwantitatief inzicht op het niveau van waterlichamen alsmede op bedrijfsniveau in de effecten van gebieds- en bedrijfsspecifieke maatregelen die de diffuse af- en uitspoeling van nutriënten vanuit landbouwgronden verminderen. De effecten daarvan op de waterkwaliteit kan met modellen gekwantificeerd worden, indien deze modellen gevalideerd zijn en toegesneden zijn om de waterbeweging, de waterbalans, de totale nutriëntenbelasting en de retentie daarvan in het oppervlaktewater op de betreffende schaalniveaus te simuleren.

De huidige monitoring en systeeminzichten zijn niet toegesneden op het hier gewenste detailniveau. Het verdient derhalve aanbeveling om in het waterbeheer meer aandacht te besteden aan monitoring van debieten en waterkwaliteit op uitwisselpunten, zodat modelaannames voor begrenzing van waterlichamen, inlaat, afwenteling, buitenlandse aanvoer en retentie beter kunnen worden onderbouwd.

Voor de bronnenanalyse is gebruikgemaakt van de met het modelinstrumentarium STONE berekende uit- en afspoeling tot en met 2013. Recentere perioden met als input de gemeten meteo (neerslag, verdamping) en geregistreerde mestgiften waren ten tijde van het onderzoek niet beschikbaar. Recentelijk zijn echter de berekeningen doorgezet tot en met 2017 met de gemeten meteo en de mestgiften vanaf 2014 zoals berekend volgens het 5^e Nitraat Actie Programma (Groenendijk, 2015). Met het modelinstrumentarium kan redelijk eenvoudig de nutriëntenbelasting berekend worden voor de recentere periode.

De analyse is gericht op oppervlaktewaterlichamen. De routes via de bodem en grondwater zijn wel meegenomen, maar er is geen specifiek op grondwaterkwaliteit gerichte analyse uitgevoerd. Aanvullend onderzoek is nodig om na te gaan in hoeverre met de aanpak gericht op oppervlaktewater ook de nutriëntendoelen voor grondwater (algemeen, drinkwaterwinningen en grondwaterafhankelijke natuur) worden bereikt.

Voor de toetsing van de modelmatige aannames voor de routing en het gebruik van metingen is relatief veel aandacht besteed aan de routing in de KRW-Verkenner en de gedane gebiedsindeling in stap 1 (45 deelgebieden). Op het niveau van de 140 catchments zullen gedane aannames voor inlaat, routing en ruimtelijke begrenzing in diverse catchments nog verbeterd kunnen worden. Aanbevolen wordt om hierop in te zetten en verbeterpunten overdraagbaar vast te leggen. De database die met de waterschappen is uitgewisseld en de werkdocumenten bieden hiervoor goede handvatten.

Het onderscheid tussen de uitspoeling die voortkomt uit actuele en historische bemesting is moeilijk te maken, omdat dit wordt beïnvloed door de keuze van de periode waarvoor bemesting als historisch wordt beschouwd. Aanbevolen wordt om de methodiek voor het onderscheid van bronnen van de nutriënten in de uitspoeling verder te verbeteren conform de voorstellen die hiervoor zijn gedaan in het Kennisimpuls Waterkwaliteit Nutriënten en de uitkomsten te verifiëren met gerichte metingen.

Omdat de resultaten worden gebruikt voor kwantificering van reductieopgaven en effecten van beleidsscenario's, wordt aanbevolen om de systeemkennis van de waterlichamen met innovatieve, hoogfrequente monitoring te vergroten, met name in vanggebieden waar hoge concentraties worden gemeten en in vanggebieden waar aanwijzingen zijn dat de af- en uitspoeling sterk kunnen afwijken door specifieke geohydrologische omstandigheden (wijdgronden, gebieden waar relatief vaak oppervlakkige afstroming plaatsvindt).

Literatuur

- Boekel, E.M.P.M. van, P.N.M. Schipper, R.F.A. Hendriks, H.T.L. Massop, H.M. Mulder en J. Roelsma, 2013. "*Herkomst nutriëntenbelasting afvoergebieden HDSR, pilotstudie ECHO Regionale bronnenanalyse nutriëntenbelasting: Keulevaart, Eiland van Schalkwijk, Langbroekerwetering en Zegveld*". Wageningen, Alterra-rapport 2408.
- Boekel, E.M.P.M. van, J. Roelsma, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, P.C. Jansen, L.V. Renaud, R.F.A. Hendriks en P.N.M. Schipper, 2015. "*Achtergrondconcentraties in het oppervlaktewater van HHNK: Hoofdrapport; Analyse achtergrondconcentraties voor stikstof en fosfor op basis van water- en nutriëntenbalansen voor het beheergebied van HHNK*". Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2475.
- Boekel, E.M.P.M. van, P. Groenendijk en L.V. Renaud, 2016. "*Bronnen van nutriënten in het oppervlaktewater in het beheergebied van Wetterskip Fryslân; studie naar de herkomst en beïnvloedbaarheid van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater voor zes polders in het beheergebied van Wetterskip Fryslân*". Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2727.
- Boekel, E.M.P.M. van, R.F.A. Hendriks, P.N.M. Schipper, 2018. "*Herkomst Nutriënten Alblasserwaard en VijfHeerenlanden*", Wageningen Environmental Research, Rapport 2891.
- Bolt, F.J.E. van der, O.F. Schoumans (eds), 2012. "*Ontwikkeling van de bodem- en waterkwaliteit. Evaluatie Meststoffenwet 2012: eindrapport ex-post*", Wageningen, Alterra Wageningen UR, Alterra-rapport 2318.
- Eerthwegh, Gé van den, Andries Krikken, Floris Verhagen, Harrie Menning en Wim van der Hulst, 2015. "*Herkomst van meststoffen in open water Aa en Maas*". H2O januari 2015.
- Gaalen, Frank van, Aaldrik Tiktak, Ron Franken, Erwin van Boekel, Peter van Puijenbroek, Hanneke Muilwijk 2016. "*Waterkwaliteit nu en in de toekomst, Eindrapport ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water, beleidstudie*". Planbureau voor de Leefomgeving.
- Gerven, L.P.A. van; Smit, A.A.M.F.R.; Groenendijk, P.; Bolt, F.J.E. van der; Klein, J.J.M. de. 2009. "*Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus*". Wageningen, Alterra-rapport 1848.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud, E.M.P.M. van Boekel, C. van der Salm en O.F. Schoumans. 2013. "*Vorbereiding STONE2.4 op berekeningen voor de Evaluatie Meststoffenwet 2012*". Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2462.
- Groenendijk, P., H.M. Mulder, R.F.A. Hendriks en F.J.E. van der Bolt, 2014. "*Bronnen van diffuse nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater; Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post*". Wageningen, Alterra Wageningen UR. Alterra-rapport 2328.
- Groenendijk, P., L. Renaud, H. Luesink, P.W. Blokland & T. de Koeijer (2015), "*Gevolgen van mestnormen volgens het 5^e Actieprogramma voor nitraat en N- en P-belasting van het oppervlaktewater*". Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2647.
- Groenendijk, Piet; Boekel, Erwin van; Renaud, Leo; Greijdanus, Auke; Michels, Rolf; Koeijer, Tanja de, 2016. "*Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren : het aandeel van landbouw in de KRW-opgave, de kosten van enkele maatregelen en de effecten ervan op de uit- en afspoeling uit landbouwgronden*", Wageningen, WENR-rapport 2749.
- Groenendijk, P.; Velthof, G.L.; Schröder, J.J.; Koeijer, T.J. de; Luesink, H.H. 2017. "*Milieu-effectrapportage van maatregelen zesde Actieprogramma Nitraatrichtlijn : Op planniveau*". Wageningen, WENR-rapport 2842.
- Piet Groenendijk, Saskia Lukács, Joachim Rozemeijer, Arnaut van Loon 2018, "*Nutriëntenmaatregelen Fase 1 (2018-2019), Effecten van maatregelen op nutriënten in grond- en oppervlaktewater*". Concept Kennisimpuls Waterkwaliteit projectvoorstel Nutriëntenmaatregelen Fase1.
- Hellmann, F., P. Schipper, E. van Boekel en J. Roelsma 2014. "*Achtergrondbelasting nutriënten Rijnland*". Arcadis en Alterra rapport 1 mei 2014.
- Klein, J., H.P. Broers, B. van der Grift, G. Zwart, 2010. "*Oppervlaktewater in Limburg sterk beïnvloed door grondwater*". H2O, nummer 6, 2010.

-
- Krikken, A., R. Hulsman, I. Folmer, G. van den Eeretwegh, 2014. "*Herkomst van water en nutriënten in KRW-oppervlaktewaterlichamen in het beheergebied van Waterschap Aa en Maas*"., ref. nr. BC7872/R0001/902344/Nijm.
- 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; methodiekbeschrijving en toepassing Drentsche Aa*". Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1913.
- Liefting, E., en H. de Man, 2017. "*EmissieRegistratie Afvalwaterketen*", *Achtergrondrapport bij de in 2017 geactualiseerde factsheet 'Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's'*. Partners4urbanwater en Deltares, 15 juni 2017.
- Ministerie Infrastructuur en Milieu, "*Kamerbrief over de stand van zaken waterveiligheid en waterkwaliteit 14 november 2016, onderdeel "Delta-aanpak Waterkwaliteit en Zoetwater"*.
- Martin Mulder, Peter Schipper, Edwin Jongman en Joost Heijkers. "*Onzekere Debietschattingen*". Aikel in *Stromingen* 16 (2011), nummer 3.
- Schipper, P. en J. Rozemeijer 2018. "*Toedelen KRW-opgave nutriënten stroomgebied Maas aan broneigenaren*". Notitie RBOM-DHZ 7 december 2018.
- Schipper, P.N.M. ; Hendriks, R.F.A. ; Massop, H.T.L. ; Boekel, E.M.P.M. 2016. "*Belasting van waterlichamen in de Krimpenerwaard met stikstof en fosfor*". Wageningen, Alterra rapport 2738.
- TNO 2008, "*WAHYD - Waterkwaliteit op basis van Afkomst en HYDRologische systeemanalyse. De grondwaterbijdrage aan de oppervlaktewaterkwaliteit in de provincie Limburg*". 24 december 2008
- Webapplicatie "Gebiedsatlas gebiedsgerichte nutriënten aanpak Maas" (Deltares, is samenwerking met WENR, KWR; RIVM en ORG-ID). <https://nutriëntenmaas.openearth.nl/nutriëntenMaas/index.htm>
- KRW-NUtrend <http://krw-nutrend.nl/>

Bijlage 1 Methodiek ECHO

B1.1 Onderdelen methode

De KRW-ECHO-systematiek bestaat uit meerdere onderdelen (zie kader). Als basis worden altijd stofbalansen opgezet zoals aangegeven in onderdeel 1. De overige onderdelen kunnen optioneel worden toegevoed. Voor de bronnenanalyse Maas zijn naast onderdeel 1 de onderdelen 2a (herschikken STONE-rekenplots), 3 (plausibiliteit) en onderdeel 4 (herkomst analyse) uitgevoerd.

ECHO-methodiek

De ECHO-methodiek combineert model- en data-analysetechnieken die zijn ontwikkeld voor de ex-ante-evaluatie van de KRW, de Evaluatie van de Meststoffenwet en monitoring- en modelstudies op regionaal niveau. De ECHO-methodiek bestaat uit verschillende onderdelen die afhankelijk van de kennisvragen uitgevoerd kunnen worden:

1. Stoffenbalansen:
 - Indeling stroomgebieden in (sub)deelstroomgebieden. Voor deze gebieden worden een water- en stofbalans opgesteld.
 - Kwantificering uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurbodems vanuit de landelijke STONE-schematisering.
 - Kwantificering overige punt- en diffuse bronnen uit de EmissieRegistratie, waar nodig of meerwaarde aangevuld en/of gecorrigeerd op basis van regionale gegevens.
 - Kwantificering in- en uitgaande debieten en bijhorende nutriëntenvrachten op basis van metingen (debieten en concentraties).
 - Afleiden van retentie van nutriënten in het oppervlaktewater, inclusief waterbodem.
2. Uit en afspoeling landelijk gebied
 - a) Herschikkingsprocedure: verbeteren van de uit- en afspoeling uit landbouw- en natuurgronden door de landelijke geschematiseerde SWAP-ANIMO-rekenplots van STONE met regionale informatie te Herschikken.
 - b) SWAP-ANIMO-berekeningen (optioneel): verbeteren van de uit- en afspoeling uit landbouw- en natuurgronden door nieuwe berekeningen met SWAP-ANIMO uit te voeren met regionale informatie.
3. Plausibiliteitstool:
 - a) Toetsing: vergelijking van de berekende en uit metingen afgeleide N- en P-vrachten naar het oppervlaktewater om inzicht te krijgen in de plausibiliteit van de modeluitkomsten/meetgegevens.
 - b) Onzekerheidsanalyse: hiermee wordt inzicht verkregen in de betrouwbaarheid (onzekerheden) van de met ECHO berekende nutriëntenvrachten en meetgegevens.
4. Herkomstanalyse: ontrafelen van de herkomst en beïnvloedbaarheid van de nutriëntenbronnen van de uit- en afspoeling (actuele en historische bemesting, kwel, atmosferische depositie op landbouwgronden, nalevering landbouwgronden, uit- en afspoeling natuurbodems).
5. Effecten maatregelen
 - a) Kwantificeren van de effecten van voorgenomen beleid (Mestbeleid, Stroomgebiedbeheerplannen) op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater.
 - b) Kwantificeren van de effecten van aanvullende (landbouwkundige) maatregelen op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater.

In het navolgende worden de landelijke STONE-schematisering, de herschikkingsprocedure uit- en afspoeling, de herkomstanalyse en methodiek voor retentie nader toegelicht.

B1.2 Landelijke STONE-schematisering

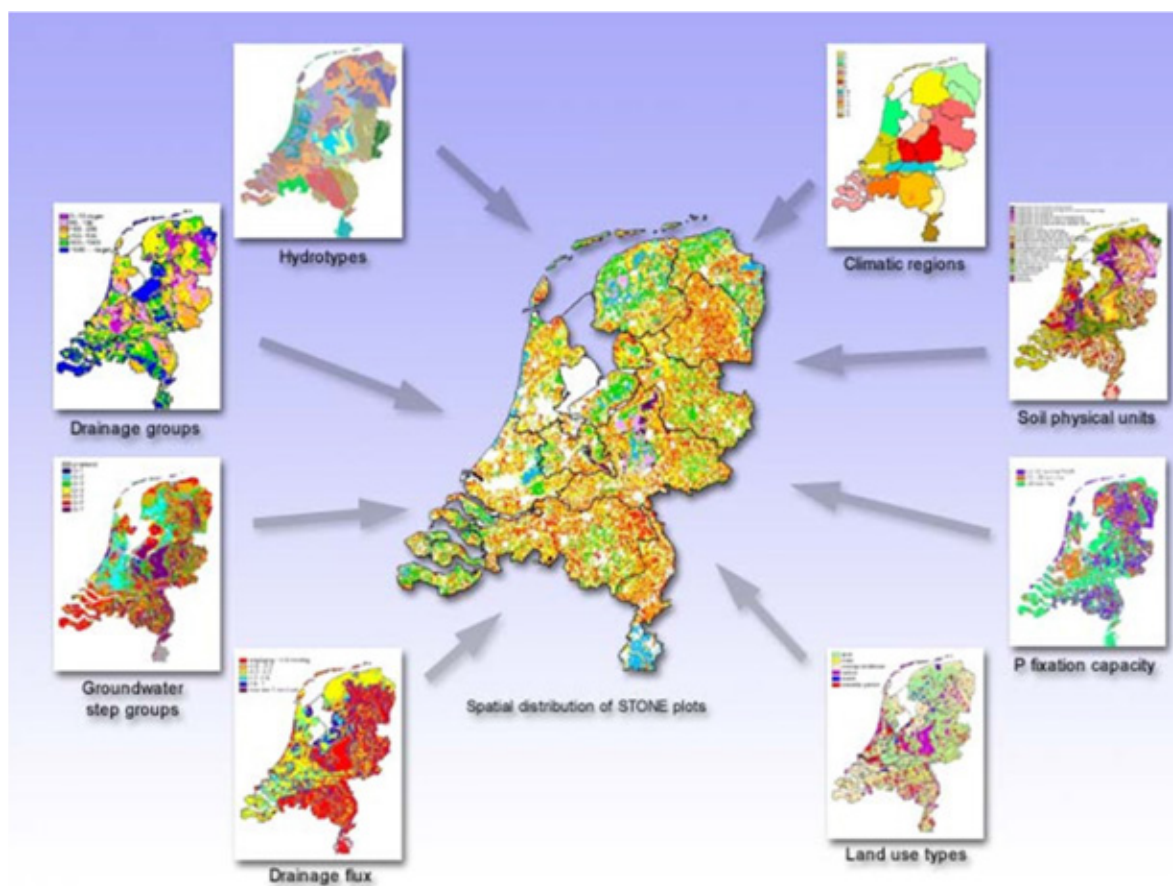
STONE (Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel) is een landelijk model dat erop gericht is om op nationale schaal de effecten van nationaal of Europees landbouw- en milieubeleid en de ontwikkelingen in de landbouwsector op de uitspoeling van stikstof en fosfor naar grond- en oppervlaktewater te kwantificeren.

De ruimtelijke indeling voor STONE is opgesteld door Kroon et al. (2001) en is gemaakt op basis van hydrologische en bodemchemische eigenschappen. Nederland is hierbij ingedeeld in 6405 ruimtelijke eenheden (plots) voor het landelijk gebied, één plot voor het bebouwde gebied en één plot voor water. Een plot bestaat uit meerdere gridcellen van 250 * 250 meter die dezelfde unieke combinatie van eigenschappen hebben. De gridcellen kunnen verspreid liggen in een gebied.

De ruimtelijke verdeling is gebaseerd op vijf basiselementen:

- hydrologische hoofdindeling (hydrotypen, drainage-groepen, grondwatertrappen, kwel/wegzijgingsflux);
- indeling in landgebruik (gras, mais, overig landbouw, natuur, water en bebouwing);
- indeling in bodemtype (zand, klei, veen);
- indeling in chemische eigenschappen van de bodem (fosfaatbindend vermogen, mineralisatiecapaciteit, kationencapaciteit);
- indeling naar overige kenmerken (o.a. meteorologische kenmerken).

In figuur B1.1 is een overzicht gegeven van kaartlagen (kenmerken) die gebruikt zijn om tot een ruimtelijke verdeling te komen van de rekeneenheden (STONE-plots).



Figuur B1.1 Overzicht (belangrijkste) kaartlagen voor ruimtelijke verdeling van de STONE-plots.

Omdat de huidige STONE-schematisering dateert uit 2000 en omdat het een landelijke schematisering betreft, is het mogelijk dat, indien STONE wordt ingezet voor een regionale studie, de schematisering

in STONE onvoldoende overeenkomt met de regionale of lokale situatie van het betreffende studiegebied.

B1.3 Herschikkingsprocedure

De herschikkingsprocedure is toegepast in verschillende regionale studies voor verschillende opdrachtgevers (Monitoring Stroomgebieden (Woestenburg en Van Tol-Leenders, 2011), HDSR (Van Boekel et al., 2013), Achtergrondbelasting HHNK (Van Boekel et al., 2015), Bronnenanalyse Wetterskip Fryslân (Van Boekel et al., 2016)).

De bestaat uit verschillende onderdelen:

1. Gebiedsanalyse herschikkingsprocedure
 - vervaardigen nieuwe geclassificeerde kaarten
 - overlay van kaarten en afleiden van MLBG⁴-combinaties
2. Afleiden nieuwe N- en P-uitspoelingscijfers
 - selectie van representatieve STONE-plots die passen bij MLBG-combinaties
 - Aggregeren van N- en P-belasting op ERC-niveau
 - Neerschalen van N- en P-belasting naar het studiegebied (LSW-niveau)
3. Validatie (vergelijking met eerdere studies)

Stap 1: Gebiedsanalyse

Bij het genereren van de ruimtelijke verdeling van de STONE-plots worden verschillende kaartlagen gebruikt (figuur B.2):

De eerste stap in de herschikkingsprocedure is het genereren van een landsdekkende MLBG-kaart waarin een aantal kaartlagen is meegenomen:

- landgebruik
- bodemfysische eenheid
- Gt-klasse (hydrologische toestand)
- Meteorodistrict

Landgebruik

Voor het huidige landgebruik wordt op dit moment gebruikgemaakt van het LGN7-bestand (Hazeu et al., 2014). Het LGN7-bestand onderscheidt 39 landgebruikstypen. Het is een grid-bestand met een ruimtelijke resolutie van 25*25 meter. Het bestand geeft een tijdsbeeld van het landgebruik voor 2012, dat voor zowel beleidsanalyses als voor modelinput is te gebruiken. In het bestand worden de belangrijkste landbouwgewassen, bos, water, natuur en stedelijke klassen onderscheiden.

De landgebruiksvormen in LGN7 komen niet 1:1 overeen met de landgebruiksvormen die in de STONE-schematisering worden onderscheiden, m.a.w. er is een vertaalslag nodig. De landgebruikstypen in LGN7 worden geclusterd tot 6 landgebruiksvormen: grasland, akkerbouw, maïs, natuur, stedelijk gebied en open water, waarna een nieuwe LGN-kaart wordt vervaardigd met een resolutie van 25x25m.

Bodemtype

Om inzicht te krijgen in de verschillen in bodemtype is gebruikgemaakt van de 1:50.000 bodemkaart. In STONE komen twee indelingen voor de bodem voor: 1) volgens de PAWN-kaart en 2) volgens de CLEAN-kaart. In de huidige herschikkingsprocedure is er gekozen voor de PAWN-kaart.

Een veelgebruikte indeling voor het clusteren van de eenheden van de bodemkaart is de indeling naar bodemopbouw. Deze indeling wordt ook wel de PAWN-indeling genoemd. (Wösten et al., 1988) en onderscheidt naar bodemopbouw **21** verschillende eenheden. In de huidige herschikkingsprocedure is er gekozen voor de PAWN-kaart. Ook hiervoor geldt dat de eenheden die in de bodemkaart worden

⁴ MLBG is een afkorting voor **M**eteo **L**andgebruik **B**odemfysische eenheid en **G**rondwatertrap

onderscheiden, opnieuw geclassificeerd/geclusterd moeten worden. Eindresultaat van stap 1b is een nieuwe bodemkaart op basis met de PAWN-bodem met een resolutie van 25x25m.

Hydrologische toestand

Naast het bodemtype wordt de 1:50.000 bodemkaart ook gebruikt om informatie te krijgen over de diepte en fluctuatie van het grondwater (Vries et al., 2003). In de bodemkaart worden deze weergegeven met **11** Gt-klassen (tabel B1.1). Eindresultaat van stap 1c is een nieuwe Gt-kaart met een resolutie van 25-25m.

Tabel B1.1 *Overzicht van grondwatertrappenindeling voor de Bodemkaart van Nederland 1:50.000.*

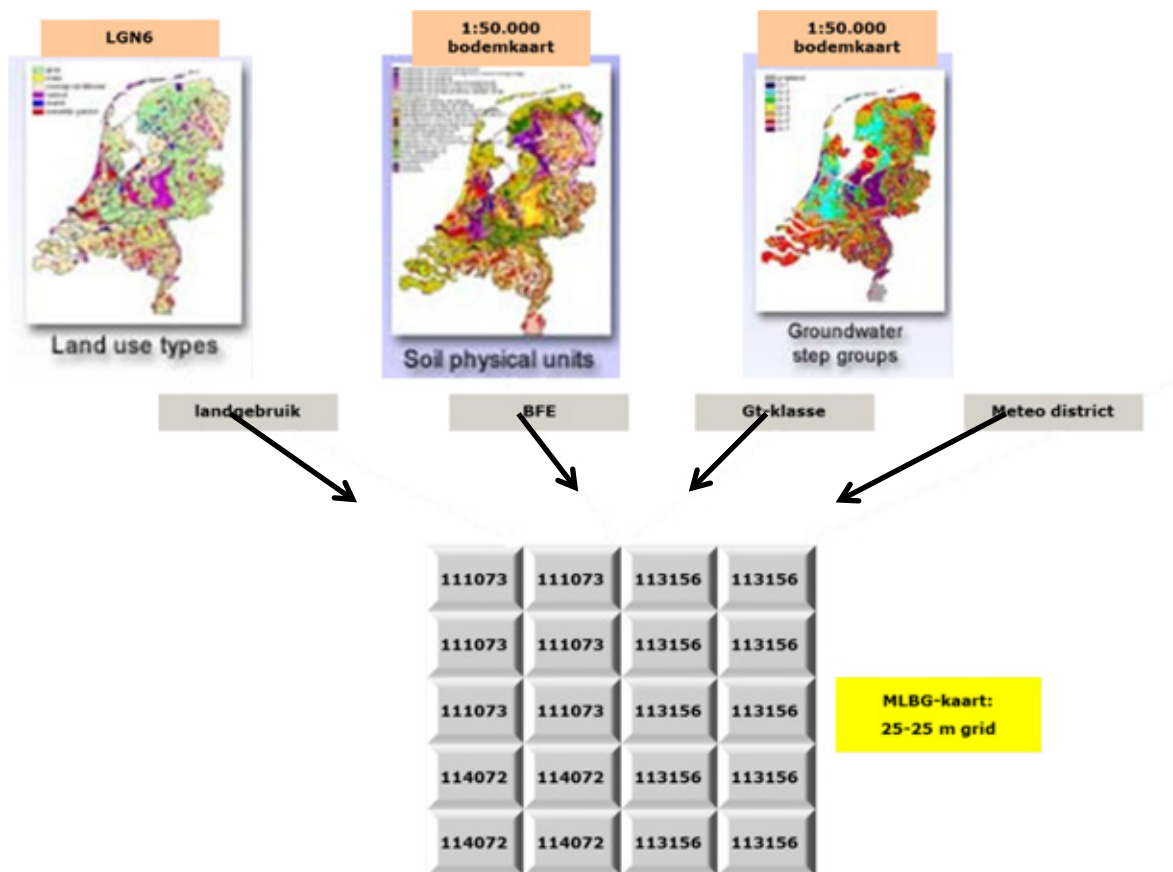
Code grondwatertrap	GHG (cm-mv)	GLG (cm-mv)
I	-	< 50
II	-	50 - 80
II*	25 - 40	50 - 80
III	< 40	80 - 120
III*	25 - 40	80 - 120
IV	> 40	80 - 120
V	< 40	> 120
V*	25 - 40	> 120
VI	40 - 80	> 120
VII	80 - 140	> 120
VII*	> 140	> 120

Meteodistricten

Naast landgebruik, bodemtype en Gt-klasse zijn de STONE-plots ook ruimtelijk ingedeeld in weerregio's. De indeling is tot stand gekomen door een directe toekenning van weerregio's aan PAWN-districten. Er worden 15 weerregio's onderscheiden.

Stap 2: Genereren landsdekkende kaart met MLBG-eenheden

In de eerste stap zijn nieuwe kaarten vervaardigd/verzameld met informatie over het landgebruik, bodemtype, hydrologische toestand (Gt-klasse) en meteoregio. In de tweede stap worden de verschillende kaarten gecombineerd, waardoor er zogenaamde MLBG-eenheden ontstaan met een resolutie van 25 bij 25m (figuur B1.2).



Door de overlay van de verschillende kaartlagen ontstaan er MLBG-eenheden met unieke kenmerken. In tabel B1.2 zijn voorbeelden gegeven van een aantal eenheden en bijbehorende kenmerken.

Tabel B1.2 Aantal voorbeelden van (willekeurige) MLBG-eenheden.

eenheid	Meteodistrict		Landgebruik		Bodemtype		Gt-klasse	
	Code	Omschrijving	Code	Omschrijving	Code	Omschrijving	Code	Omschrijving
111073	11	Vlissingen	1	Grasland	07	Stuifzandgronden	3	Gt-klasse III
112164	11	Vlissingen	2	Mais	16	Homogene lichte kleigronden	4	Gt-klasse IV
113156	11	Vlissingen	3	Akkerbouw	15	Homogene zavelgrond	6	Gt-klasse VI
114127	11	Vlissingen	4	Natuur	12	Enkeergrond in sterk lemig fijn zand	7	Gt-klasse VII
114072	11	Vlissingen	4	Natuur	07	Stuifzandgronden	2	Gt-klasse II

Aandachtspunt

Voor het genereren van de eenhedenkaart is een overlay gemaakt tussen de verschillende kaartlagen (LGN7, bodemkaart). Doordat de kaarten verschillende indelingen hanteren, is het mogelijk dat er een mismatch is tussen beide kaarten. In tabel B1.3 zijn een paar voorbeelden gegeven. Het meteedistrict is in dit voorbeeld weggelaten.

Tabel B1.3 Aantal voorbeelden van een mismatch tussen LGN7-kaart en de 1: 50.000 bodemkaart.

MLBG-eenheid	Landgebruik		Bodemtype		Gt-klasse	
	Code	Omschrijving	Code	Omschrijving	Code	omschrijving
1230	1	Grasland	22	Water	0	-
4220	4	natuur	23	Stedelijk gebied	0	-
5074	5	Open water	07	Stuifzangronden	4	Gt-klasse IV
6156	6	Stedelijk	15	Homogene zavelgrond	6	Gt-klasse VI

In bovenstaande voorbeelden is het landgebruik op basis van LNG7 grasland of natuur. Op basis van de 1:50.000-bodemkaart is dit echter open water en stedelijk gebied. Er wordt dan ook geen Gt-klasse toegekend. Ook kan het voorkomen dat op basis van LGN7 aan een gebied 'open water' of 'stedelijk' gebied wordt toegekend, terwijl op basis van de 1:50.000 bodemkaart wel een bodemtype en Gt-klasse wordt toegekend. Op voorhand is hierdoor al duidelijk dat er voor dit type MLBG-eenheid geen representatieve STONE-plots gevonden kunnen worden.

In het script is een tussenstap voorzien waarin de MLBG-eenheden met een combinatie waarvoor sowieso geen STONE-plots gevonden kunnen worden, worden omgezet in een nieuwe eenheid. Hierbij is gekozen om het landgebruikstype op basis van LGN7 leidend te maken; met andere woorden: het landgebruik verandert niet.

Als op basis van LGN7 een gebied wordt geclassificeerd als 'open water' of als stedelijk gebied worden er geen STONE-plots aan gekoppeld; het bodemtype en de Gt-klasse spelen dan geen rol. MLBG-eenheden die op basis van LGN7 geclassificeerd zijn als landbouw of natuur, in combinatie met bodemtype 22 (open water) en 23 (stedelijk gebied) en een ontbrekende Gt-klasse, worden 'omgezet' naar nieuwe eenheden op basis van de meest voorkomende MLBG-eenheden binnen een *ERC-gebied/ECHO-gebied*.

In tabel B1.4 is een (willekeurig) voorbeeld gegeven van de kenmerken van een ERC/ECHO-gebied. Het grootste gedeelte van het gebied bestaat uit akkerbouw, bodemfysische eenheid 15 (homogene zavelgronden) met een Gt-klasse IV.

Op basis van bovenstaande informatie worden de MLBG-eenheden met een mismatch 'omgezet' (tabel B1.5). De MLBG-eenheden 5074 en 6156 veranderen niet (landgebruik LNG7 is leidend). De MLBG-eenheden 1230 en 4220 worden omgezet naar nieuwe MLBG-eenheden met bodemfysische eenheid 15 en Gt-klasse 4.

Tabel B1.4 Overzicht van het landgebruik, bodemfysische eenheid en Gt-klasse binnen een ERC-/ECHO-gebied.

Landgebruik	Omschrijving	Areaal (ha)
1	Grasland	174
2	Mais	13
3	Akkerbouw	1337
4	Natuur	14
BFE		
07	stuifzandgronden	2
15	Homogene zavelgronden	1519
18	Kleigronden op veen	3
19	Kleigronden op zand	11
23	Stedelijk gebied	3
Gt-klasse		
0	Onbekend	3
2	Gt-klasse II	92
3	Gt-klasse III	2
4	Gt-klasse IV	1441

Tabel B1.5 'Omzetting' van een oude MLBG-eenheid naar een nieuwe MLBG-eenheid op basis van de dominante gebiedskenmerken.

MLBG-eenheid oud	MLBG-eenheid nieuw
1230	1154
4220	4154
5074	5074
6156	6156

Nadat alle stappen zijn doorlopen, is het mogelijk om voor iedere MLBG-eenheid (rekeneenheid) een stikstof- of fosforbelasting toe te kennen (zie voorbeeld in figuur B1.3). Op basis van dit resultaat kunnen voor een willekeurig stroomgebied nieuwe uit- en afspoelingscijfers worden gegenereerd.



Figuur B1.3 Voorbeeld van de stikstofbelasting per MLBG-eenheid per rekeneenheid.

Kwantificering nutriëntenbelasting overige punt- en diffuse bronnen

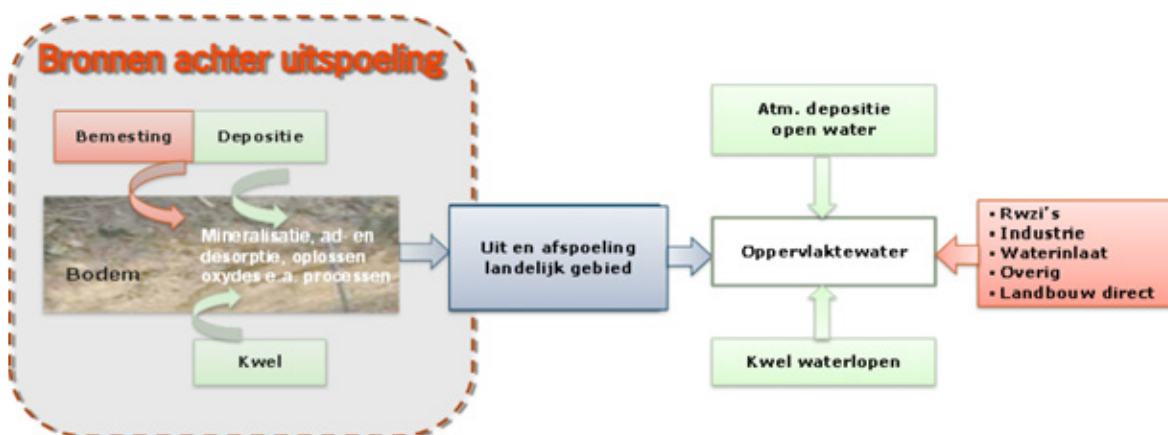
Voor het vaststellen van de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater door overige punt- en diffuse bronnen wordt gebruikgemaakt van de Emissieregistratie.

Inkomende en uitgaande nutriëntenvrachten

De inkomende en uitgaande nutriëntenvracht is bepaald door de hoeveelheid inlaatwater en hoeveelheid uitgeslagen water te vermenigvuldigen met gemeten nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater. Voor de kwaliteit van het inlaatwater/uitgeslagen water zijn door het Waterschap geschikte meetlocaties gezocht. De nutriëntenconcentraties zijn over het algemeen tweewekelijks of maandelijks gemeten en voor de totale balansperiode (2004-2013) beschikbaar. Om de meetwaarden van de nutriëntenconcentraties te kunnen koppelen aan de op dagbasis aangeleverde debietcijfers, wordt een lineaire interpolatie gedaan tussen twee meetwaarden om op die wijze een dagelijkse nutriëntenconcentratie te bepalen.

B1.4 Herkomst bronnen

De herkomst van stikstof- en fosforuitspoeling uit landbouwgronden wordt verder geanalyseerd door, met een specifiek door de WUR ontwikkelde methode, de bronnen achter de uit- en afspoeling te berekenen (Groenendijk et al., 2014). De uit- en afspoeling worden hierbij uitgesplitst in de bijdrage van kwel (naar de bodem), atmosferische depositie op het land, historische mestgiften, actuele mestgiften en uitspoeling van eerder in het jaar geïnfiltreerde oppervlaktewater. Dit onderscheid is schematisch weergegeven in figuur B1.4. De uit- en afspoeling van stikstof en fosfor uit natuurgebieden worden niet verder uitgesplitst.



Figuur B1.4 Overzicht van de belangrijkste bronnen/emissieroutes naar het oppervlaktewater.

B1.5 Methodiek afleiden retentie

Retentie in het oppervlaktewater staat voor het omzetten, verwijderen of vastleggen van nutriënten in de waterlopen. Dit kan door tijdelijke en permanente opslag in onder andere waterplanten en in de waterbodem en/of door gasvormige emissies naar de atmosfeer (denitrificatie). De retentie wordt in ECHO berekend op het niveau van de in ECHO onderscheiden deelstroomgebieden conform de werkwijze die is gehanteerd binnen de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Van Boekel et al., 2012) en in de studie voor HHNK bij het afleiden van theoretische achtergrondconcentraties (Van Boekel et al., 2015).

In de methodiek wordt onderscheid gemaakt tussen stikstof en fosfor, zomerhalfjaar en winterhalfjaar en tussen vrij afwaterende gebieden en poldersystemen. Voor vrij afwaterende gebieden wordt de retentie berekend op basis van de afvoer en het areaal open water. In poldersystemen wordt voor fosfor gerekend met een constante retentiefactor voor puntbronnen (20%) en diffuse bronnen (50%). Voor stikstof wordt in zandige poldersystemen met dezelfde constante factoren gerekend, terwijl voor veen- en kleipolders de retentie per m² waterbodem wordt berekend met verschillende factoren voor de zomer en winter. In de volgende paragrafen wordt de methodiek toegelicht.

B1.5.1 Retentie in poldersystemen

De retentie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater varieert per polder en is afhankelijk van de onderliggende retentieprocessen. De grootte van deze retentieprocessen is afgeleid uit metingen in het oppervlaktewater (PLONS). Op deze manier is de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem bepaald om stikstof vast te leggen of te verwijderen, 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 polders die vooral uit veen of klei bestaan. Voor 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.

Retentie van stikstof in polders door 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 en de watertemperatuur tijdens het meten, ingedeeld naar het bodemtype klei of veen, zijn weergegeven in tabel B1.1.

Tabel B1.1 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	Denitrificatie	Denitrificatie	Temperatuur	
		($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) gemiddeld	($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) minimum	($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) maximum	($^{\circ}\text{C}$) 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

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:

$$D_T = D_{20} \cdot \theta_s^{(T-20)} \quad (1)$$

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 1 zijn maandgemiddelde denitrificatiesnelheden berekend voor de klei- en veenpolders, uitgaande van maandgemiddelde luchttemperaturen gemeten in de Bilt in de jaren 1990-2009. De maandgemiddelde denitrificatiesnelheden zijn opgeschaald naar zomer- en winterhalfjaargemiddelden (tabel B1.2).

Tabel B1.2 Afgeleide denitrificatiesnelheden voor klei- en veenpolders in het winter- en zomerhalfjaar.

Bodentype	Denitrificatie (g N m ⁻²)	
	Zomerhalfjaar	winterhalfjaar
klei	9,9	5,3
veen	2,5	1,4

Retentie van stikstof door groei van waterplanten

Uit verschillende databronnen is een inschatting gemaakt van de hoeveelheid waterplanten aan het einde van het groeiseizoen, gemiddeld over de klei- en veenpolders (tabel B1.3). 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 B1.3 Gemiddelde hoeveelheid waterplanten aan het einde van het groeiseizoen, volgend uit verschillende databronnen.

Bodentype	Waterplanten (g droge stof m ⁻²)	
	8	12
klei	43	12
veen	14	25

Tabel B1.4 geeft een overzicht van de geschatte hoeveelheid stikstof die gemoeid is met 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 B1.4 Hoeveelheid N die naar schatting is gemoeid met de nettogroei (zomerhalfjaar) en nettosterfte (winterhalfjaar) van waterplanten in klei- en veenpolders. NB Aangenomen is 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.

bodentype	N	
	groei (g N m ⁻²)	sterfte (g N m ⁻²)
klei	1,92	0,38
veen	1,85	0,37

Totale stikstofretentie in poldersystemen

Tabel B1.5 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 open water volgens het NHI (www.nhi.nu). 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 B1.5 Geschatte hoeveelheid stikstofretentie in klei- en veenpolders.

bodemtype	zomerhalfjaar (g N m ⁻²)	winterhalfjaar (g N m ⁻²)
klei	11,8	5,0
veen	4,4	1,0

Vanwege deze eerste ordebenadering voor de stikstofdynamiek kan naar analogie van de methodiek voor de vrij afwaterende gebieden ook hier een retentie optreden die de 100% overschrijdt. Derhalve wordt een limitering toegepast van maximaal 90% retentie op de inkomende stikstofvrucht.

2.4 Retentie van fosfor in poldersystemen

Voor fosfor is het niet mogelijk gebleken om relaties af te leiden op basis van het areaal waterbodembodem. Op basis van diverse studies wordt voor fosfor in poldersystemen een retentie van 20% aangenomen voor puntbronnen en van 50% voor diffuse bronnen.

B1.5.2 Retentie in vrij afwaterende gebieden

In de relevante literatuur voor vrij afwaterende gebieden wordt vaak een verband gelegd tussen de retentie voor N en P en de 'specifieke afvoer' (o.a. Klein et al., 2011; Seitzinger et al., 2002). De 'specifieke afvoer' is gedefinieerd als de afvoer bij het uitstroompunt van het stroomgebied, gedeeld door het bovenstroomse wateroppervlak (zie Vergelijking 2).

De eerder in Van Boekel et al. (2011) gebruikte relaties gingen uit van 'hydraulische verblijftijd', die van de 'specifieke afvoer' verschilt door in plaats van wateroppervlak het bovenstroomse watervolume in de noemer mee te nemen. Het verschil tussen wateroppervlak en watervolume is de waterdiepte die in vrij afwaterende stroomgebieden erg variabel is in zowel tijd als ruimte. De hypothese is dat vanwege deze variabiliteit de retentie van N en P voor de grotere (deel)stroomgebieden minder goed is te relateren aan de 'hydraulische verblijftijd'. Daar komt bovendien nog bij dat de waterdiepte aanzienlijk slechter karteerbaar is dan het wateroppervlak.

$$Q_{\text{specifiek}} = \frac{Q_{\text{afvoerpunt}}}{A_{\text{water}}} \quad (2)$$

waarin:

$Q_{\text{specifiek}}$ = specifieke afvoer (m³ s⁻¹ ha⁻¹)

Q_{afvoer} = afvoer bij uitstroompunt stroomgebied (m³ s⁻¹)

A_{water} = open wateroppervlak in het deelstroomgebied (ha)

Voor deze studie zijn deze verbanden bepaald voor een aantal vrij afwaterende stroomgebieden. 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 nutriëntenvrucht 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. Het tweede criterium is hieraan gerelateerd en eveneens bedoeld om onbekende overige bronnen te elimineren. Uiteindelijk bleken er vier vrij afwaterende stroomgebieden te voldoen aan bovenstaande criteria:

- Drentsche Aa
- Schuitenbeek
- Hoevelakense, Barneveldse en Esvelderbeek (HBE-beek)
- Wapserveensche en Vledder Aa (WV Aa)

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

$$R_a = L_{uitspoeling} - L^*_{uitstroom} \quad (3)$$

waarin:

R_a = absolute nutriëntenretentie in het oppervlaktewater (g)

$L_{uitspoeling}$ = uitspoeling van nutriënten vanuit het landsysteem (g)

$L^*_{uitstroom}$ = uitstromende nutriënten bij uitstroompunt, gecorrigeerd voor andere bronnen dan de nutriëntenuitspoeling (g)

De nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem ($L_{uitspoeling}$) is voor de Drentsche 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, versie 2.4, gebruikt (Wolf et al., 2003).

Bij de correctie van de uitstromende nutriëntenvracht ($L^*_{uitstroom}$) voor de nutriëntenbronnen buiten de uitspoeling (zoals RWZI's en industriële lozingen) is rekening gehouden met de retentie die aangrijpt op deze nutriëntenbronnen (volgens de EmissieRegistratie), zoals eerder bepaald in Van Boekel et al. (2011). Tabel 1 geeft aan welke data per stroomgebied zijn gebruikt om de 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 maandelijks steekmonsters (in HBE-beek en WV Aa). Ook is lineaire interpolatie gebruikt om ontbrekende debietdata en ontbrekende debietsproportionele gemeten nutriëntenconcentraties aan te vullen.

Tabel 1 Data per stroomgebied ter bepaling van de uitgaande nutriëntenvracht (=debiet *concentratie) bij het uitstroompunt

	debiet			nutriëntenconcentraties	
	meetlocatie	meetfrequentie	meetlocatie	meetfrequentie	meetmethode
Drentsche Aa	*	Dagelijks	1114	Wekelijks	debietsproportioneel
Schuitenbeek	25210	Dagelijks/elk uur	25210	Wekelijks	debietsproportioneel
HBE-beek	4070	Dagelijks	29738	Maandelijks	Steekmonster
WV Aa	Stuw Wulpen	dagelijks	1STEASRO	maandelijks	steekmonster

* op basis van modelresultaten van het hydraulische model SWQN (Smit et al., 2009).

Verband tussen retentie en specifieke afvoer

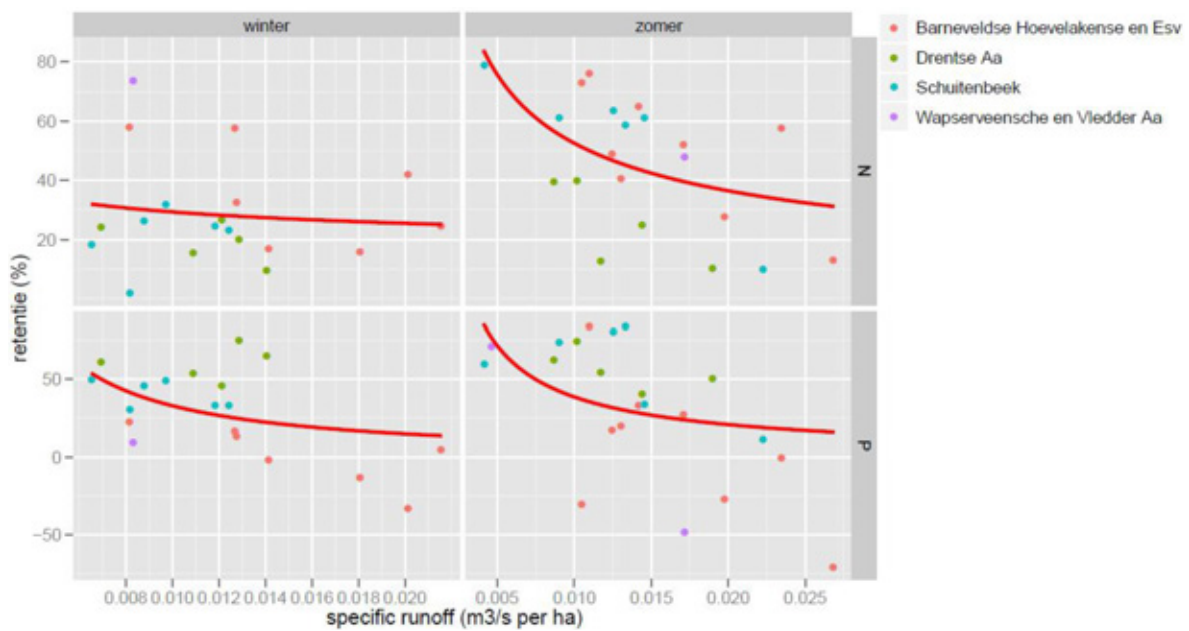
De retentiefraction (R_f), het deel van de totale nutriëntenbelasting dat in het stroomgebied wordt vastgelegd, kan als volgt worden gerelateerd aan de 'specifieke afvoer' $Q_{specifiek}$ (Klein et al., 2011; Seitzinger et al., 2002):

$$R_f = a \cdot Q^b_{specifiek} \quad (4)$$

waarbij a en b nader te bepalen coëfficiënten zijn.

Voor de vier stroomgebieden zijn deze coëfficiënten bepaald voor het winter- en het zomerhalfjaar, omdat dit de temporele resolutie is van zowel het KRW-Echo-model als de KRW-Verkenner. In elk stroomgebied zijn voor elk zomer- en winterhalfjaar met voldoende meetdata de retentie en de 'specifieke afvoer' bepaald, wat resulteert in de puntenwolken in Figuur 1. 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).

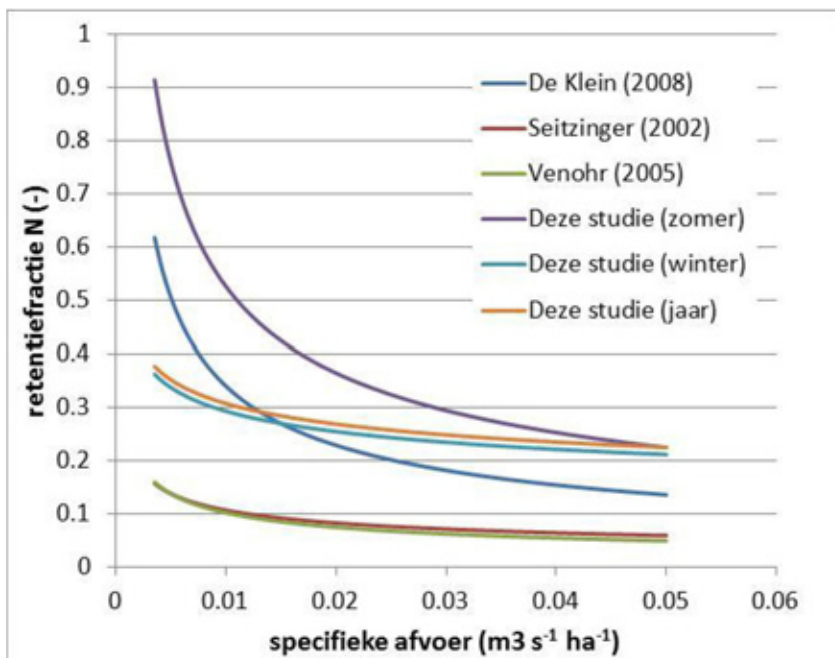
De puntenwolken in Figuur 1 zijn gefit met Vergelijking 3, wat resulteert in waarden voor de coëfficiënten a en b (Tabel 2). Te zien is dat de fit in alle gevallen matig is. Dit suggereert dat de 'specifieke afvoer' niet de enige verklarende variabele is voor de retentie, uitgaande van juiste metingen en modeldata. Het gevonden verband voor N is in Figuur 2 vergeleken met verbanden afgeleid in andere studies (Klein et al., 2011; Venohr et al., 2005; Seitzinger et al., 2002), waaraan overigens wel andere temporele en ruimtelijke schaalniveaus ten grondslag liggen.



Figuur 1 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 4).

Tabel 2 Gevonden coëfficiënten voor de vier stroomgebieden op basis van '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 2 Verband tussen de retentiefractione voor stikstof en de 'specifieke afvoer', gevonden in verschillende studies naar laaglandstroomgebieden in Europa en Amerika. NB 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., 2011). Daarbij heeft de in deze studie berekende retentiefractione alleen betrekking op de nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem, in tegenstelling tot de andere studies die de overige nutriëntenbronnen ook meenemen.

Een bekend nadeel van de machtsbenadering (Vergelijking 3) is dat de retentiefractione groter dan 1 kan worden bij kleine waarden voor de 'specifieke afvoer'. In deze gevallen is de retentiefractione afgekapt tot 90% van de inkomende vracht, omdat grotere retentiewaarden onrealistisch worden geacht.

B1.5.3 Referenties retentiemethodiek

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.

Alterra rapport 2121, Alterra, Wageningen.

Gerven, L.P.A. van, A.A.M.F.R. Smit, P. Groenendijk, F.J.E. van der Bolt en J.J.M. de Klein, 2009. Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveau's. Alterra rapport 1848, Alterra, Wageningen.

Klein, J. M. de, A. Koelmans, 2011. Quantifying seasonal export and retention of nutrients in West European lowland rivers at catchment scale. *Hydrological Processes* 25 (13), 2102-2111.

Massop H.Th.L, J.W.J. van der Gaast & A.G.M. Hermans; Kenmerken van het ontwateringsstelsel in Nederland. Alterra rapport 1397, gepubliceerd: 28 feb 2007; 94 pp.

Muhammetoglu, A. and S. Soyupak, 2000. A three-dimensional water quality-macrophyte interaction model for shallow lakes. *Ecological Modelling*, Vol. 133, pp. 161-180.

Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011a. Nutriëntenuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentsche 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. Nutriëntenuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitenbeek. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-II. Wageningen, Alterra, rapportnummer 2219.

Roijackers, R., Szabó, S., and Scheffer, M., 2004. Experimental analysis of the competition between algae and duckweed. *Hydrobiologie* 160, 401-412.

-
- Seitzinger S.P., Styles R.V., Boyer E.W., Alexander R.B., Billen G., Howarth, R.W., Mayer B., Van Breemen N. 2002. Nitrogen retention in rivers: model development and application to watersheds in the northeastern USA. *Biogeochemistry* 57: 199–237.
- Siderius C., P. Groenendijk, L.P.A. van Gerven, M.H.J.L. Jeuken, 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, L.P.A. van Gerven, 2009. Process description of SWQN; A simplified hydraulic model. Alterra Report 1226.1, Alterra, Wageningen.
- Venohr M., Donohue I., Fogelberg S., Arheimer B., Irvine K. & Behrendt H. (2005) Nitrogen retention in a river system and the effects of river morphology and lakes. *Water Science and Technology*, 51, 19-29.
- Veraart, A.J., W. J. J. de Bruijne, J. M. de Klein, T. H. M. Peeters, M. Scheffer, 2011a. Effects of aquatic vegetation type on denitrification. *Biogeochemistry* 104:267–274.
- Veraart, A.J., de Klein, J.J.M., Scheffer, M., 2011b. Warming Can Boost Denitrification Disproportionately Due to Altered Oxygen Dynamics. *PLoS ONE* 6(3): e18508. doi:10.1371/journal.pone.0018508
- Veraart, A.J., M. Rocha Dimitrov, A. Schrier-Uijl, F. Gillissen, H. Smidt, J.J.M. de Klein, Denitrification in Dutch drainage ditches, relations with nitrate and nirK abundance. (tentative title)
- 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 2 Overzicht nutriëntenbronnen in de EmissieRegistratie

De onderstaande tabel geeft een overzicht van de nutriëntenbronnen zoals die in de EmissieRegistratie zijn opgenomen.

Subdoelgroep		bijdrage N of P	ECHO-indeling
Landbouw	Glastuinbouw afvalwater	>1%	LO
	Landbouwbedrijven (o.a. erfafspoeling)	>1%	
	Meemesten sloten	0,1 - 1%	
	Productgebruik landbouw (NMI3 emissies vanuit kassen)	0 (geen)	
	Uit- en afspoeling landelijk gebied (landbouw + natuur)	>1%	UA
Overige industrie	Basismetaal	0,1 - 1%	
	Bouwmaterialen industrie	<0,1 %	
	Grafische industrie	0 (geen)	
	Industrie overig	0 (geen)	
	Metaalelektro	<0,1 %	
	Papier(waren)	0,1 - 1%	
	Rubber- en kunststofverwerkende industrie	<0,1 %	
	Textiel- en tapijtindustrie	0 (geen)	
	Voedings- en genotmiddelenindustrie	>1%	
Chemische industrie	Chemische industrie basisproducten	0,1 - 1%	
	Chemische industrie bestrijdingsmiddelen	<0,1 %	
	Chemische industrie kunstmeststoffen	0,1 - 1%	
	Chemische industrie overig	0,1 - 1%	
Raffinaderijen	Raffinage en verwerking	0,1 - 1%	
Energiesector	Olie- gaswinning land	0 (geen)	
	Opwekking elektriciteit	0,1 - 1%	
	Transport en distributie olie en gas	0 (geen)	
Verkeer en Vervoer	Binnenscheepvaart	0,1 - 1%	
Consumenten	Huishoudelijk afvalwater	0,1 - 1%	
Bouw	Overige bouw	0 (geen)	
Afvalverwijdering	AVI's	0,1 - 1%	
	Overige afvalbedrijven	<0,1 %	
	Storten	<0,1 %	
Drinkwatervoorziening	Overig drinkwater	0 (geen)	
Riolering en waterzuiveringsinstallaties	Energiegebruik en processen	<0,1 %	
	Ongezuiverd rioolwater (regenwaterriolen + overstorten)	0,1 - 1%	
	Effluenten lozingen	>1%	
Handel, Diensten en Overheid	Energiegebruik en processen handel	<0,1 %	
Overig	Atmosferische depositie (open water)	>1%	DW

Bijlage 3 Kenmerken vanggebieden

Tabel B3.a Overzicht vanggebieden in het beheersgebied van Waterschap Aa en Maas

ID	Vanggebieden Aa en Maas	Areaal totaal (ha)	Areaal landbouw (ha)	Balans opgesteld	RWZI effluent	Directe input buitenland	Inlaat Rijks- water
1	Aa bij Helmond	752	99	Ja	ja		
3	Aa van Gemert tot Den Bosch	4046	2892	Ja	ja		
4	Aa vanaf Eeuwselse Loop tot Helmond	1160	582	Ja	ja		
5	Aa, Eeuwselse Loop en Kievitsloop	8463	5796	ja	ja		
9	Astense Aa en Soeloop	3904	2355	Ja			ja
10	Bakelse Aa, Oude Aa en Kaweise Loop	9197	5955	Ja			ja
15	Beekerloop	1154	526	Ja			
16	Beekgraaf	2251	1474	ja			
23	Biezenloop	4492	2853	Ja			
34	Dieze	3171	566	Ja	ja		
35	Drongelens kanaal	5659	1644	Ja			
36	Dungense Loop	2693	1746	ja			
39	Esperloop en Snelle Loop	3982	2243	Ja			ja
50	Goorloop tot aan Wilhelminakanaal	5575	2214	Ja			
51	Goorloop, Boerdonkse Aa, Aa van Helmond	4584	2961	Ja			ja
52	Graafse Raam, Lage Raam, Peelkanaal ea	7619	4853	ja			ja
58	Groote Wetering	8578	5373	Ja	ja		
61	Halsche Beek en Hooge Raam	3852	2662	Ja			
63	Hertogswetering, Hoefgraaf e.a.	16327	9863	Ja	ja		ja
69	Kleine Aa	2392	1540	Ja			
72	Kleine Wetering	1159	621	ja			
73	Koningsvliet Oost	3337	2104	Ja			
74	Koningsvliet West	4197	2482	Ja			
77	Lage Raam gegraven	2840	2218	Ja			
78	Landmeersche Loop	1295	973	ja			
79	Ledeackerse Beek en St Anthonisloop	2691	1943	Ja			
81	Leijgraaf	8461	5670	Ja			
85	Lorregraaf en andere M1 waterlopen	3359	2728	Ja			
98	Munsche Wetering	2835	1659	ja			
101	Oploosche Molenbeek, Oeffeltsche Raam ea	7266	4838	Ja			ja
104	Peelkanaal/Defensiekanaal e.a.	4827	3299	Ja			ja
105	Peelse Loop	5986	3065	Ja			ja
114	Sambeekse Uitwetering + Lactariabeek	4906	3390	ja			ja
118	St Jansbeek	2576	1629	Ja			
119	Stads-Aa	1091	364	ja			
123	Tochtsloot	1030	618	Ja			
126	Tovensche Beek	687	262	Ja			
131	Voordeldonkse Broekloop	1872	1390	Ja			
132	Wambersche Beek	1094	808	ja			
139	Zuid-Willemsvaart Traverse Helmond	727	201	Ja			
14	Bedijkte Maas	3161	1960	Nee	Ja		
21	Beneden Maas	1726	926	Nee			
93	Midden Limburgse en Noord-Brabantse Kanalen (Aa en Maas)	1301	283	Nee	Ja		

Tabel B3.b Overzicht vanggebieden in het beheersgebied van Waterschap Brabantse Delta

ID	Vanggebieden Brabantse Delta	Areaal totaal (ha)	Areaal landbouw (ha)	Balans opgesteld	RWZI effluent	Directe input buitenland	Inlaat Rijks- water
2	Aa of Weertj's	8142	5784	Ja		ja	
7	Agger	7535	3005	Ja	ja		
11	Bath-Oost	1063	561	Ja			
12	Bavelse Leij	1509	478	ja			
20	Beneden Donge	18714	10250	Ja	ja		ja
24	Bijloop – Turfvaart	6602	4372	Ja			
27	Boven Mark	2365	933	Ja		ja	
28	Boven Mark (bovenstrooms)	2029	1510	ja	ja		
29	Bovenloop Donge	10314	5100	Ja	ja		
33	Chaamse Beken	4983	2270	Ja	ja		
43	Galdersche beek	1465	1086	Ja			
44	Gat van den Ham	4059	3469	ja			ja
75	Kruislandse kreken	7094	6169	Ja			
82	Ligne	4904	3436	Ja			
88	Mark en Vliet	40861	25548	Ja			ja
90	Merkske	2642	1757	ja			
96	Molenbeek	5872	3266	Ja		ja	
97	Molenkreek complex	2477	2218	Ja			
108	Rietkreek - Lange Water	2543	2063	Ja	ja		ja
120	Strijbeekse beek	2853	2053	ja			
125	Tonnekreek complex	5762	4997	Ja			
137	Zoom en Bleekloop	4118	1354	Ja			
22	Bergsche Maas	801	731	Nee			ja
31	Brabantse Biesbosch, Amer	2294	1219	Nee			ja
62	Haringvliet Oost, Hollands Diep	6232	3578	Nee			
89	Markiezaatsmeer	3117	645	Nee			
94	Midden Limburgse en Noord Brabantse Kanalen (Biesbosch)	1373	106	Nee			ja
102	Oude Maasje	486	357	Nee			ja
130	Volkerak	1000	814	Nee			ja
138	Zoommeer, Eendracht	841	384	Nee			ja

Tabel B3.c *Overzicht vanggebieden in het beheersgebied van Waterschap Limburg*

ID	Vanggebieden Limburg	Areaal totaal (ha)	Areaal landbouw (ha)	Balans opgesteld	RWZI effluent	Directe input buitenland	Inlaat Rijks- water
6	Aalsbeek	1415	601	Ja			
8	Anselderbeek	2391	417	ja	ja	ja	
25	Bosbeek	2146	441	Ja			
37	Eckeltse beek	2007	984	Ja		ja	
41	Everlose beek	6485	3448	Ja			ja
42	Eyserbeek	2304	1600	ja	ja		
46	Geldernsch Nierskanaal	742	252	Ja		ja	
47	Geleenbeek	19099	8861	Ja	ja		
49	Geul	12358	7317	Ja	ja	ja	
56	Groote Molenbeek	16518	10884	Ja			ja
59	Gulp	4072	2924	ja		ja	
60	Haelense beek en Aabeek	4289	2528	Ja		ja	
65	Itterbeek en Thornerbeek	736	307	Ja		ja	
66	Jeker	1303	420	Ja		ja	
68	Keutelbeek	2081	960	ja			
76	Kwistbeek	3554	2013	Ja			ja
83	Lingsforterbeek	1892	753	Ja		ja	
84	Loobeek en Molenbeek	6408	3625	Ja	ja		
86	Maasnielderbeek Benedenloop	1484	428	ja	ja		
87	Maasnielderbeek Bovenloop	800	511	Ja			
91	Middelsgraaf	1512	834	Ja		ja	
99	Niers	3399	2034	Ja	ja	ja	
100	Oostrumsche Beek	4818	3350	ja			ja
103	Peelkanaal	4939	2775	Ja			
106	Putbeek en Pepinusbeek	4313	3078	ja			
109	Rode Beek	5508	2011	Ja			
110	Roer	4489	2276	Ja		ja	
111	Roggelse beek	9027	6013	Ja			ja
115	Schelkensbeek en Gansbeek	2082	1383	ja			
116	Selzerbeek	2279	1295	Ja		ja	
121	Swalm	1792	913	ja		ja	
122	Tielebeek	960	457	Ja			
127	Tungelroysche beek	16472	9828	Ja		ja	ja
128	Vlootbeek Benedenloop	2910	1739	Ja			
129	Vlootbeek Bovenloop	1924	1131	Ja		ja	
134	Worm	857	320	Ja	ja	ja	
140	Rode Beek Vlodrop	277	57	Ja		ja	
30	Bovenmaas	8080	4958	Nee	ja		
53	Grensmaas	9269	4008	Nee	ja		
136	Zandmaas	30715	15657	Nee	ja		

Tabel B3.d *Overzicht vanggebieden in het beheersgebied van Waterschap Dommel*

ID	Vanggebieden Dommel	Areaal totaal (ha)	Areaal landbouw (ha)	Balans opgesteld	RWZI effluent	Directe input buitenland	Inlaat Rijks- water
13	Beatrixkanaal	1915	387	ja			
18	Beekse waterloop	4921	3480	Ja			
26	Boven Dommel	6550	2025	Ja		ja	
32	Broekleij	2447	1488	Ja			
38	Ekkersrijt	7700	2251	ja			
40	Essche Stroom	3207	1267	Ja	ja		
45	Geen KRW-waterlichaam	1030	596	ja			
48	Gender	2119	481	Ja			
54	Groote Aa/ Buulder Aa	9562	4741	Ja	ja	ja	
55	Groote Beerze	19808	10371	Ja	ja	ja	
57	Groote waterloop	3263	1536	Ja			
64	Hooiconkse beek	3269	1507	Ja			
67	Keersop/ Beekloop	6985	4317	ja		ja	
70	Kleine Beerze	5325	3210	Ja			
71	Kleine Dommel, Sterkselse Aa	13726	5404	Ja			
80	Leij-Pop.L/Rov.L-Voortseestroom	8633	3442	Ja		ja	
92	Midden- en Beneden-Dommel	12226	6303	ja	ja		
107	Reusel	10628	6083	Ja			
112	Rosep	2843	1617	ja	ja		
113	Run	4559	2433	Ja			
117	Spruitenloopje/Roodloop	4446	2261	Ja			
124	Tongelreep	5266	981	Ja		ja	
133	Witte loop/Peelrijt	3178	1385	Ja			
135	Zandleij	7294	4111	Ja			
95	Midden-Limburgse en Noord-Brabantse Kanalen (Reusel)	1459	921	nee			

Bijlage 4 Kaarten herkomst

Toelichting kaartbeelden

De kaartbeelden hebben betrekking op het aandeel van bronnen in de fosfor- en stikstofbelasting die is berekend voor de periode 2010 tot en met 2013. Weergegeven is het jaargemiddelde over die periode en het zomerhalfjaar-gemiddelde over die periode. De afwenteling van bovenstroomse vanggebieden is gelabeld voor het aandeel dat RWZI's, ingelaten rijkswater en toestromend buitenlandwater hierin hebben.

Titel kaart	Toelichting
Bijdrage uit- en afspoeling landbouw	Uit- en afspoeling binnen het vanggebied vanuit landbouwgronden (totaal)
Bijdrage Actuele landbouwpraktijk	Uit- en afspoeling binnen het vanggebied voor zover veroorzaakt door actuele bemesting met daaraan uit ER toegevoegd erfafspoeling, meemesten sloten en glastuinbouw
Bijdrage Historische bemesting	Uit- en afspoeling binnen het vanggebied voor zover veroorzaakt door historische bemesting
Bijdrage uit- en afspoeling natuurgronden	Uit- en afspoeling binnen het vanggebied vanuit natuurbodems
Bijdrage Overstorten	Belasting binnen het vanggebied door riooloverstorten
Bijdrage Overige bronnen	Belasting binnen het vanggebied door overige bronnen (lozingen door Industrie, regenwaterriolen, directe lozingen huishoudelijk afvalwater, depositie op open water e.a.)
Bijdrage RWZI's	Belasting afkomstig uit RWZI's
Bijdrage Aanvoer buitenland	Belasting afkomstig uit buitenland via aanvoer / toestroming oppervlaktewater
Bijdrage Inlaat rijkswateren/kanalen	Belasting afkomstig uit ingelaten of toestromend rijkswater (Peelkanaal, Wilhelminakanaal e.a.)
Afwenteling inlaat overige bronnen	Inlaat of toestromend water bovenstroomse vanggebieden, exclusief het aandeel van RWZI's, rijkswater en buitenlandwater hierin

De navolgende toelichting betreft de uitkomsten van de analyse voor het zomerhalfjaar, zoals gepresenteerd op de bijbehorende kaarten. De nutriënten stikstof en fosfaat in het zomerhalfjaar zijn het relevantst voor de watertoestand (KRW) in de stromende wateren van Noord-Brabant en Limburg.

Bijdrage RWZI's

Het aandeel van stikstof en fosfaat dat via het effluent van RWZI's in het oppervlaktewater terechtkomt, verschilt sterk per vanggebied en is vanzelfsprekend afhankelijk waar de lozing plaatsvindt en hoe het water naar de benedenstrooms gelegen wateren stroomt. De lozingspunten en het verspreidingspatroon van stikstof en fosfaat zijn goed zichtbaar op de kaarten. Het aandeel in de bijdrage varieert van 0% (geen RWZI-invloed) tot in een aantal gebieden meer dan 70%. In die gebieden spelen dan weinig andere bronnen die van invloed zijn op het KRW-waterlichaam en/of maakt het effluentwater een belangrijk deel uit van de wateraanvoer.

Buitenland

Het aandeel van stikstof en fosfaat via de direct grensoverschrijdende wateren vanuit Vlaanderen, Wallonië en Duitsland is met name groot in diverse vanggebieden in Limburg en enkele in Noord-Brabant. In Brabant is zichtbaar dat dit aandeel zich verspreidt en verdunt richting de meer benedenstrooms gelegen KRW-waterlichamen. In Limburg is deze verspreiding minder aan de orde, aangezien de vanggebieden rechtstreeks of via slechts een enkel benedenstrooms gelegen gebied uitmonden in de Maas.

Actuele landbouwpraktijk

Het aandeel stikstof en fosfaat naar oppervlaktewater afkomstig vanuit de landbouwgronden door de actuele landbouwpraktijk kent grote verschillen tussen de vanggebieden. Het varieert van minder dan

5% aandeel tot meer dan 70% aandeel. Gebieden met het grootste aandeel komen het meest voor in Midden- en Oost-Brabant en in Noord- en Midden-Limburg.

Bijdrage historische bemesting

Het aandeel historische bemesting dat emissie vanuit landbouwgronden van nutriënten naar oppervlaktewater veroorzaakt, verschilt sterk tussen stikstof en fosfaat. Het aandeel voor stikstof in het zomerhalfjaar is in vrijwel alle gebieden klein (0-5%). Het aandeel historische bemesting voor fosfaat ligt hoger en varieert tussen de vanggebieden tussen minder dan 5% tot meer dan 20%. De hoogste waarden komen voor in Midden- en Oost-Brabant en Zuid-Limburg.

Nalevering nutriënten uit ondergrond landbouwgronden

De totale af- en uitspoeling van nutriënten vanuit landbouwgronden wordt ook veroorzaakt door uitloging, mineralisatie, kwel en stikstodepositie, ofwel de uitspoeling die *niet* veroorzaakt is door bemesting. Voor stikstof is dit aandeel relatief beperkt: veelal kleiner dan 5% en in een aantal gebieden 5-20%. Voor fosfaat is dit aandeel groter: veelal meer dan 5% en in een aantal gebieden meer dan 20%. En in een enkel gebied zelfs meer dan 40%, zoals in West-Brabant.

Uit- en afspoeling landbouw

Dit betreft de totale uit- en afspoeling binnen het vanggebied vanuit landbouwgronden. Het is dus een optelsom van de informatie uit de kaarten: 'actuele landbouwpraktijk', 'historische bemesting' en levering nutriënten uit ondergrond landbouwgronden. Zowel voor stikstof als fosfaat is het aandeel nutriënten dat via landbouwgronden in het oppervlaktewater terechtkomt ten opzichte van andere bronnen vaak relatief groot. De verschillen tussen vanggebieden zijn echter ook groot: gebieden met <5% bijdrage tot gebieden met >70% bijdrage.

Uit- en afspoeling natuur

Dit betreft alle uit- en afspoeling binnen het vanggebied vanuit natuurbodems, veroorzaakt door depositie, uitloging, mineralisatie en kwel. Voor zowel stikstof als fosfaat is dit aandeel relatief laag: de helft van de gebieden <5% en de andere helft meer dan 5%. De gebieden met een iets hoger aandeel bevinden zich door het relatief grote areaal natuur in de meer bovenstroomse delen van het bekengebied in Noord-Brabant.

Riooloverstorten

Zowel voor stikstof als fosfaat is het aandeel vanuit riooloverstorten relatief laag: veelal <5% en in een aantal vanggebieden tussen 5-20%. Alhoewel het aandeel over het zomerhalfjaar in de nutriëntenbijdrage laag is, kan het overstorten van de riolering bij hevige buien door het piekarakter lokaal en verder benedenstrooms negatieve effecten hebben op de ecologie in het water (zuurstofloosheid) en voor aangrenzende landgebruikers (afval en vervuilende stoffen bij overstroming).

Overige bronnen

Deze kaarten geven het aandeel van belasting binnen het vanggebied door een optelsom van overige bronnen (lozingen door Industrie, regenwaterriolen, directe lozingen huishoudelijk afvalwater, depositie op open water e.a.). Voor stikstof is het aandeel veelal tussen 5-20%, met in enkele gevallen minder dan 5% of meer dan 20%. In een enkel vanggebied met weinig andere bronnen is het aandeel overige bronnen het grootst (40-70% of zelfs >70%). Voor fosfaat ligt het aandeel overige bronnen lager: veelal <5% en soms tot 20% of meer. Het stedelijk gebied rond Eindhoven valt op met zowel voor stikstof als fosfaat een relatief groot aandeel.

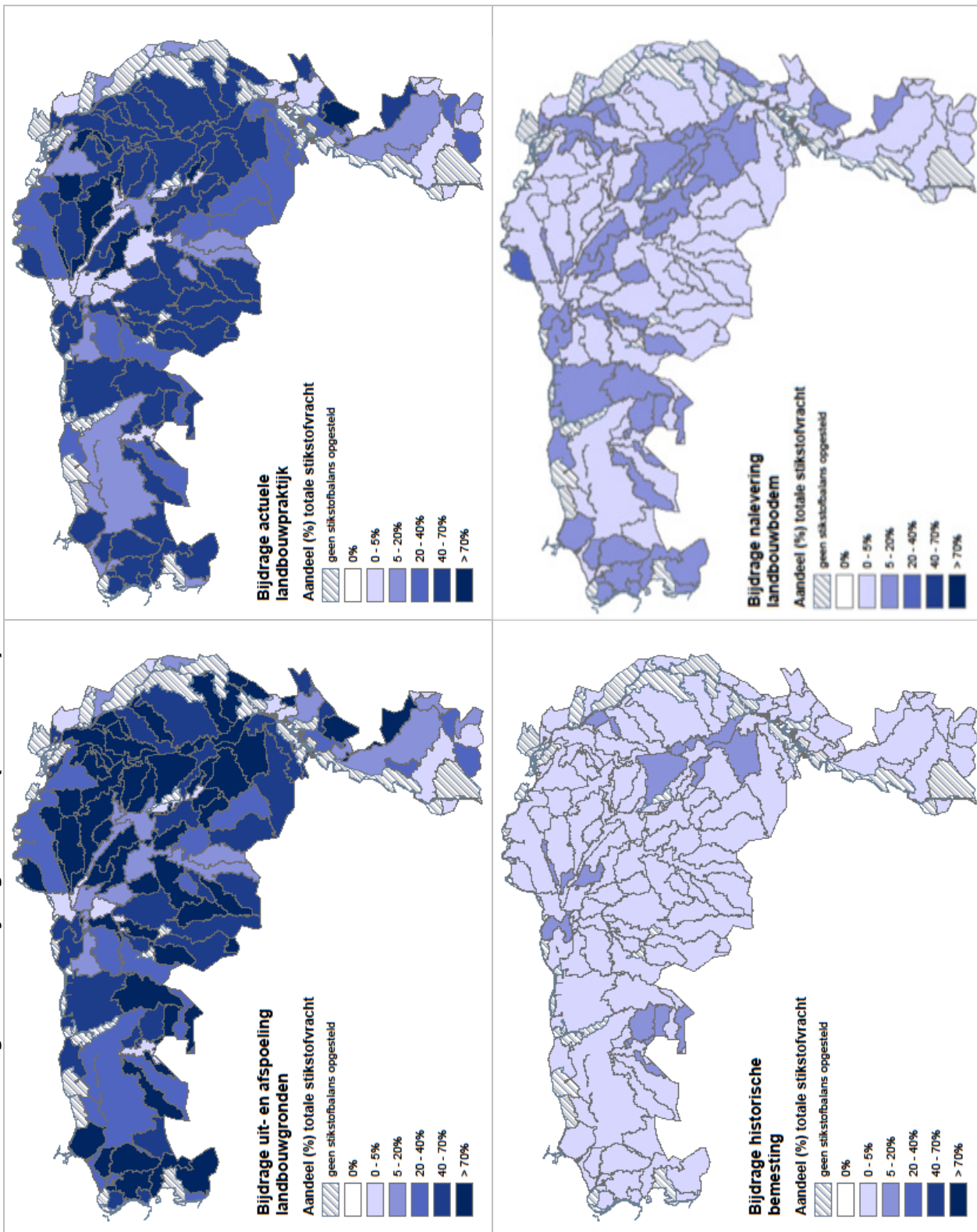
Inlaat rijkswateren

In een aantal gebieden in Oost-Brabant, Noord- en Midden-Limburg en in West-Brabant is sprake van aanvoer van stikstof en fosfaat via het kanalenstelsel en/of rechtstreekse aanvoer vanuit de Maas. Het aandeel varieert van kleiner dan 5% tot meer dan 40%, voor fosfaat in een enkel geval tot meer dan 70% waar het aanwezige water in de zomerperiode merendeels bestaat uit aanvoerwater.

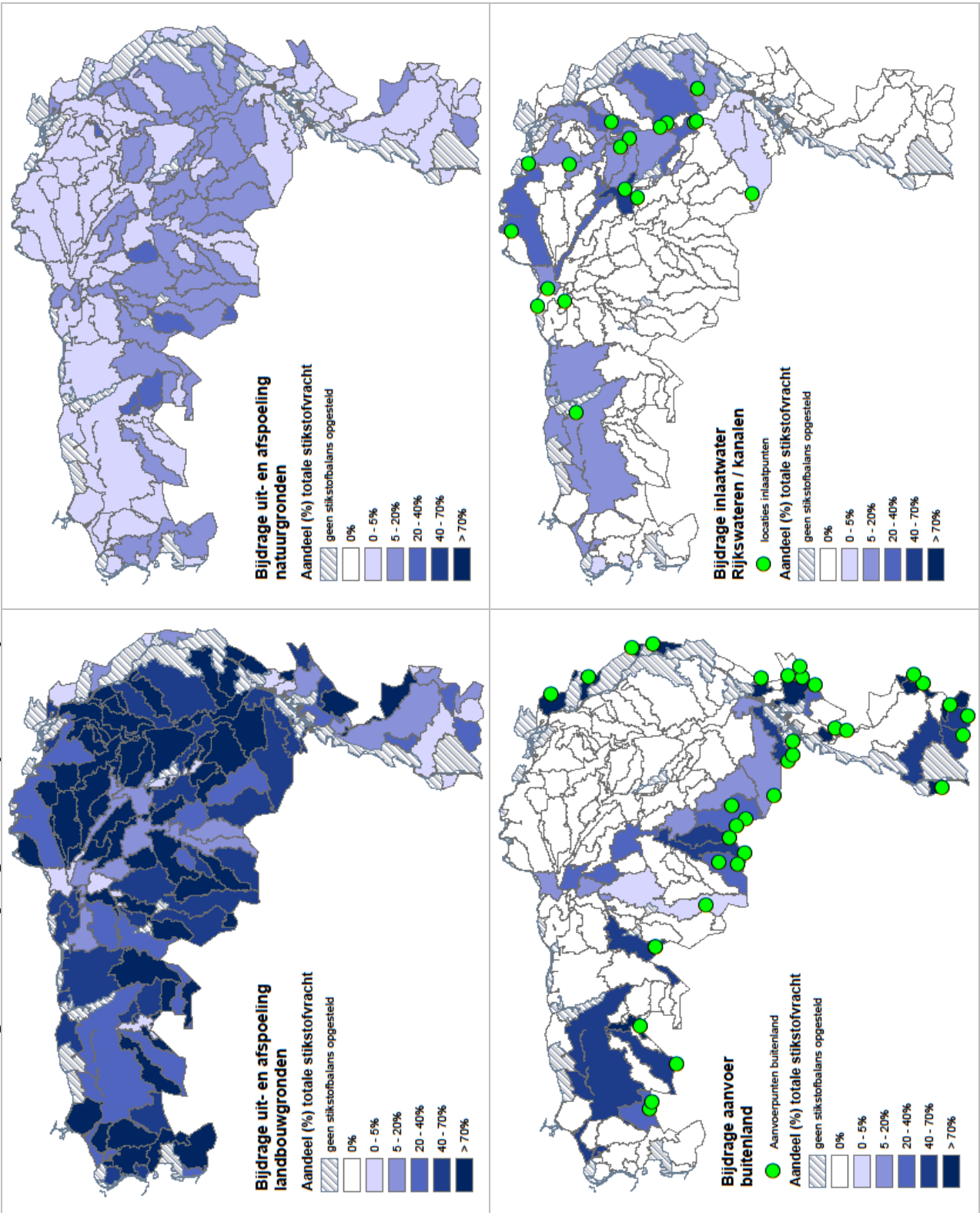
Inlaat overige bronnen

De regionale doorvoer van bronnen – anders dan RWZI, buitenland en rijkswater – komt vooral voor in de gebieden met beeksystemen die geen of beperkt via het kanalenstelsel of via de Maas aanvoer van water krijgen. In de gebieden waar dit speelt, varieert het aandeel tussen 5% tot meer dan 40%.

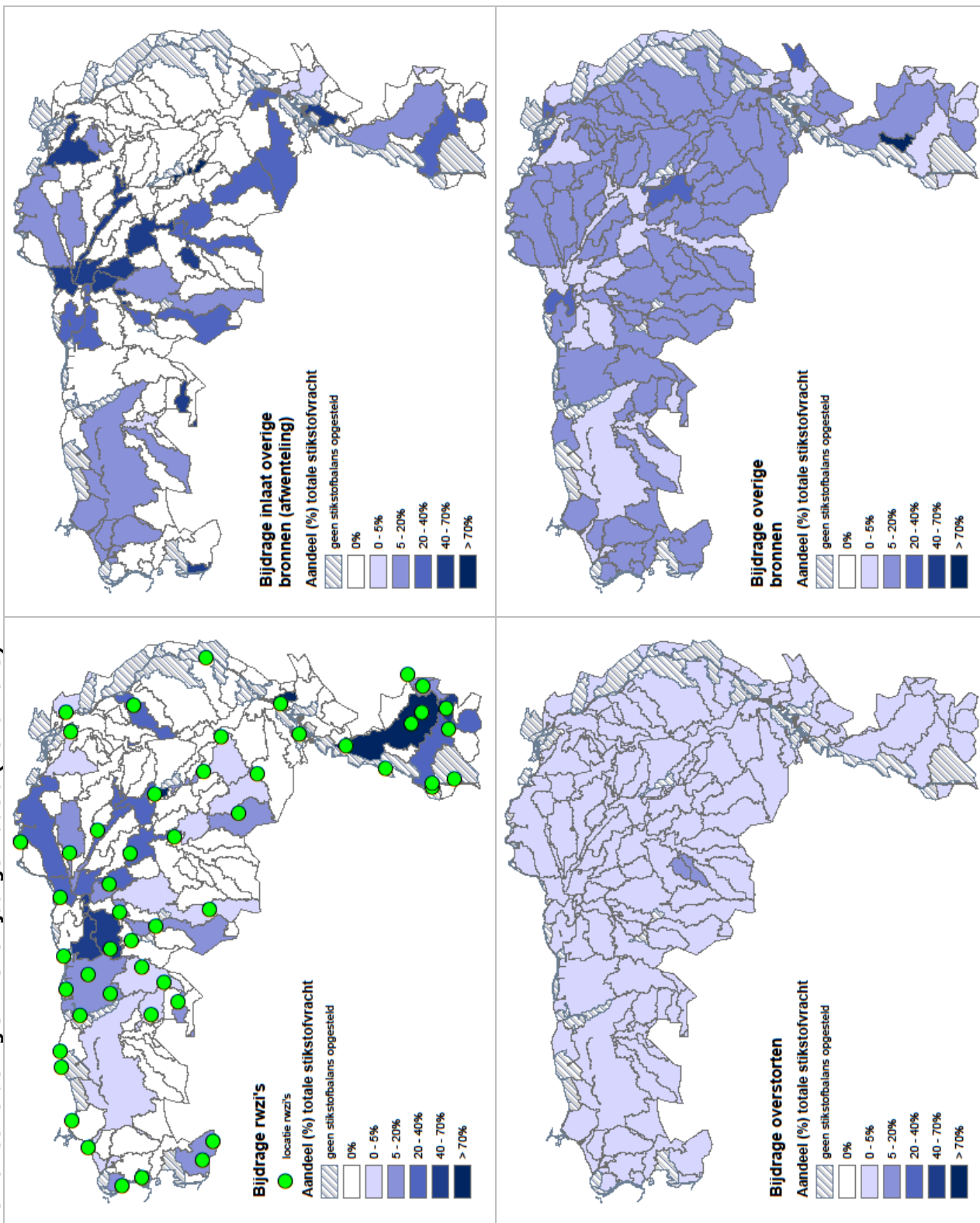
Herkomst verdeling STIKSTOF jaargemiddeld (2010-2013)



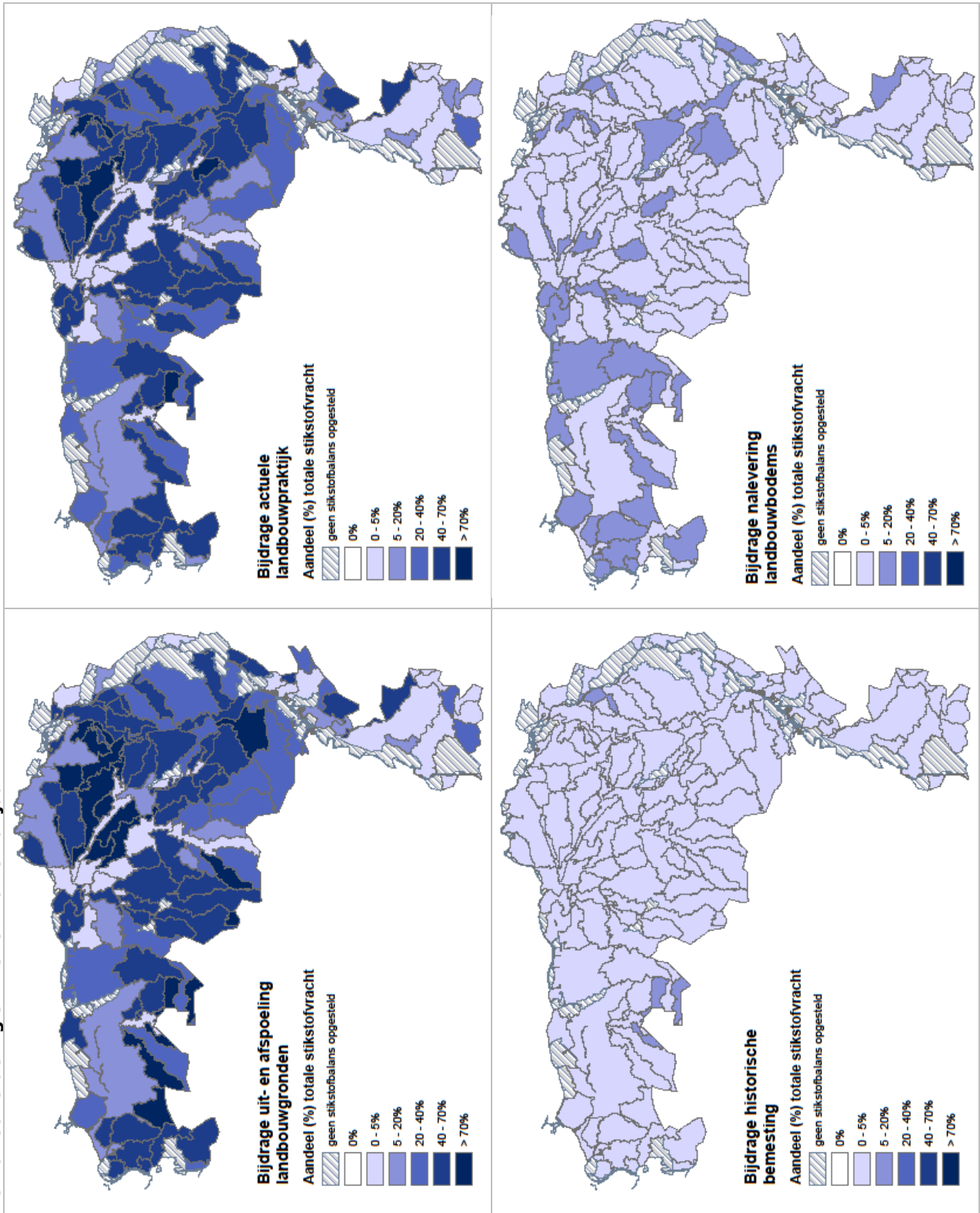
Herkomst verdeling STIKSTOF jaargemiddeld (2010-2013)



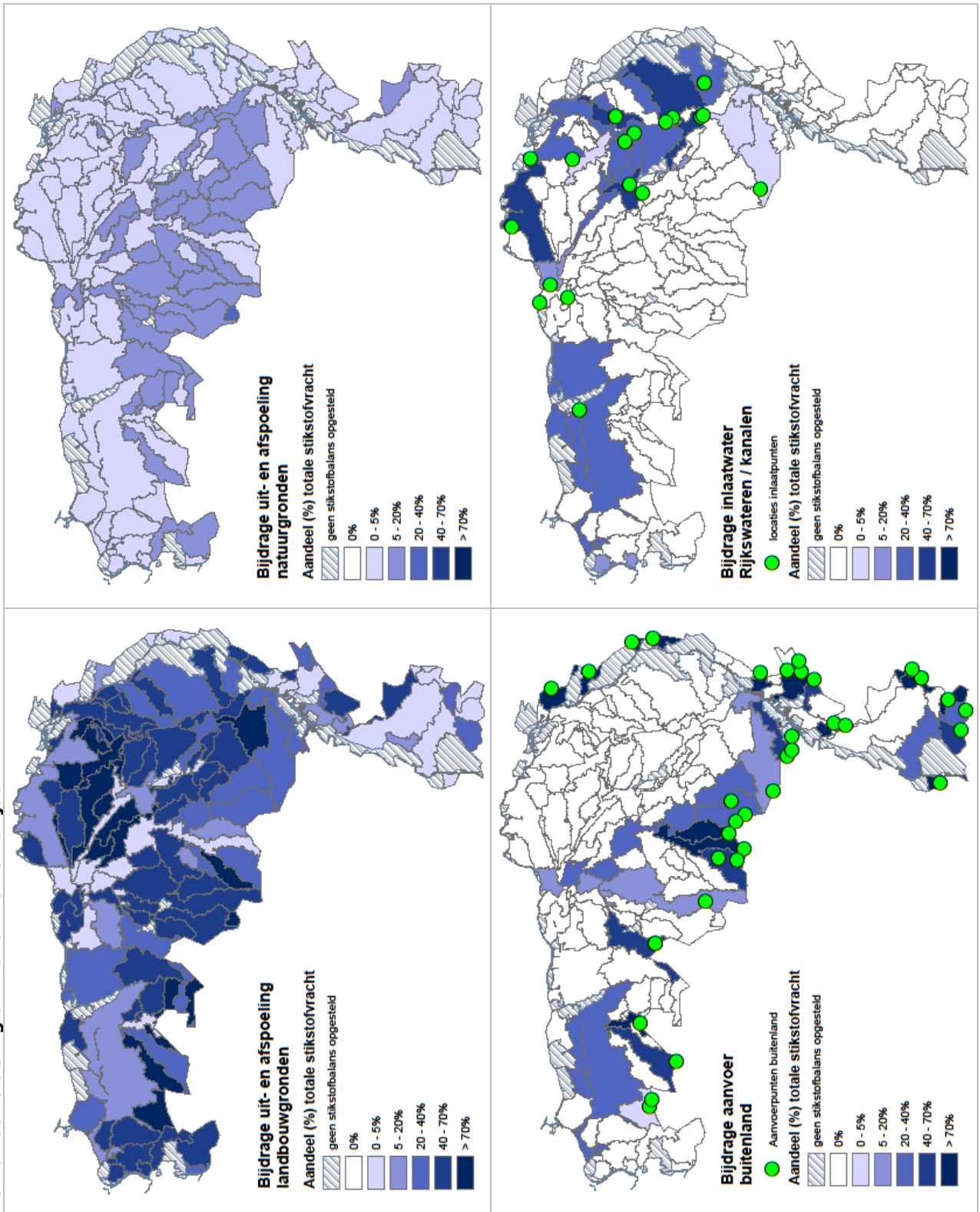
Herkomst verdeling STIKSTOF jaargemiddeld (2010-2013)



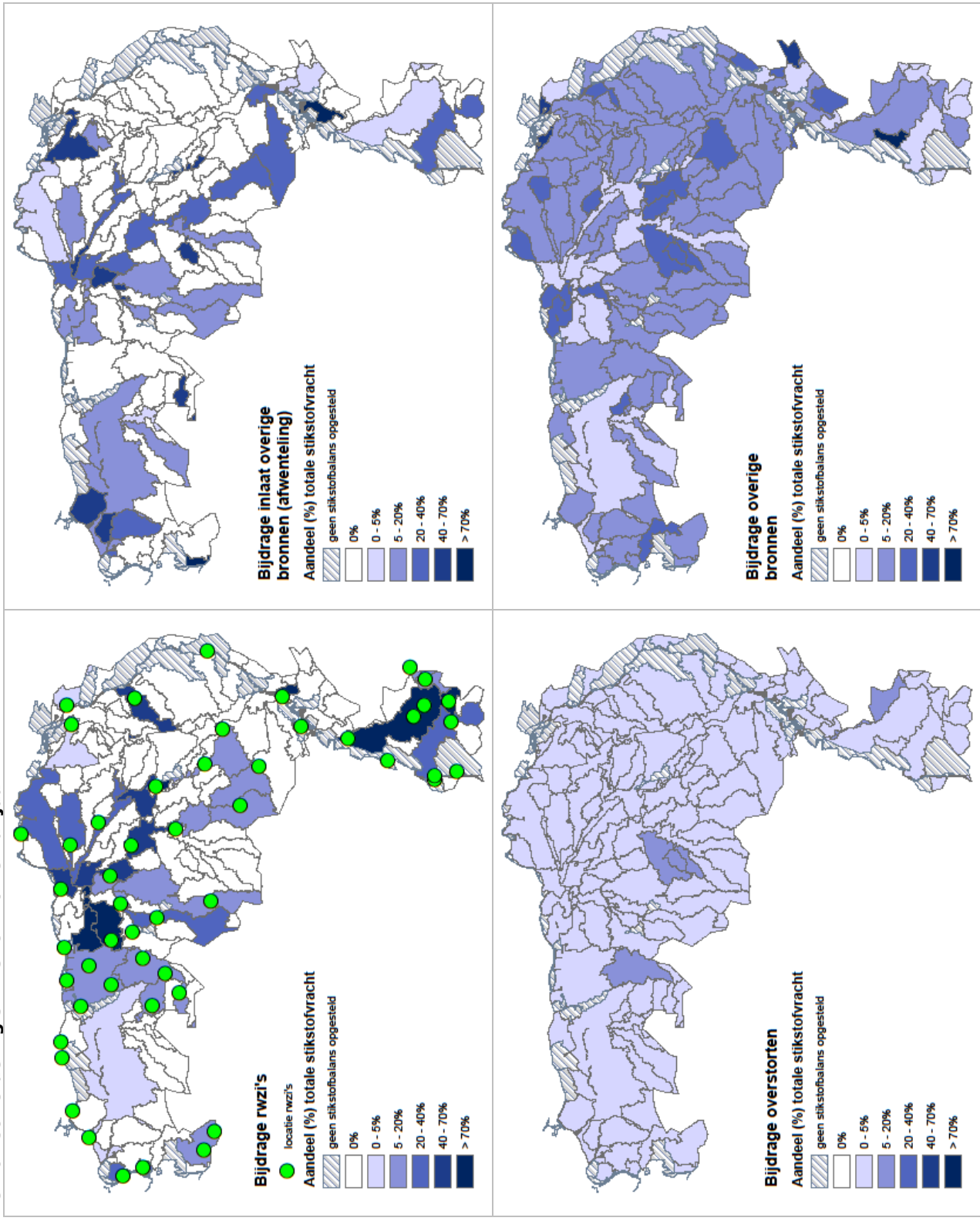
Herkomst verdeling STIKSTOF zomerhalfjaar



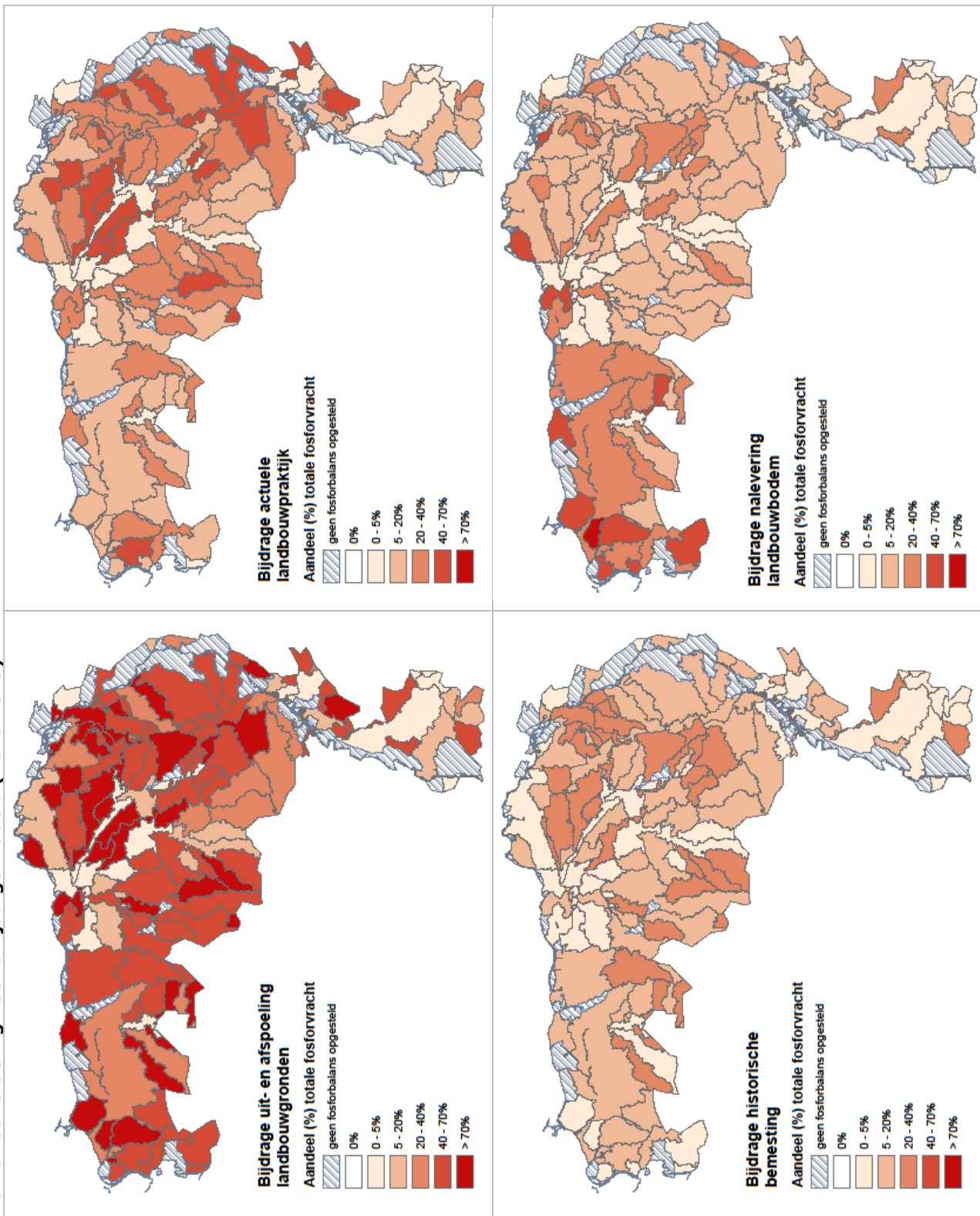
Herkomst verdeling STIKSTOF zomerhalfjaar



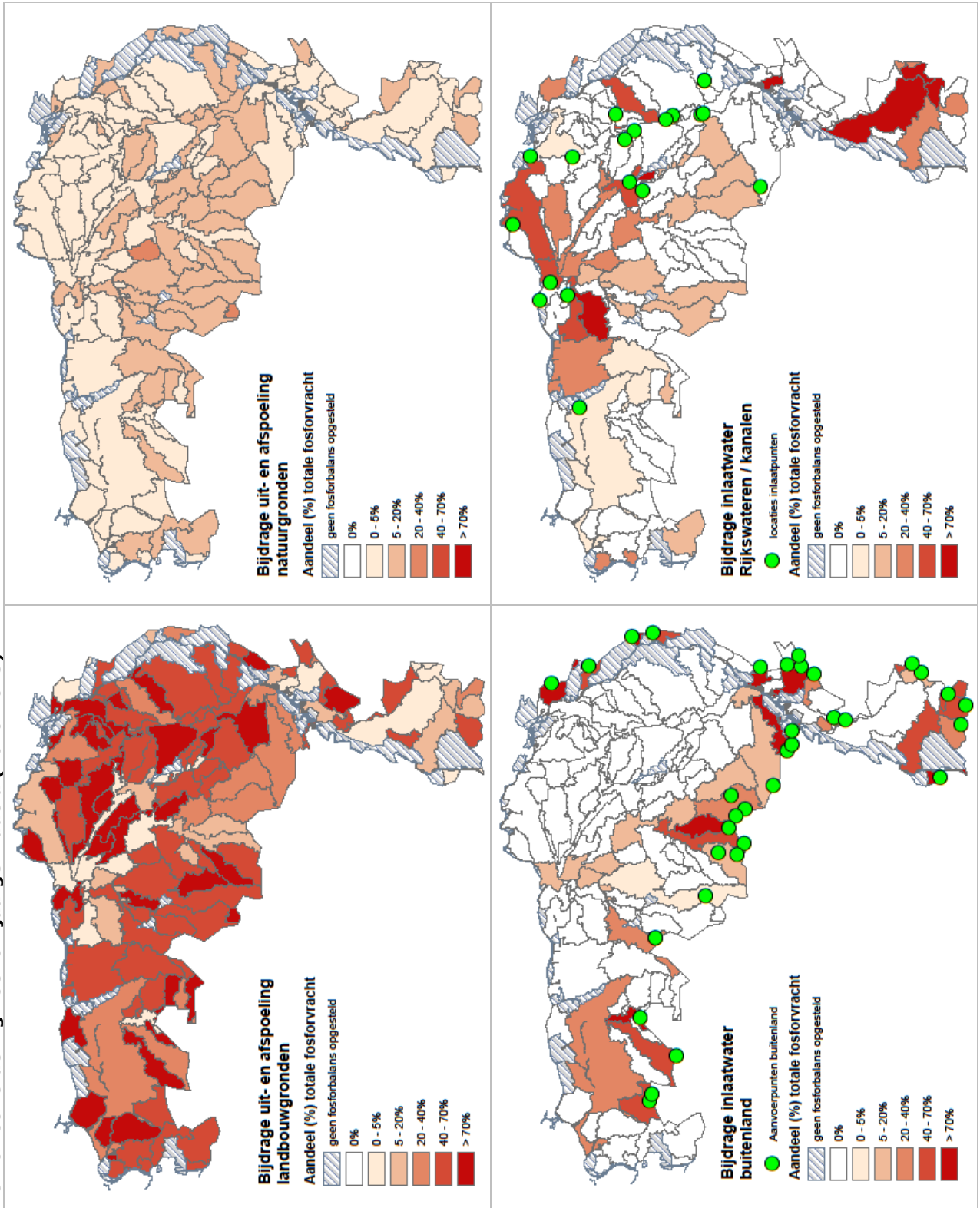
Herkomst verdeling STIKSTOF zomerhalfjaar



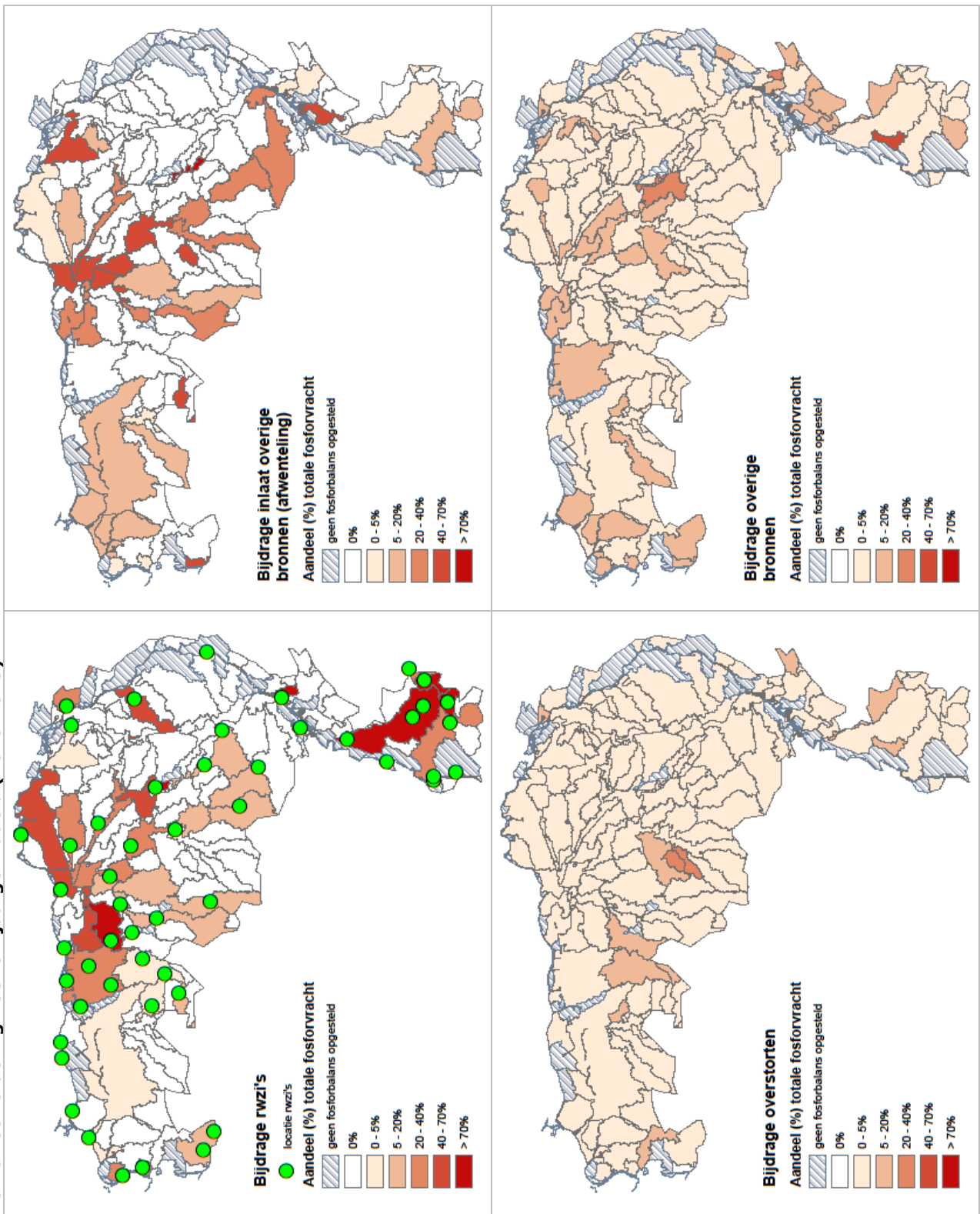
Herkomst verdeling FOSFOR jaargemiddeld (2010-2013)



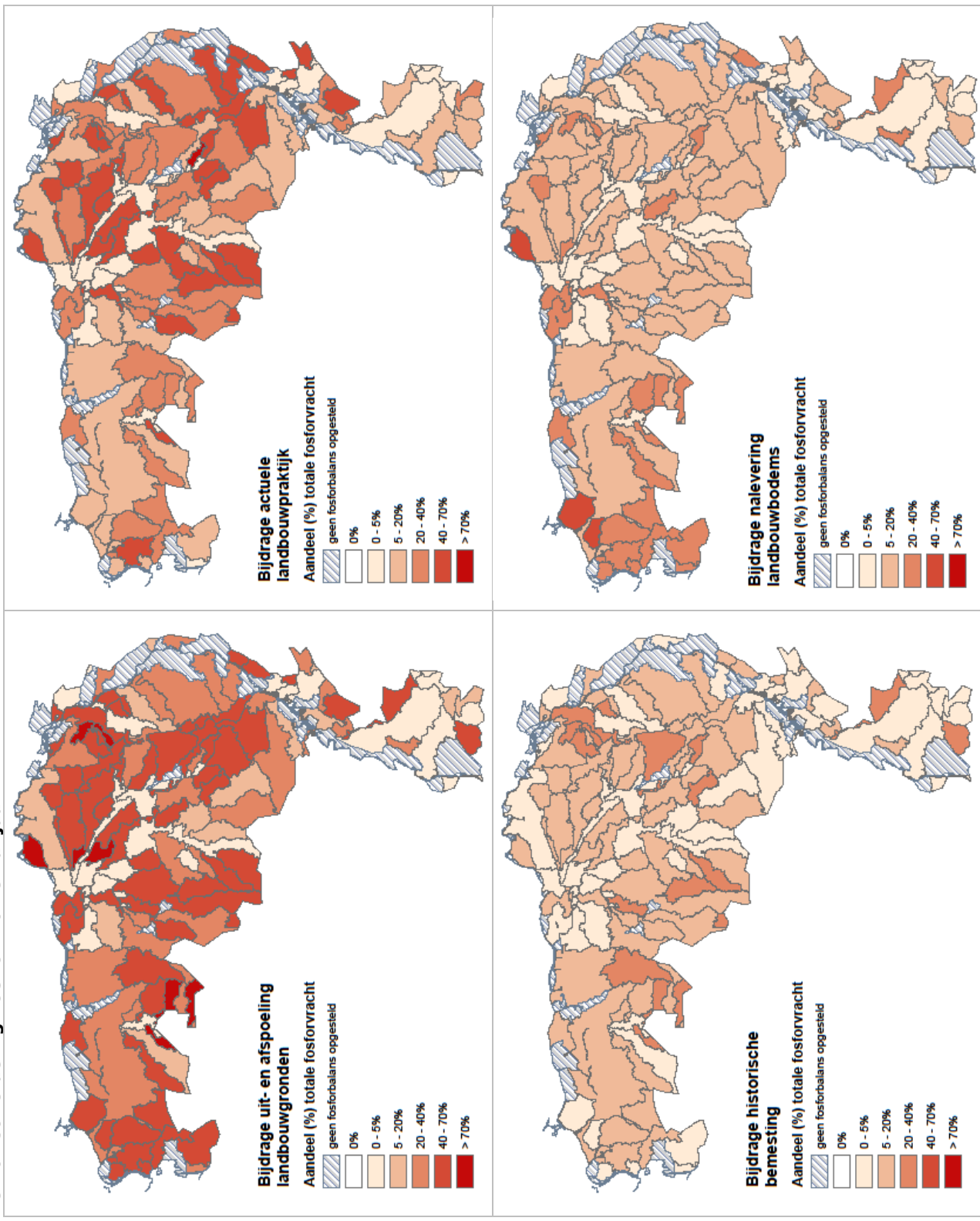
Herkomst verdeling FOSFOR jaargemiddeld (2010-2013)



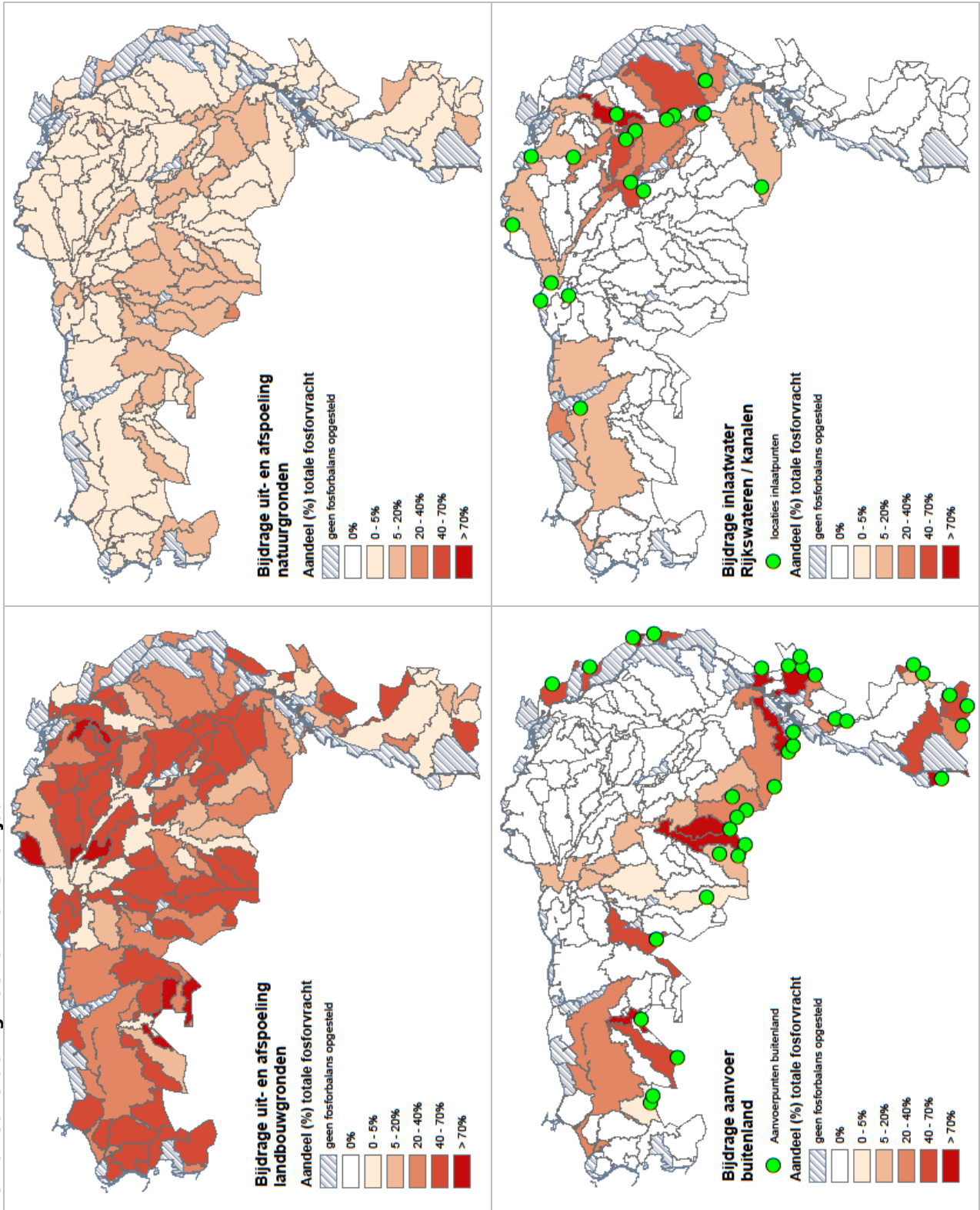
Herkomst verdeling FOSFOR jaargemiddeld (2010-2013)



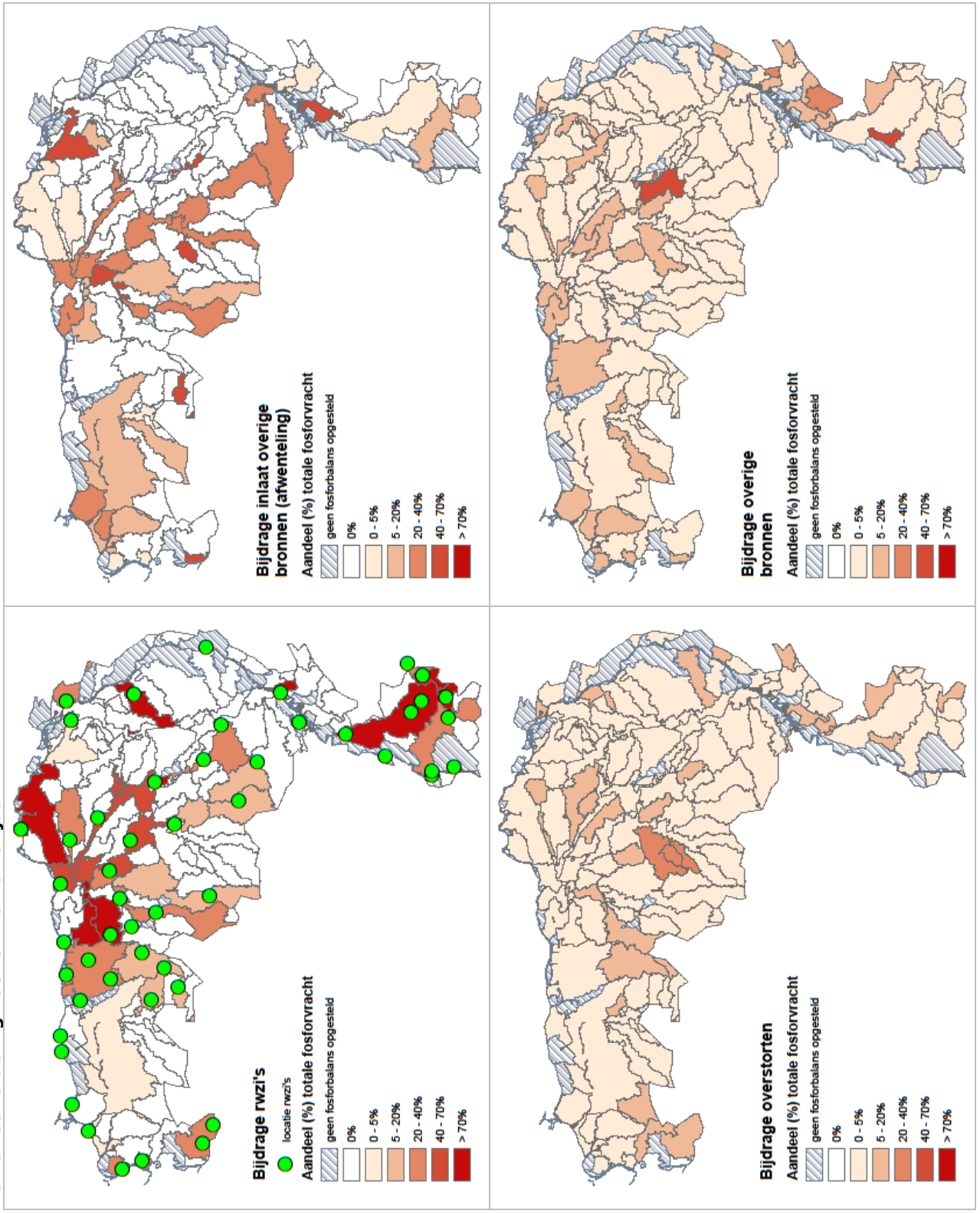
Herkomst verdeling FOSFOR zomerhalfjaar



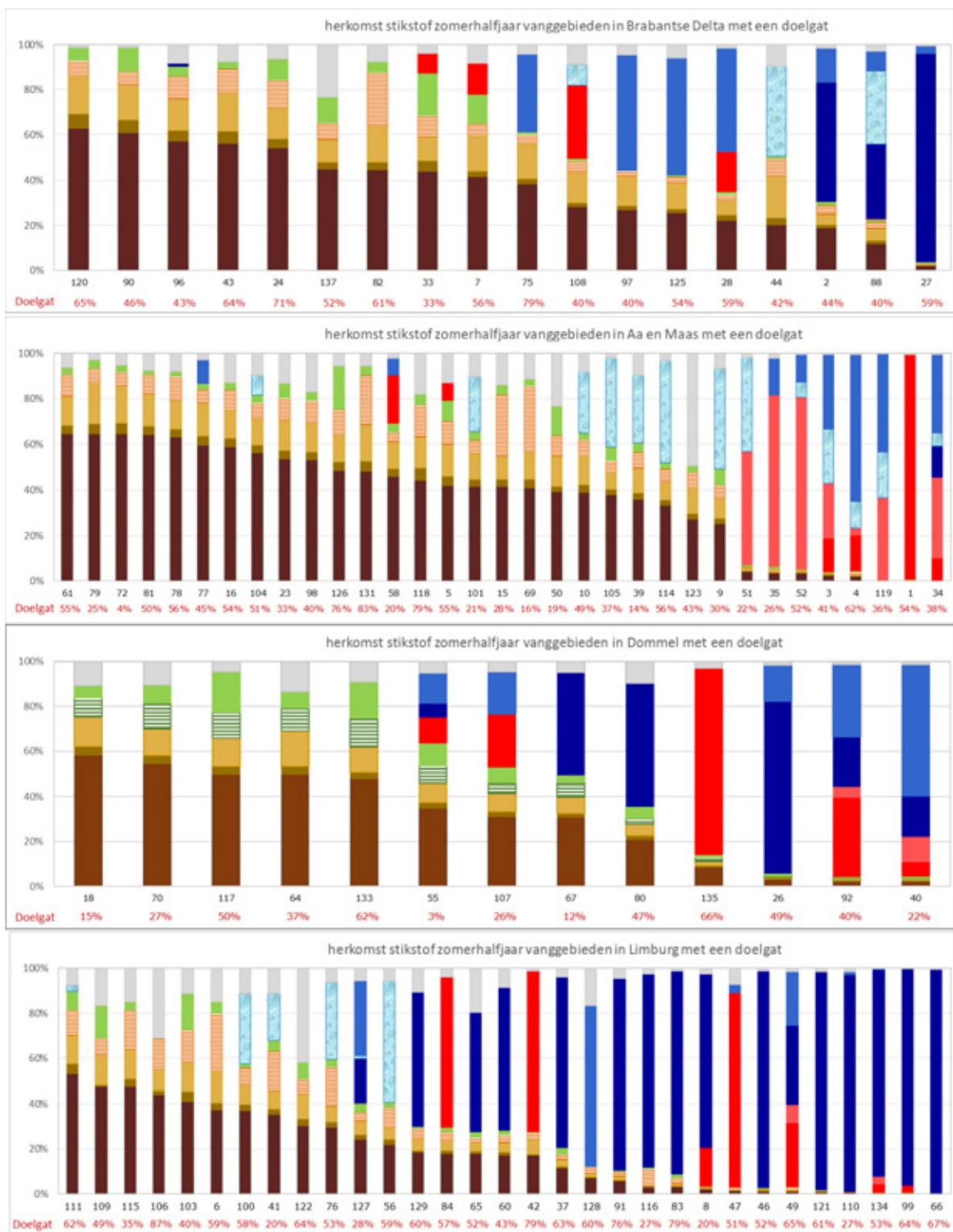
Herkomst verdeling FOSFOR zomerhalfjaar



Herkomst verdeling FOSFOR zomerhalfjaar



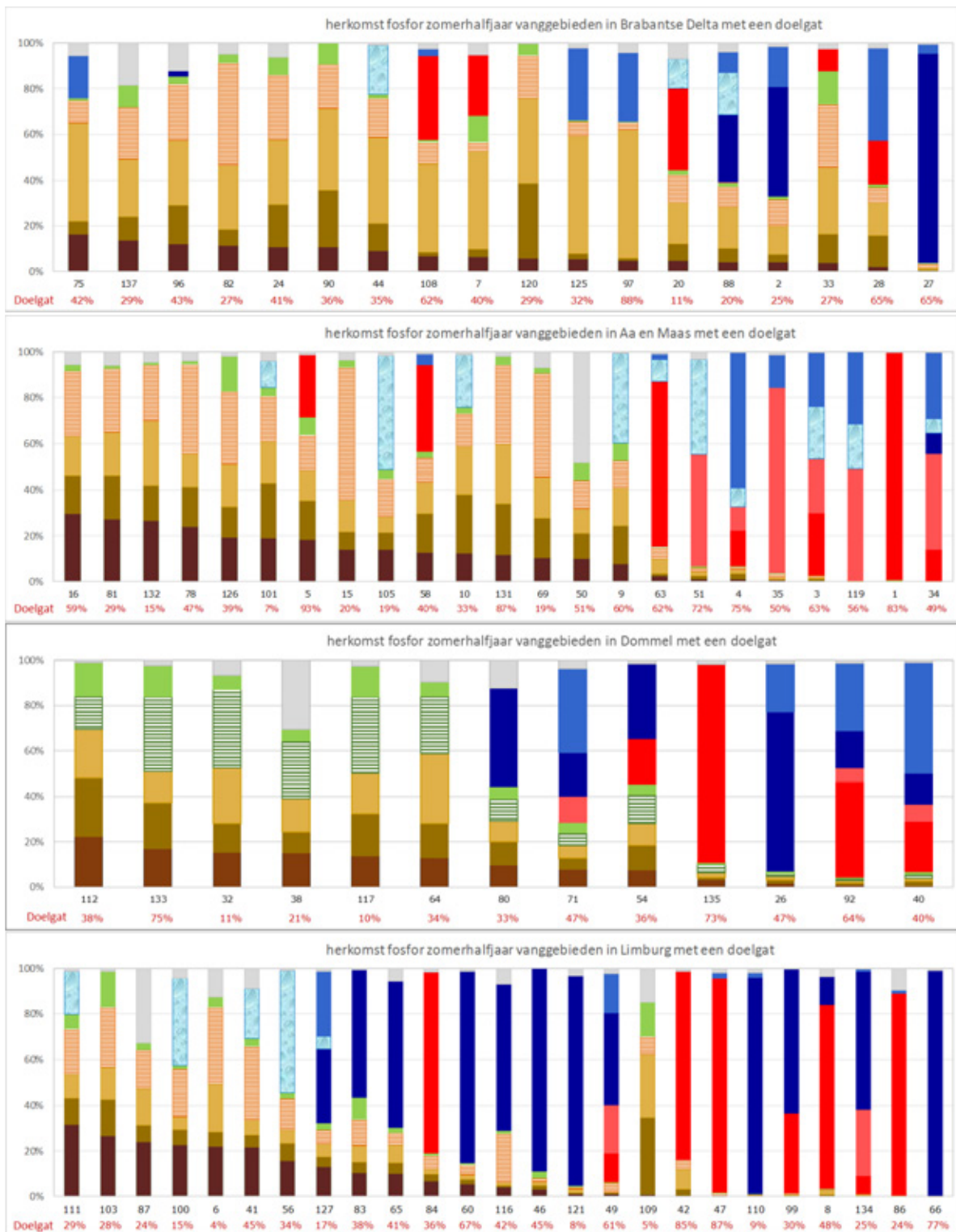
Bijlage 5 Herkomst in vanggebieden met een doelgat voor nutriënten



Legenda

- actuele bemesting
- historisch bemesting
- overige uitspoeling landbouw
- landbouw overig
- uitspoeling natuur
- afwenteling RWZI's bovenstrooms
- buitenland
- inlaat en doorvoer rijkswater
- afwenteling bovenstrooms overig
- overige bronnen

Figuur B5.1 Herkomstverdeling stikstof zomerhalfjaar voor de vanggebieden met een doelgat voor stikstof.



Legenda

- actuele bemesting
- historisch bemesting
- overige uitspoeling landbouw
- landbouw overig
- uitspoeling natuur
- afwenteling RWZI's bovenstrooms
- buitenland
- afwenteling bovenstrooms overig
- overige bronnen
- rwzi
- inlaat en doorvoer rijkswater

Figuur B5.2 Herkomstverdeling fosfor zomerhalfjaar voor de vanggebieden met een doelgat voor fosfor.

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport 2931
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.



To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AB Wageningen
T 317 48 07 00
www.wur.nl/environmental-research

Rapport 2931
ISSN 1566-7197

De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 5.000 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

