



Water- en nutriëntenbalansen oppervlaktewater Flevoland

Water- en nutriëntenbalans en aansluitende analyse herkomst stikstof- en fosforbelasting
oppervlaktewaterlichamen in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland

Peter Schipper, Erwin van Boekel, Leonne Jeurissen, Leo Renaud en Rob Hendriks



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Water- en nutriëntenbalansen oppervlaktewater Flevoland

Water- en nutriëntenbalans en aansluitende analyse herkomst stikstof- en fosforbelasting
oppervlaktewaterlichamen in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland

Peter Schipper, Erwin van Boekel, Leonne Jeurissen, Leo Renaud en Rob Hendriks

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research in opdracht van en gefinancierd door het
Waterschap Zuiderzeeland.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, juni 2020

Gereviewd door:
R.P.J.J. Rietra, onderzoeker

Akkoord voor publicatie:
G.J. Reinds, teamleider Duurzaam Bodemgebruik WENR

Rapport 3009
ISSN 1566-7197

Schipper, P.N.M., E.M.P.M. van Boekel, L. Jeurissen, L.V. Renaud en R. Hendriks, 2020. *Water- en nutriëntenbalansen oppervlaktewater Flevoland; Water- en nutriëntenbalans en aansluitende analyse herkomst stikstof- en fosforbelasting oppervlaktewaterlichamen in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland*. Wageningen, Wageningen Environmental Research, Rapport 3009. 92 blz.; 32 fig.; 20 tab.; 30 ref.

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) schrijft voor dat het oppervlaktewater in 2027 voldoende schoon en ecologisch gezond is. De waterschappen stellen samen met gebiedspartners doelen en maatregelprogramma's op, die opgenomen worden in de nationale stroomgebiedbeheerplannen (SGBP's). Inmiddels bereiden de waterschappen zich voor op de besluitvorming voor SGBP3 (2022-2027). Waterschap Zuiderzeeland wil in dit kader beter inzicht krijgen in de nutriëntenbelasting en de herkomst van de nutriënten in hun lijnvormige oppervlaktewateren. Vanuit dit inzicht wil het waterschap weten hoe de belasting met maatregelen effectief kan worden teruggedrongen.

In dit onderzoek is eerst de water- en nutriëntenbalans opgesteld voor twee pilotgebieden waarvoor gedetailleerde gebieds- en bedrijfsinformatie over de periode 2015-2017 is verzameld door het waterschap. Vanuit de hierin opgedane ervaring is voor het gehele beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland de water- en nutriëntenbalans opgesteld met de methode KRW-ECHO. Hierbij is een ruimtelijke indeling gehanteerd van twaalf afwateringsgebieden (vanggebieden) die nagenoeg samenvallen met de KRW-waterlichamen. De stikstof- en fosforbelasting en retentie zijn berekend voor de periode 2010-2017. De belasting wordt vooral bepaald door af- en uitspoeling uit landbouwgronden en in de zomer ook door waterinlaat. Na validatie van de berekende water- en nutriëntenbalansen aan de beschikbare metingen is de herkomst van de nutriënten verder uitgesplitst. De mestgiften zijn in veel gebieden de belangrijkste bron. Andere belangrijke bronnen zijn kwel, nalevering uit landbouwbodems, inlaat Rijkswater, uitspoeling uit natuurgronden en stedelijk gebied en afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI's). De verhoudingen hiervan verschillen per gebied.

Trefwoorden: Kaderrichtlijn Water, oppervlaktewaterkwaliteit, nutriënten belasting, stikstof, fosfor, uitspoeling, afspoeling, waterbalans, nutriëntenbalans, retentie, actuele en historische mestgiften, nalevering bodem, kwel, achtergrondbelasting, lozingen AWZI's, bodemoverschot, waterinlaat

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/523160> 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.

© 2020 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 werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem. In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001. Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Inhoud

	Verantwoording	5
	Woord vooraf	7
	Samenvatting	9
	Lijst met definities	19
1	Inleiding	21
	1.1 Aanleiding	21
	1.2 Monitoring door het Waterschap	22
	1.3 Doelstelling	22
	1.4 Leeswijzer	22
2	Werkwijze onderzoek	23
	2.1 Aanpak op hoofdlijnen	23
	2.2 Water- en nutriëntenbalans twee pilotgebieden	25
	2.3 Water- en nutriëntenbalans waterlichamen Flevoland	25
3	Water- en nutriëntenbalans pilotgebieden	26
	3.1 Inleiding	26
	3.2 Gebiedsbeschrijving	26
	3.3 Meetgegevens en informatie agrarische bedrijven	27
	3.4 Analyse landgebruik	28
	3.5 Bodemtype, grondwaterstanden en buisdrainage	29
	3.6 Opstellen nutriëntenbalansen	31
	3.7 Berekening af- en uitspoeling nutriënten met STONE	34
	3.7.1 Landelijke en regiospecifieke modelschematisatie	34
	3.7.2 Af- en uitspoeling berekend met herschikken STONE-plots	35
	3.8 Regiospecifieke modellering SWAP-ANIMO	36
	3.9 Resultaten en discussie balansen pilotgebieden	41
4	Water- en nutriëntenbalansen Flevoland	44
	4.1 Inleiding	44
	4.2 Gebiedsindeling en landgebruik	44
	4.3 Bodemtype en grondwatertrappen	46
	4.4 Herschikken en aanpassen rekenplots SWAP-ANIMO	46
	4.5 Overige nutriëntenbronnen	48
	4.6 Routing en meetgegevens waterschap	50
	4.7 Retentie	50
	4.8 Nutriëntenbalans 2010-2017	52
	4.9 Validatie uitgaande debieten en nutriëntenvrachten	54
5	Herkomst analyse stikstof en fosfor	57
	5.1 Methodiek analyse herkomst	57
	5.2 Herkomst verdeling zomerhalfjaar	58
	5.3 Herkomst verdeling jaargemiddeld	59
	5.4 Achtergrondbelasting	60
6	Discussie	62

7	Conclusies en aanbevelingen	64
7.1	Conclusies	64
7.2	Aanbevelingen	64
	Literatuur	66
Bijlage 1	Gebruikte meetgegevens Waterschap Zuiderzeeland	68
Bijlage 2	Bronnen in EmissieRegistratie	70
Bijlage 3	Achtergrondinformatie STONE	71
Bijlage 4	Herschikkingsprocedure	72
Bijlage 5	Retentie	79
Bijlage 6	Ruimtelijke verdeling herkomst zomerhalfjaar	85
Bijlage 7	Nutriëntenbalansen jaar- en zomerhalfjaar gemiddeld	87

Verantwoording

Rapport: 3009

Projectnummer: 5200044814

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Akkoord Referent die het rapport heeft beoordeeld,

functie: onderzoeker

naam: Rene Rietra

datum: 18 mei 2020

Akkoord teamleider voor de inhoud,

naam: Gert Jan Reinds

datum: 3 juni 2020

Woord vooraf

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) schrijft voor dat het oppervlaktewater in 2027 voldoende schoon en ecologisch gezond is. De waterschappen stellen samen met gebiedspartners doelen en maatregelprogramma's op, die opgenomen worden in de nationale stroomgebiedbeheerplannen (SGBP's) waarin ze beschrijven welke maatregelen ze nemen om deze waterkwaliteitsdoelen te behalen. Inmiddels bereiden de waterschappen zich voor op de besluitvorming voor SGBP3 (2022-2027). Waterschap Zuiderzeeland wil in dit kader inzicht krijgen in de nutriëntenbelasting en de herkomst van de nutriënten in hun wateren. Vanuit dit inzicht wil het waterschap weten of de KRW-doelen voor nutriënten, gelet op de uit herkomst af te leiden achtergrondbelasting, realistisch zijn en hoe de nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater met maatregelen effectief kan worden teruggedrongen. Ook ter ondersteuning van diverse andere beleidsvragen, zoals de wateraanvoerbehoefte, wil het waterschap beter inzicht hebben in de water- en nutriëntenbalansen in het beheergebied.

Bij de uitvoering van het onderzoek is gebruikgemaakt van modellen die gebruikt worden voor evaluaties van het landelijk mestbeleid en met gegevens en methodes die in lijn zijn met eerdere studies, zoals de landelijke studie Landbouw en de KRW-opgave voor nutriënten in regionale wateren (Groenendijk et al., 2016) en regionale bronnenanalyses nutriënten die ter ondersteuning van de SGBP's zijn en worden uitgevoerd met diverse waterschappen (Brabantse Delta, Hollandse Delta, Dommel, Aa en Maas, Limburg, Drents Overijsselse Delta, Vallei & Veluwe, Hollands Noorderkwartier, Rivierenland, Schieland & Krimpenerwaard, Rijnland, Fryslân, Noorderzijlvest, Hunze & Aa's).

Het onderzoek is begeleid door Rens Huisman, Harry Bouwhuis, Joan Meijerink, Michiel Oudendijk, Elmer Benjamin en Frederik Stoppelenburg. Zij hebben een actieve rol vervuld door inbreng van hun expert- en gebiedskennis over de werking van het watersysteem, de output van de monitoring om in twee pilotgebieden en de drie polders van Flevoland water- en nutriëntenbalansen af te kunnen leiden en de communicatie van de resultaten met de landbouwsector, provincie en andere actoren.

De auteurs bedanken de betrokken medewerkers van het waterschap. Hun inbreng heeft de betrouwbaarheid van de resultaten vergroot.

Wageningen, februari 2020

De auteurs

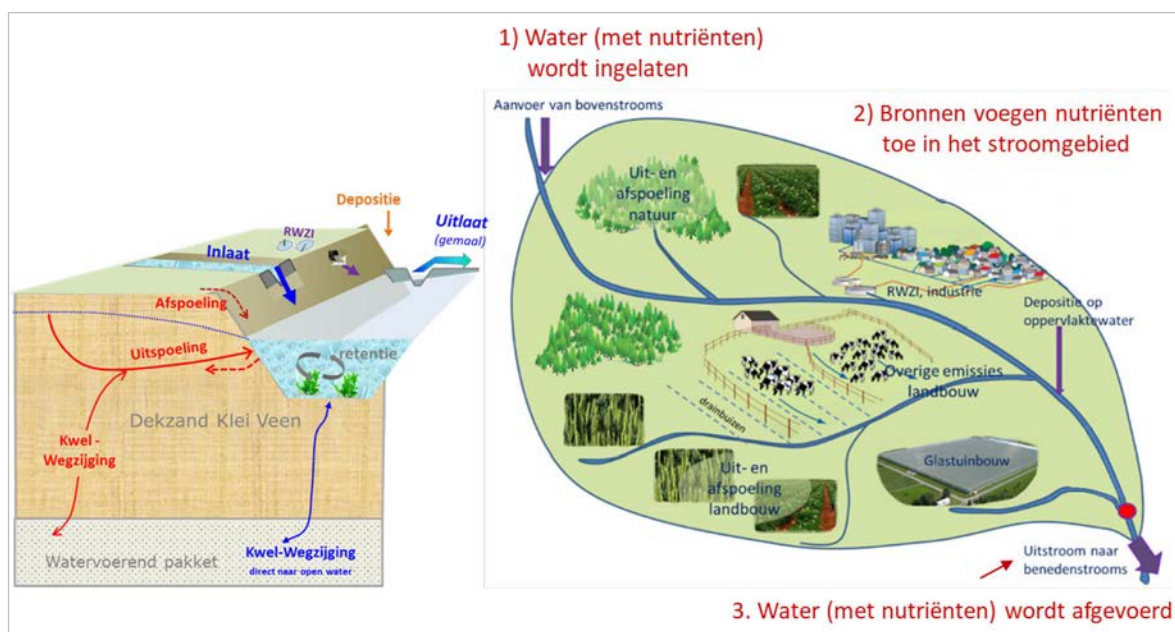
Samenvatting

Context en vraagstelling

Stikstof en fosfor zijn belangrijke voedingsstoffen voor algen en planten in het oppervlaktewater. Beide elementen horen van nature thuis in het water, maar door toedoen van de mens zijn de hoeveelheden hiervan sterk toegenomen. Als er te veel stikstof en fosfor in het water komt, neemt de hoeveelheid algen sterk toe en wordt het water troebel. Veel planten- en diersoorten die oorspronkelijk in en rond het water voorkomen, verdwijnen dan. Dit belemmert ook functies als zwemwater.

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) schrijft voor dat het oppervlaktewater in 2027 voldoende schoon en ecologisch gezond moet zijn. Hoge concentraties stikstof en fosfor vormen in veel Nederlandse wateren een belangrijk knelpunt om de KRW-doelen voor de ecologie te halen. De waterschappen stellen samen met gebiedspartners doelen en maatregelprogramma's op, die opgenomen worden in de nationale stroomgebiedbeheerplannen (SGBP's). Inmiddels bereiden de waterschappen zich voor op de besluitvorming voor het SGBP3 (2022-2027).

Ook in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland vormen hoge nutriëntengehalten een van de knelpunten voor het bereiken van de ecologische doelstellingen van de KRW. Om te kunnen sturen in de nutriëntenconcentraties van het oppervlaktewater, is het nodig te weten hoe groot de nutriëntenbelasting is en waar de nutriënten vandaan komen. Dit zijn zogenaamde bronnenanalyses. Figuur 1 geeft schematisch weer hoe zo'n bronnenanalyse wordt uitgevoerd.



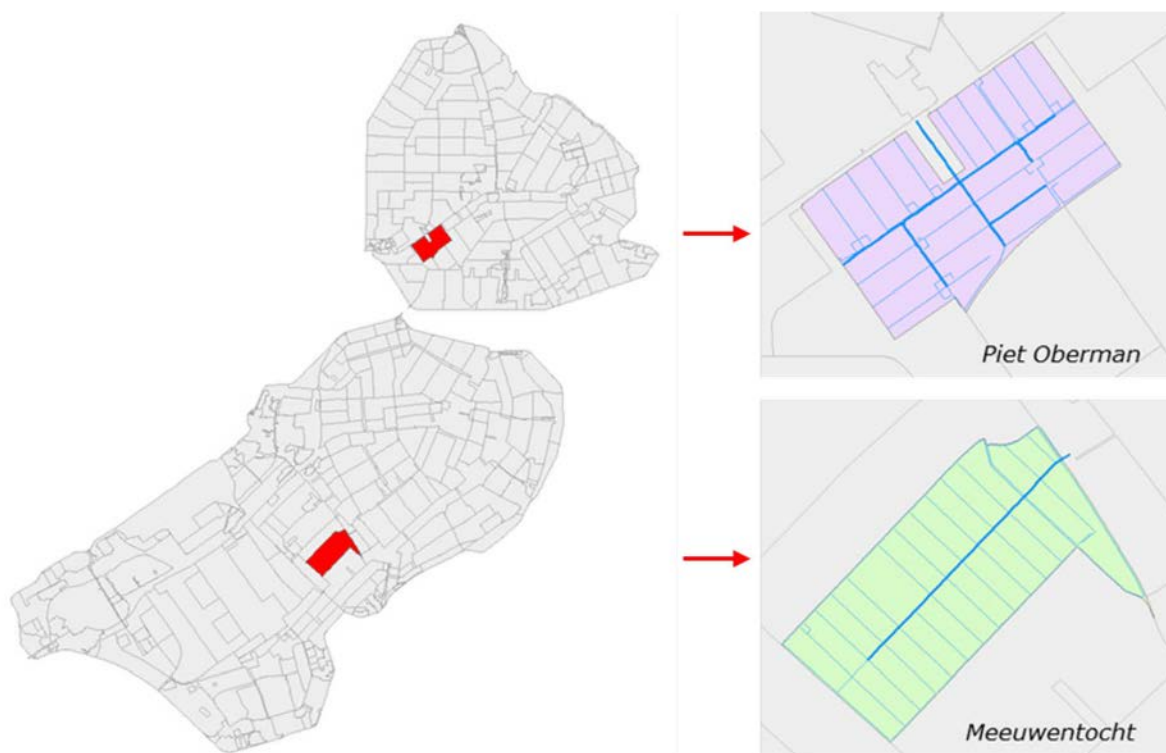
Figuur 1 Schematische weergave routes en opbouw bronnenanalyses nutriëntenbelasting oppervlaktewater (Bron: aangepast naar Groenendijk et al., 2016).

De basis van zo'n analyse is het opstellen van een water- en nutriëntenbalans. Uit een analyse van de WUR in 2014 bleek dat het niet mogelijk was om voor het beheergebied van waterschap Zuiderzeeland water- en nutriëntenbalansen op het juiste detailniveau op te stellen, omdat de monitoring onvoldoende compleet was om in- en uitgaande waterstromen en bijhorende kwaliteit te bepalen. Hierdoor waren de emissieroutes en bijdragen van de verschillende punt- en diffuse bronnen van nutriënten onvoldoende bekend. Deze ontbrekende inzichten bemoeilijken de onderbouwing van

doelen, beleid, strategie en maatregelen binnen het waterkwaliteitsspoor. Het is voor het waterschap belangrijk om inzicht te hebben in het deel van de stikstof- en fosforconcentraties dat wordt bepaald door menselijke (antropogene) oorzaken en het deel dat als natuurlijk kan worden beschouwd. De KRW maakt het namelijk mogelijk om de natuurlijke achtergrondgehalten mee te nemen bij het bepalen van de doelen. Daarnaast maakt kennis over de grootte van de verschillende bronnen het mogelijk om beleid en maatregelen op de verschillende bronnen beter te onderbouwen.

Aanpak

Om water- en nutriëntenbalansen voldoende betrouwbaar en op het juiste detailniveau te kunnen vaststellen, heeft het waterschap samen met Wageningen Environmental Research (Van Boekel et al., 2014) een plan opgesteld om deze informatie efficiënt te kunnen verzamelen en ontsluiten. Hierna is door Waterschap Zuiderzeeland in twee kleine, landelijk gelegen pilotgebieden in de periode 2015-2017 ervaring opgedaan met het in praktijk brengen van een uitgebreide werkwijze en inwinstrategie van informatie om water- en nutriëntenbalans op te kunnen stellen. Daarbij is ook gelet op informatie die nodig is om de af- en uitspoeling uit landbouwbodems met state-of-the-art-modellen te kunnen simuleren. Het waterschap heeft daarvoor brede en constructieve medewerking van de betrokken agrariërs gekregen, hetgeen de kwaliteit van de studie ten goede is gekomen. De pilotgebieden zijn de Meeuwentocht in Oostelijk Flevoland en Piet Oberman in de Noordoostpolder (zie figuur 2).

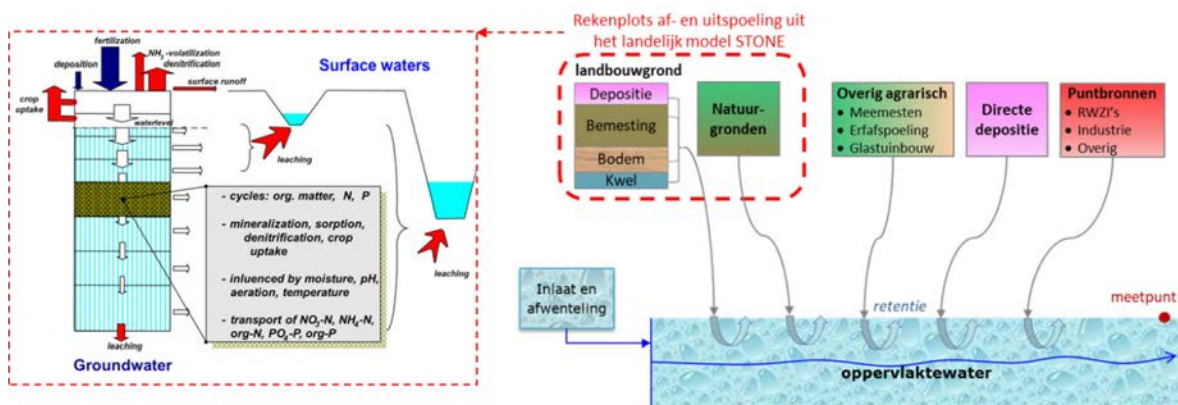


Figuur 2 Ligging van de twee pilotgebieden voor op te stellen water- en nutriëntenbalansen.

Verder heeft het waterschap in de Noordoostpolder en de Flevopolders (zuidelijk en oostelijk Flevoland) meetlocaties toegevoegd voor het monitoren van de hoeveelheden in- en uitgaand water en bijhorende nutriëntenconcentraties. Ook zijn in het veld de metingen voor het afleiden van debieten bij stuwen en hevels gecontroleerd en waar nodig de Q(h)relaties (om debieten te berekenen) bijgesteld en procedures voor het valideren en corrigeren van geregistreerde metingen verbeterd. Hierdoor heeft het waterschap voldoende betrouwbare meetgegevens verzameld om in die polders op het gewenste detailniveau (KRW-waterlichamen) de in- en uitstroom van water en bijhorende stofvrachten te kwantificeren en zo water- en nutriëntenbalansen op te stellen en modelberekeningen naar de herkomst te valideren.

De methodiek KRW-ECHO (Effecten van maatregelen op de CHemische toestand van Oppervlaktewater) is door de WUR (Kroes et al., 2011) ontwikkeld om in samenwerking met regionale

waterbeheerders de omvang van de nutriëntenbelasting, herkomst en effecten van maatregelen te kwantificeren. Hiertoe worden de afwateringsgebieden (verder aangeduid als vanggebied) van de oppervlaktewaterlichamen bepaald en wordt per vanggebied nagegaan hoeveel water wordt ingelaten, uitgemalen of afgevoerd. Samen met het waterschap wordt vastgesteld voor welk van deze uitwisselpunten metingen beschikbaar zijn, waar afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI's) via afwenteling invloed hebben en welke informatiebronnen aanvullend aan de ER kunnen worden gebruikt. De diffuse af- en uitspoeling van stikstof en fosfor uit landbouw en natuurgronden naar water wordt per decade (periode van tien dagen) gemodelleerd. De belasting van overige punt- en diffuse bronnen wordt ontleend aan de landelijke EmissieRegistratie-database (ER). De rekenwijze is schematisch weergegeven in figuur 3.



Figuur 3 Schema rekenwijze KWR-ECHO. De af- en uitspoeling wordt berekend met rekenplots van het landelijk modelinstrumentarium STONE, de emissies van overige bronnen worden ontleend aan EmissieRegistratie en/of op basis van regionaal beschikbare informatie. Benedenstroomse meetpunten worden benut om de berekende netto belasting (belasting minus retentie) te valideren.

Om het landelijke modelinstrumentarium STONE – waarmee voor de evaluatie van de mestwetgeving de af- en uitspoeling wordt berekend – toepasbaar te maken op regionale schaal, zijn hieruit rekeneenheden geselecteerd die in een fijnere regionale schematisering (25 x 25 m) goed passen bij de landgebruikskaart (LGN7), bodemkaart en grondwatertrappenkaart. Ook is op basis van regionale meetgegevens de modelinvoer voor de ammoniumgehalten in kwelwater in enkele vanggebieden aangepast. Met deze rekeneenheden is de af- en uitspoeling opnieuw berekend.

Met deze methode heeft Wageningen Environmental Research (WENR) eerst de water- en nutriëntenbalans in de pilotgebieden opgesteld. Hierin is de nadruk gelegd op modelberekeningen waarmee de af- en uitspoeling van stikstof en fosfor wordt gesimuleerd met de informatie die in de pilotgebieden door het Waterschap is verzameld. Met de daarin opgedane ervaring zijn vervolgens met dezelfde methodiek water- en nutriëntenbalansen voor het gehele beheergebied opgesteld voor de periode 2010-2017. Deze periode is gekozen om voldoende variatie in weerjaren te hebben en om de met modellen berekende nutriëntenbelasting te kunnen valideren aan de monitoringgegevens die voor de periode 2015-2017 door het waterschap was uitgebreid. In de balansen is onderscheid gemaakt in de belasting en herkomst van nutriënten voor de situatie in het zomerhalfjaar (hetgeen bepalend is voor de ecologische doelen) en jaargemiddeld. De herkomst van de nutriëntenbelasting is zodanig uitgesplitst, dat onderscheid gemaakt kan worden in antropogene bronnen en bronnen die als natuurlijk kunnen worden beschouwd. Het voorliggende rapport beschrijft de resultaten van de water- en nutriëntenbalansen die op deze twee niveaus zijn opgesteld.

Water- en nutriëntenbalans pilotgebieden

In beide pilotgebieden zijn de gebiedsgrenzen zo gekozen dat deze overeenkomen met het afwateringsgebied van de hoofdwatergang. In beide gebieden wordt geen gebiedsvreemd water ingelaten en worden het debiet en de waterkwaliteit van het water dat wordt afgevoerd, bemeten. In beide pilotgebieden zijn rekenplots opgezet om de af- en uitspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater te kwantificeren. De bedrijfs- en veldinformatie die in die gebieden was verzameld,

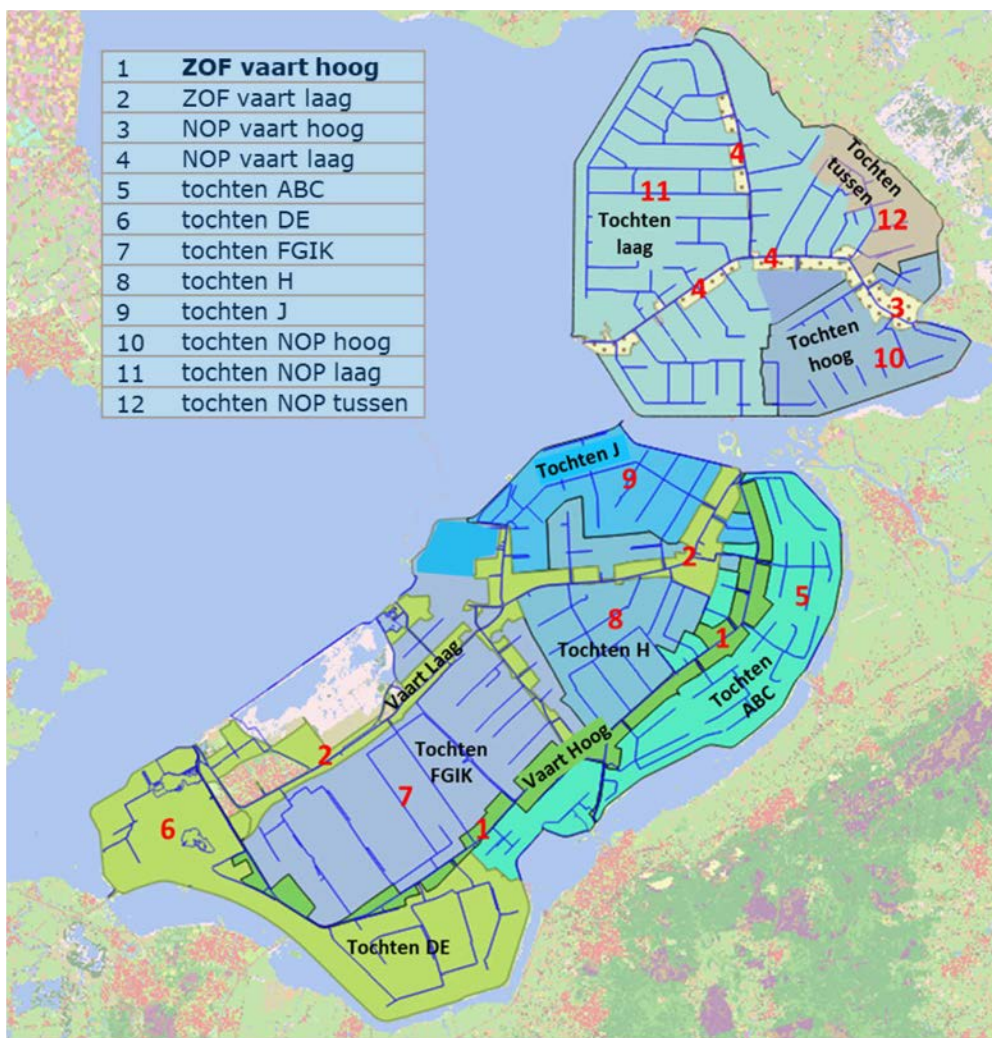
is verwerkt in de modelinput van die rekenplots. Deze modellering is vergeleken met een modellering waarbij alleen landelijk beschikbare informatie is gebruikt. Dit om aandachtspunten voor de uitrol naar de Noordoostpolder en de Flevopolder te kunnen identificeren.

Om balansen op te kunnen stellen, te kunnen valideren en afwenteling te berekenen en labelen naar herkomst, moet rekening worden gehouden met de retentie van stikstof en fosfor in het oppervlaktewater. Een deel van de nutriënten die in de waterlopen terecht komt bereikt namelijk het uitstroompunt niet, omdat dit deel wordt vastgelegd, omgezet of verwijderd. Voorbeelden van dergelijke retentieprocessen zijn opname door waterplanten, vastlegging in de waterbodem (via sedimentatie) en gasvormige emissies naar de atmosfeer (denitrificatie). De retentie is berekend, rekening houdend met de werking van het watersysteem (verblijftijden, type waterbodem) en de aard van de bron. Voor emissies van diffuse bronnen wordt een grotere retentie berekend dan AWZI's en overige puntlozingen, omdat diffuse bronnen vooral in kleine wateren met een relatief lange verblijftijd terechtkomen (in Flevoland kavelsloten en tochten), terwijl AWZI's op de vaarten lozen waar de verblijftijden korter zijn.

Uit de resultaten blijkt dat rekenplots die met KRW-ECHO worden geselecteerd, goed aansluiten bij de regionale situatie die bepalend is voor de af- en uitspoeling van nutriënten (bodemtype, diepere bodemopbouw, drainage, grondwaterstanden en landgebruik en gewassen). De berekende uitgaande debieten, stikstof- en fosforvrachten zijn ter validatie vergeleken met de debieten en bijhorende concentraties die door het waterschap zijn gemeten op de locaties waar het water het afwateringsgebied verlaat. Door de verwerking van de regionale informatie sluiten de water- en nutriëntenbalansen beter aan bij de metingen. Uit de resultaten van de validatie wordt geconcludeerd dat de balansen voldoende plausibel zijn om de herkomst van de stikstof- en fosforbelasting met het modelinstrumentarium te bepalen. Aandachtspunten voor het kwantificeren van de af- en uitspoeling in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland betreffen gebied-specifieke informatie over mestgiften (met name stikstof), gewasopbrengsten en de lokale stikstof- en fosforconcentraties van het kwelwater. Hiermee is rekening gehouden bij de uitwerking van de balansen voor Flevoland.

Water- en nutriëntenbalans Flevoland

Met de gegevens die het waterschap heeft verzameld met de uitbreiding van de monitoring zijn de water- en nutriëntenbalansen met KRW-ECHO berekend voor de lijnvormige wateren in zuidelijk en oostelijk Flevoland en de Noordoostpolder (tochten en vaarten). Aanvankelijk is hierbij een indeling gehanteerd waarmee het beheergebied is onderverdeeld in vijf deelgebieden. Na validatie van de op dit niveau berekende balansen is een fijnere indeling gemaakt in twaalf afwateringsgebieden die nagenoeg samenvallen met de oppervlaktewaterlichamen die voor de KRW zijn aangewezen. Dit zijn acht tochtssystemen en vier vaarten (zie figuur 4).



Figuur 4 Gebiedsindeling water- en nutriëntenbalansen Flevoland.

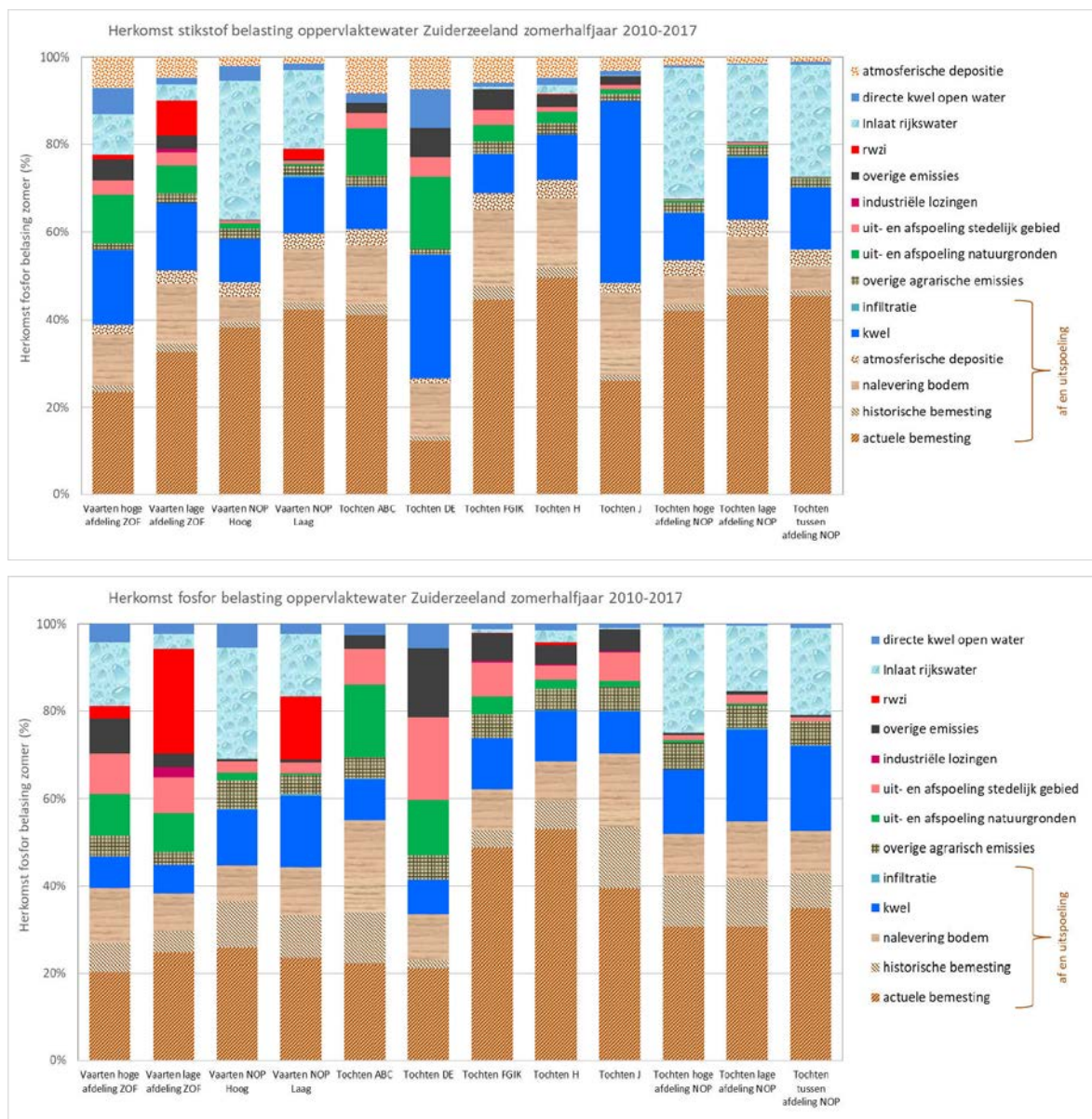
De opgestelde balansen zijn gevalideerd door de berekende netto uitgaande water-, stikstof- en fosforvruchten te vergelijken met de beschikbare metingen (debieten en concentraties) op de locaties waar water wordt uitgemalen of afgevoerd. De verschillen tussen de berekende en uit metingen afgeleide water- en nutriëntenbalansen vallen binnen de bandbreedtes van de onzekerheidsmarges. Hieruit wordt geconcludeerd dat de berekende balansen voldoende plausibel zijn om met het modelinstrumentarium de belasting en de herkomstverdeling te bepalen.

Herkomst stikstof en fosfor

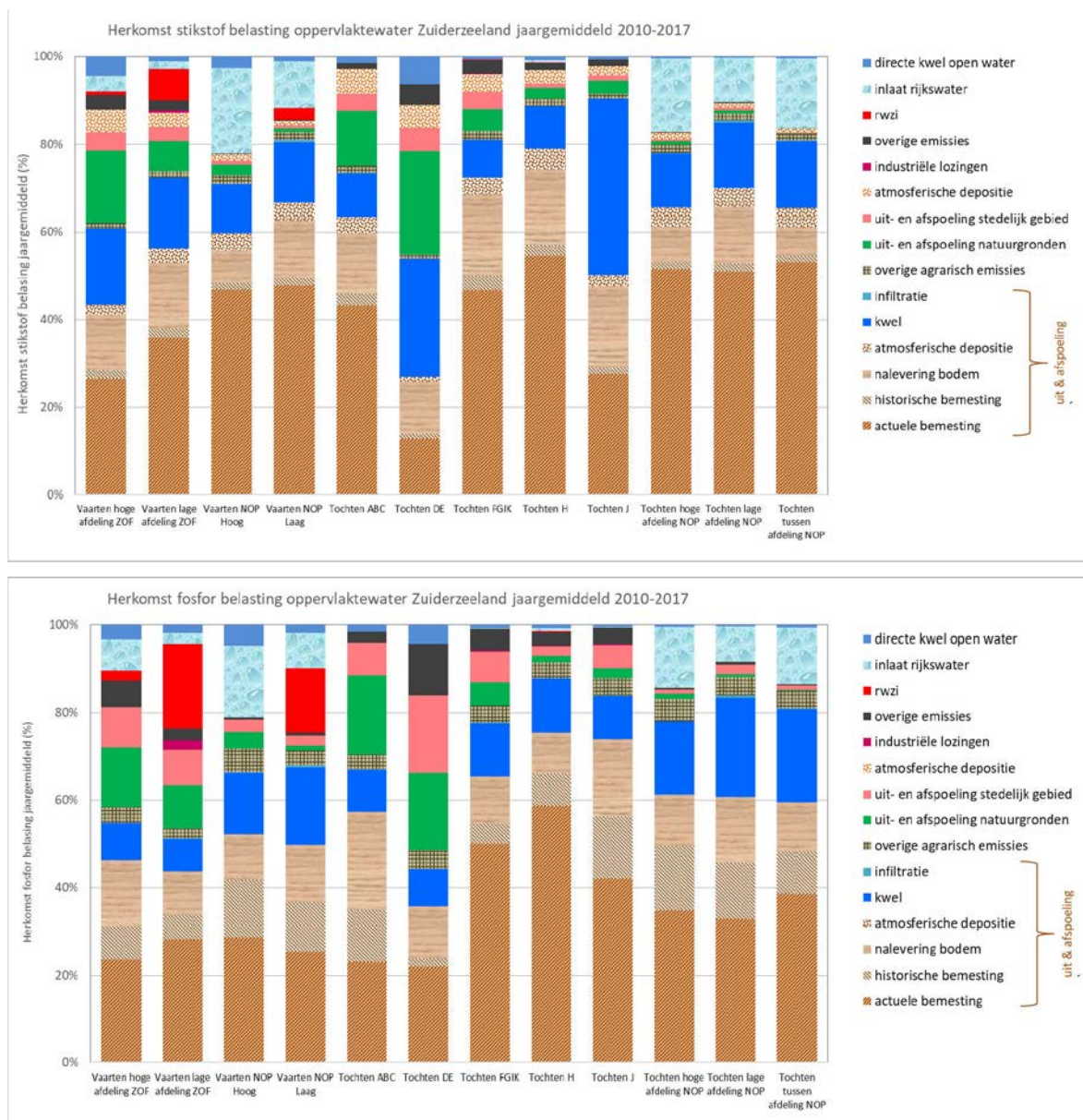
De berekende herkomst in de periode 2010-2017 is voor het zomerhalfjaar weergegeven in figuur 5 en jaargemiddeld in figuur 6. Uit de figuren blijkt dat in de meeste afwateringsgebieden een groot deel (meer dan de helft) van de nutriëntenbelasting wordt bepaald door af- en uitspoeling vanuit landbouwgronden. Wel zijn er grote verschillen tussen de afwateringsgebieden qua belasting en herkomst. De AWZI's hebben voornamelijk invloed op de provinciale vaarten.

Voor stikstof wordt de af- en uitspoeling uit landbouwgronden vooral bepaald door actuele bemesting en in iets mindere mate door nalevering van de bodem en ammoniumrijke kwel. Voor fosfor wordt de af- en uitspoeling naast de actuele mestgift, nalevering en kwel ook in belangrijke mate bepaald door historische mestgiften. Het begrip historische bemesting wordt meestal gebruikt in de context van na-ijling van in het verleden door overbemesting opgebouwde voorraden in de bodem, hetgeen vooral voor fosfor lang (decennia) kan duren. Weliswaar is de Flevopolder pas in 1957 (oostelijk Flevoland) en 1968 (zuidelijk Flevoland) drooggelegd, maar omdat de historische belasting vooral wordt bepaald door de hoge mestgiften in de periode vanaf 1970, heeft dit weinig invloed op de berekende na-ijling.

Andere belangrijke bronnen zijn inlaat van rijkswater, uitspoeling uit natuurgronden en stedelijk groen en in een paar vanggebieden ook AWZI's. De herkomst is in het zomerhalfjaar anders dan jaargemiddeld, omdat in de zomer meer water wordt ingelaten en de af- en uitspoeling minder groot is dan in het winterhalfjaar, terwijl de overige bronnen vrij constant zijn.



Figuur 5 Herkomst bronnen totaal stikstof (boven) en totaal fosfor (onder) gemiddeld zomerhalfjaar 2010-2017.



Figuur 6 Herkomst bronnen totaal stikstof (boven) en totaal fosfor (onder) jaargemiddeld 2010-2017.

Achtergrondbelasting

Met de berekende herkomst is onderscheid gemaakt tussen antropogene bronnen en bronnen die als natuurlijk worden beschouwd. De som van de belasting uit de niet-antropogene bronnen wordt aangeduid als achtergrondbelasting. Het aandeel van de achtergrondbelasting biedt houvast bij het evalueren van de haalbaarheid van KRW-doelen die vanuit de ecologische maatlatten zijn afgeleid. De bronnen die voor deze afleiding door het waterschap als natuurlijk worden beschouwd, zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Onderscheid in bronnen die bij het afleiden van natuurlijke achtergrondbelasting als natuurlijk worden beschouwd en overige (als antropogeen beschouwde) bronnen.

Bronnen die als natuurlijk zijn beschouwd	Overige (antropogeen beschouwde) bronnen
Af- en uitspoeling landbouwgronden door:	Af- en uitspoeling landbouwgronden door:
• Nalevering	• Actuele bemesting
• Kwel en infiltratie	• Historische bemesting
• Atmosferische (stikstof)depositie	
Af- en uitspoeling natuurgronden	Overige agrarische emissies (glastuinbouw, erfafspoeling, meesten sloten)
Af- en uitspoeling stedelijk groen	Industriële lozingen
Atmosferische depositie op open water	Overige emissies (scheepvaart, Iba's, overstorten e.a.)
Kwel direct naar open water	AWZI's
Inlaat (rijks)water Noordoostpolder	Inlaat rijkswater zuidelijk en oostelijk Flevoland

Voor zuidelijk en oostelijk Flevoland is inlaat van rijkswater als antropogeen beschouwd, terwijl inlaatwater in de Noordoostpolder door Waterschap Zuiderzeeland als 'natuurlijk' is aangemerkt. Deze inlaat is namelijk beschouwd als een systeemkenmerk, omdat het water al decennia wordt ingelaten om de waterkwaliteit te verbeteren en, in het geval van Schokland, om verdroging te voorkomen. Bij de KRW-doelstellingen voor SGBP1 en 2 was hier ook al rekening mee gehouden.

Op basis van de als natuurlijk beschouwde bronnen is per vanggebied het aandeel van de achtergrondbelasting in de totale belasting berekend. Deze zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2 Het gemiddelde aandeel van de achtergrondbelasting (natuurlijke bronnen) in de totale belasting voor het gemiddelde zomerhalfjaar 2010-2017. Tussen haakjes de bandbreedtes die zijn berekend met in deze studie ingeschatte onzekerheidsmarges.

Waterlichaam	Achtergrondbelasting	
	Stikstof	Fosfor
Vaarten hoge afdeling ZOF	49% (42-56%)	43% (35-52%)
Vaarten lage afdeling ZOF	40% (34-47%)	34% (28-42%)
Vaarten NOP Hoog	53% (50-56%)	56% (52-62%)
Vaarten NOP Laag	46% (42-50%)	47% (42-53%)
Tochten ABC	40% (34-47%)	58% (49-66%)
Tochten DE	70% (64-77%)	56% (46-65%)
Tochten FGIK	35% (24-41%)	34% (27-43%)
Tochten H	32% (26-38%)	27% (21-35%)
Tochten J	64% (57-70%)	35% (28-44%)
Tochten hoge afdeling NOP	49% (46-52%)	51% (47-56%)
Tochten lage afdeling NOP	45% (41-49%)	52% (46-59%)
Tochten tussen afdeling NOP	47% (44-50%)	51% (46-57%)

Het aandeel van de achtergrondbelasting varieert voor stikstof van 32% tot 70%. Dit wordt vooral bepaald door nalevering uit landbouwbodems, atmosferische depositie en ammoniumrijke kwel, en in de Noordoostpolder ook door inlaat van rijkswater. Voor fosfor varieert de achtergrondbelasting van 27% tot 58%. Dit wordt vooral bepaald door nalevering, kwel en uitspoeling uit natuurbodems en stedelijk gebied, en in de Noordoostpolder mede door inlaat van rijkswater.

Met deze percentages kunnen theoretische achtergrondconcentraties worden afgeleid door het aandeel van de achtergrondbelasting te vermenigvuldigen met de concentraties die in het waterlichaam in het zomerhalfjaar worden gemeten. Deze achtergrondconcentraties kunnen aanleiding geven om gestelde KRW-doelen bij te stellen.

Discussie

Het Waterschap heeft teneinde water- en stoffenbalansen op te kunnen stellen op het gewenste detailniveau, ingezet op het uitbreiden van de monitoring en het verbeteren van het proces van inwinning, registratie en validatie van meetreeksen. Door het gebruik van deze monitoring en bij het waterschap aanwezige gebiedskennis, biedt de voorliggende bronnenanalyse meer detail en kleven er minder onzekerheden aan dan voorgaande bronnenanalyses (Groenendijk et al., 2016; Witteveen en Bos, 2017). Zo is duidelijker geworden waar en hoeveel rijkswater wordt ingelaten en waar en hoeveel de belasting van toestromend rijkswater en AWZI's doorwerkt op de belasting van vanggebieden waarop wordt afgewaterd.

Ook is het door de uitgebreide monitoring mogelijk geworden om de modelberekeningen op belangrijke locaties te toetsen (valideren) aan de gemeten debieten en concentraties. Uit deze validatie is gebleken dat de verschillen tussen de berekende water- en nutriëntenbalansen en de uit metingen afgeleide balansen binnen de hiervoor geldende onzekerheidsmarges liggen. Daaruit is geconcludeerd dat de berekende belasting en de herkomstverdeling plausibel zijn.

De onzekerheidsmarges van de berekende nutriëntenbalansen (belasting minus retentie) wordt op basis van expertkennis en eerdere studies globaal ingeschat op $\pm 20\%$. Als deze onzekerheden worden vertaald naar het berekende aandeel van de achtergrondbelasting, moet rekening worden gehouden met de bandbreedtes zoals die zijn aangegeven in tabel 2.

In het studiegebied worden onzekerheidsmarges vooral bepaald door onzekerheden rond de bijdrage van de kwel in gebieden waar hoge ammonium- en fosfaatconcentraties in het watervoerende pakket worden gemeten, de bijdrage van oppervlakkige afstroming (vooral voor fosfor) die mogelijk is toegenomen in percelen die kampen met bodemverdichting en onzekerheden over de retentie, met name de rol van de waterbodem daarin.

Aanbevelingen

Als eerste wordt aanbevolen om de monitoring en bijbehorende inwinstrategie voort te zetten. Dit ondersteunt de verdere ontwikkeling van geohydrologische modellen die de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater beschrijven en maakt het mogelijk om ook in de toekomst water- en stoffenbalansen op het gewenste detailniveau op te kunnen stellen. De resultaten van de onderhavige bronnenanalyse bieden handvaten om de monitoring verder te optimaliseren, zodat juist op de belangrijke uitwisselpunten voldoende meetgegevens worden verzameld. Ook verdient het aanbeveling om de monitoring van grondwater verder uit te breiden om daarmee inzichten in de kwel zodanig te verbeteren dat de bijdrage van de kwel aan de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten en zouten met minder onzekerheden gekwantificeerd kan worden.

Verder wordt aanbevolen om onderzoek te doen naar de waterbodems, en dan met name de eigenschappen die de vastlegging, afbraak en de nalevering van nutriënten bepalen. Enerzijds omdat dit aanvullend inzicht biedt in de retentie en zo bijdraagt aan de betrouwbaarheid van de balanspost retentie in de nutriëntenbalansen, anderzijds omdat nalevering vanuit waterbodems ook een belangrijke factor is in de systematiek van de Ecologische Sleutel Factoren (ESF). In deze systematiek wordt in ESF1 'productiviteit water' de externe belasting vergeleken met de kritische belasting die een watersysteem kan hebben zodat er geen dominantie van algen of kroos ontstaat. Bij het afleiden van die kritische belasting wordt rekening gehouden met nalevering vanuit de waterbodem. En in ESF3 'productiviteit waterbodem' wordt gekeken naar de hoeveelheid nutriënten in de waterbodem vanuit het principe dat een nutriëntrijke bodem leidt tot woekering van ondergedoken/wortelende waterplanten.

Om de af- en uitspoeling van nutriënten uit landbouwgronden te verminderen, wordt aanbevolen te kijken naar de potenties van bodemverbeterende maatregelen, precisiebemesting, inzet van specifiek op de gewasrotaties afgestemde vanggewassen en andere maatwerkmaatregelen die genoemd worden in het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de GIS-tool en inzichten die worden ontwikkeld in het project [Nutriënten, welke landbouwmaatregelen snijden hout](#) van het onderzoeksprogramma Kennisimpuls Waterkwaliteit. In dit project is de Vuursteentocht

in zuidelijk Flevoland een van de twee pilotgebieden waar met intensieve monitoring wordt gekeken naar bronnen en routes en handelingsperspectieven om de af- en uitspoeling te verminderen.

Om stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater verder te verlagen, kan het effectief zijn om maatregelen te nemen waardoor de retentie in de watergangen toeneemt. Dit kan door vergroening van de slootranden (kruidenrijke akkerranden, natuurvriendelijke oevers, hetgeen ook bijdraagt aan biodiversiteit) en door verwijdering van slootmaaisel. De potentie hiervan kan ingeschat worden met een tool die recentelijk door de WENR is ontwikkeld. Als meer inzicht is waar nalevering vanuit waterbodems de ecologische doelen belemmert, kan het regiem voor baggeren ook rekening houden met de effecten op de waterkwaliteit.

Lijst met definities

Bronnen	In deze studie: oorzaken van het vrijkomen van stikstof en 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.
KRW-doelgat en reductieopgave	Het KRW-doelgat is het verschil tussen de huidige ecologische toestand van het oppervlaktewater en de toestand 'goed'. De reductieopgave van nutriënten is een zodanige verlaging van de nutriëntenbelasting dat deze geen belemmering meer vormt voor het bereiken van de goede ecologische toestand. Deze opgave is berekend door de totale inkomende vracht (kg fosfor of kg stikstof) te vermenigvuldigen met de reductiedoelstelling van de concentraties die in het zomerhalfjaar op de KRW-meetpunten worden gemeten. Op basis van de herkomst van de belasting kan de reductieopgave worden verdeeld over de sectoren naar rato van hun aandeel in de nutriëntenbelasting.
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-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.
Vanggebied	Het beïnvloedingsgebied dat afwatert op een bepaald oppervlaktewaterlichaam. Grenzen tussen beïnvloedingsgebieden zijn op te vatten als waterscheidingen. Vanggebieden worden ook wel aangeduid als catchment en afwateringsgebied.
Afwateringsgebied	
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.
Afwateringsgebied	Het beïnvloedingsgebied dat afwatert op een bepaald oppervlaktewaterlichaam. Grenzen tussen beïnvloedingsgebieden zijn op te vatten als waterscheidingen.
Huidig mestbeleid	Het stelsel van gebruiksnormen en gebruiksvoorschriften voor bemesting zoals dat van kracht is voor landbouwbedrijven conform het 5 ^e Nitraat Actie Programma (NAP).
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.
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.
Af- en uitspoeling landbouwgronden	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, de 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.
	Nalevering	Af- en uitspoeling 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.
	Kwel	Uitspoeling die niet gerelateerd is aan bemesting, maar aan de kwel die optreedt vanuit de diepere ondergrond naar het bodemprofiel.
	Infiltratie	Uitspoeling van lokaal oppervlaktewater dat eerder (met name in de zomer) in het bodemprofiel is geïnfiltreerd.

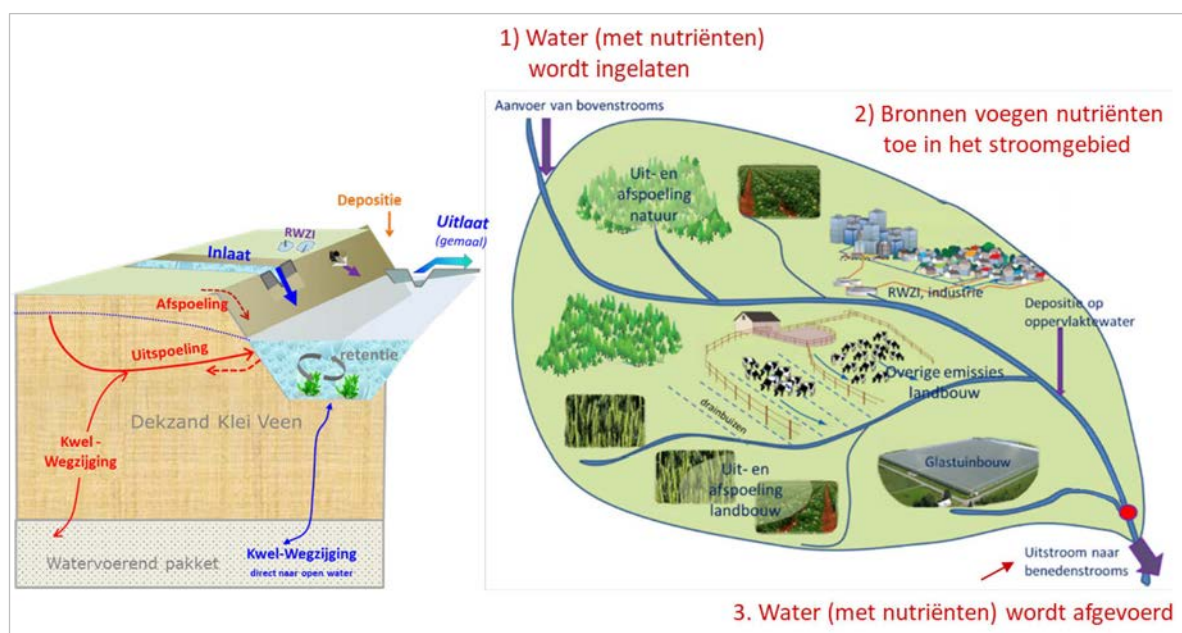
1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Stikstof en fosfor zijn belangrijke voedingsstoffen voor algen en planten in het oppervlaktewater. Beide elementen horen van nature thuis in het water, maar door toedoen van de mens zijn de hoeveelheden hiervan sterk toegenomen. Als er te veel stikstof en fosfor in het water komt, neemt de hoeveelheid algen sterk toe en wordt het water troebel. Veel planten- en diersoorten die oorspronkelijk in en rond het water voorkomen, verdwijnen dan. Dit belemmert ook functies als zwemwater.

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) schrijft voor dat het oppervlaktewater in 2027 voldoende schoon en ecologisch gezond moet zijn. Hoge concentraties stikstof en fosfor vormen in veel Nederlandse wateren een belangrijk knelpunt om de KRW-doelen voor de ecologie te halen. De waterschappen stellen samen met gebiedspartners doelen en maatregelprogramma's op, die opgenomen worden in de nationale stroomgebiedbeheerplannen (SGBP's). Inmiddels bereiden de waterschappen zich voor op de besluitvorming voor het SGBP3 (2022-2027).

Ook in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland vormen hoge nutriëntengehalten een van de knelpunten voor het bereiken van de ecologische doelstellingen van de KRW. Om te kunnen sturen in de nutriëntenconcentraties van het oppervlaktewater, is het nodig te weten hoe groot de nutriëntenbelasting is en waar de nutriënten vandaan komen. Dit zijn zogenaamde bronnenanalyses. Figuur 1.1 geeft schematisch weer hoe zo'n bronnenanalyse wordt uitgevoerd.



Figuur 1.1 Schematische weergave routes en opbouw bronnenanalyses nutriëntenbelasting oppervlaktewater (Bron: naar Groenendijk et al., 2016).

De basis van zo'n analyse is het opstellen van een water- en nutriëntenbalans. Uit een analyse bleek dat het niet mogelijk was om voor Flevoland water- en nutriëntenbalansen op het juiste detailniveau op te stellen, omdat de monitoring onvoldoende compleet was om in- en uitgaande waterstromen en bijhorende kwaliteit te bepalen (Van Boekel et al., 2014). Hierdoor waren de emissieroutes en bijdragen van de verschillende punt- en diffuse bronnen van nutriënten onvoldoende bekend. Deze

ontbrekende inzichten bemoeilijken de onderbouwing van doelen, beleid, strategie en maatregelen binnen het waterkwaliteitsspoor.

Het is voor het waterschap belangrijk om inzicht te hebben in het deel van de nutriëntenconcentraties dat wordt bepaald door menselijke (antropogene) oorzaken en het deel dat als natuurlijk kan worden beschouwd. De KRW maakt het namelijk mogelijk om de natuurlijke achtergrondgehalten mee te nemen bij het bepalen van de doelen. Daarnaast maakt kennis over de grootte van de verschillende bronnen het mogelijk om beleid en maatregelen op de verschillende bronnen beter te onderbouwen. Vanuit dit inzicht wil Waterschap Zuiderzeeland weten hoe de belasting met maatregelen effectief kan worden teruggedrongen en in hoeverre gestelde KRW-doelen realistisch zijn gelet op het aandeel van bronnen die als natuurlijk worden beschouwd.

1.2 Monitoring door het Waterschap

Om water- en nutriëntenbalansen voldoende betrouwbaar en op het juiste detailniveau te kunnen vaststellen, heeft het waterschap samen met Wageningen Environmental Research een plan opgesteld om deze informatie efficiënt te kunnen verzamelen en ontsluiten. Hierop is door Waterschap Zuiderzeeland in twee kleine landelijk gelegen pilotgebieden in de periode 2015-2017 ervaring opgedaan met het in praktijk brengen van een uitgebreide werkwijze en inwinstrategie van informatie om water- en nutriëntenbalans op te kunnen stellen. Daarbij is ook gelet op informatie die nodig is om de af- en uitspoeling uit landbouwbodems met state-of-the-art-modellen te kunnen simuleren. Het waterschap heeft daarbij brede en constructieve medewerking van de betrokken agrariërs gekregen, hetgeen de kwaliteit van de studie ten goede is gekomen.

Verder heeft het waterschap in de Noordoostpolder en in zuidelijk en oostelijk Flevoland meetlocaties toegevoegd voor het monitoren van de hoeveelheden in- en uitgaand water en bijhorende nutriëntenconcentraties. Ook zijn in het veld de metingen voor het afleiden van debieten bij stuwen en hevels gecontroleerd en waar nodig de Q(h)relaties (om debieten te berekenen) bijgesteld en procedures voor het valideren en corrigeren van geregistreerde metingen verbeterd. Hierdoor heeft het waterschap voldoende betrouwbare meetgegevens verzameld om in die polders op het gewenste detailniveau (KRW-waterlichamen) de in- en uitstroom van water en bijhorende stofvrachten te kwantificeren en zo water- en nutriëntenbalansen op te stellen en modelberekeningen naar de herkomst te valideren.

1.3 Doelstelling

De doelstelling van het onderzoek is om met de informatie die met de monitoring door het waterschap is verzameld, water- en nutriëntenbalansen op te stellen voor de twee pilotgebieden en vervolgens de nutriëntenbelasting en herkomst te bepalen voor de lijnvormige waterlichamen in het beheergebied (Flevoland). Het doel is ook om hierbij de herkomst in het zomerhalfjaar zodanig te bepalen dat onderscheid gemaakt kan worden in antropogene bronnen en bronnen die als natuurlijk kunnen worden beschouwd.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de gehanteerde onderzoeksmethode. De resultaten van het onderzoek voor de twee pilotgebieden zijn beschreven in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 beschrijft de resultaten van de water- en nutriëntenbalansen die zijn berekend voor het gehele gebied (NOP, zuidelijk en oostelijk Flevoland). De herkomstverdeling en het hieruit afgeleide aandeel van de natuurlijke achtergrondbelasting worden behandeld in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 worden de onderzoeksresultaten bediscussieerd. De conclusies en aanbevelingen zijn ten slotte geformuleerd in hoofdstuk 7.

2 Werkwijze onderzoek

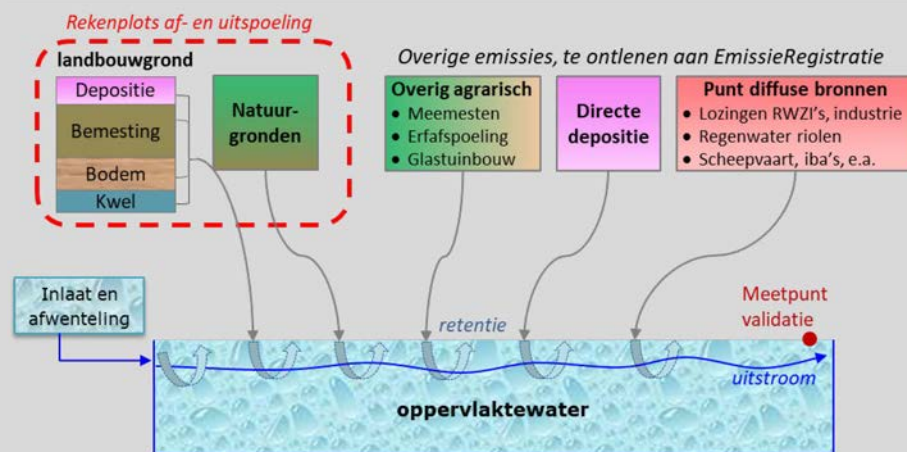
2.1 Aanpak op hoofdlijnen

Het onderzoek is erop gericht om de nutriëntenbelasting (stikstof en fosfor) en herkomst daarvan te kwantificeren voor de lijnvormige oppervlaktewaterlichamen in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland. Hierbij is de methode KRW-ECHO toegepast (zie kader). Deze methode is door de WUR ontwikkeld om in samenwerking met regionale waterbeheerders de nutriëntenbelasting, herkomst en effecten van mitigerende maatregelen te kwantificeren (Kroes et al., 2011). In de onderhavige studie zijn de onderdelen 1, 2a, 2b, 3a en 4 uitgevoerd.

KRW-ECHO methode

De KRW-ECHO-methode 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-methode bestaat uit verschillende onderdelen die, afhankelijk van de kennisvragen, uitgevoerd kunnen worden:

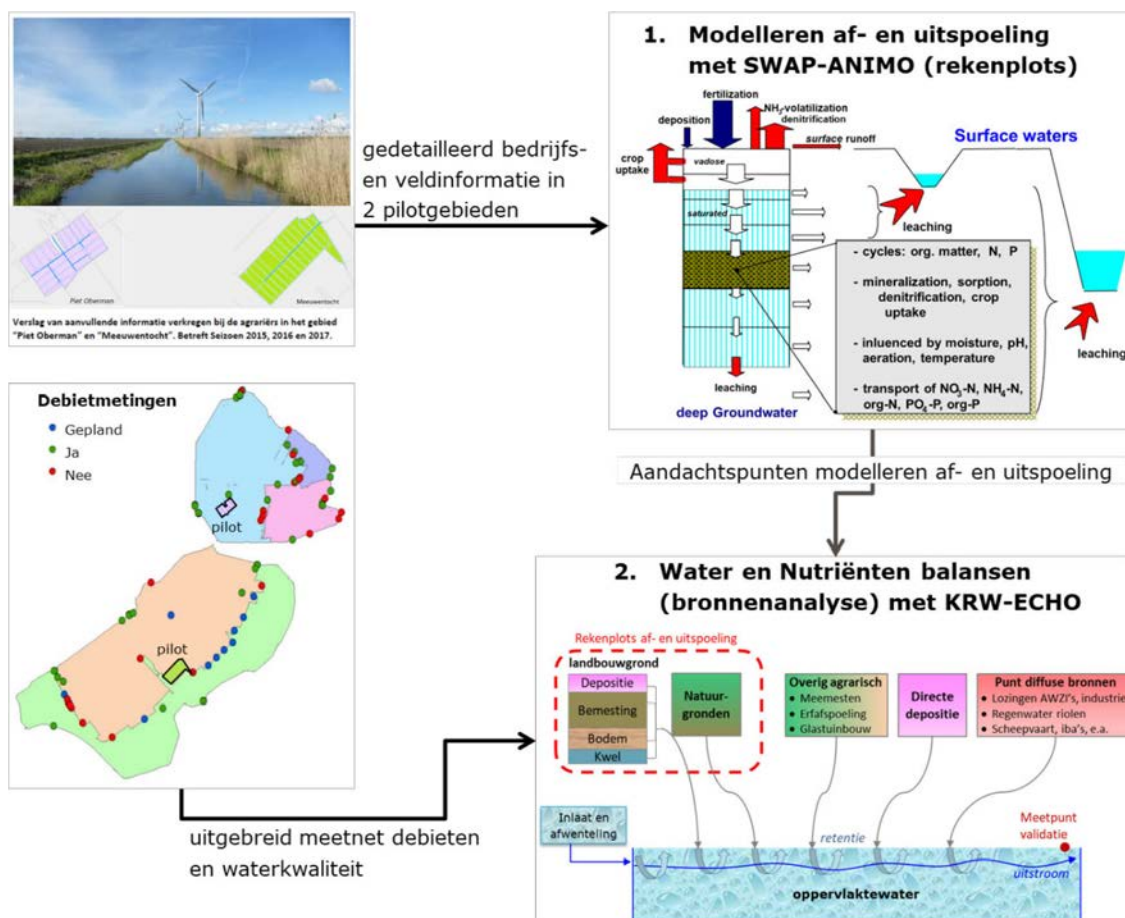
1. **Stoffenbalansen:** Opstellen van stofbalansen voor waterlichamen/afvoergebieden waarin transparant inzicht wordt gegeven in:
 - Af- en uitspoeling vanuit landbouw- en natuurbodems;
 - In- en uitgaande nutriëntenvruchten op basis van metingen (debieten en concentraties);
 - Overige punt- en diffuse bronnen uit de EmissieRegistratie, aangevuld met regionale gegevens;
 - Retentie van nutriënten in het oppervlaktewater, inclusief waterbodem.
2. **Af- en uitspoeling landelijk gebied**
 - a) Herschikkingsprocedure: STONE-model voor simulatie van de af- en uitspoeling uit landbouw- en natuurgronden regionaal toepasbaar maken door de landelijke geschematiseerde SWAP-ANIMO-rekenplots van STONE met regionale informatie te herschikken.
 - b) SWAP-ANIMO-berekeningen (optioneel): verbeteren af- en uitspoeling uit landbouw- en natuurgronden door nieuwe SWAP-ANIMO berekeningen uit te voeren met regionale informatie.
3. **Plausibiliteitstool:**
 - a) Toetsing: Vergelijking van de berekende en uit metingen afgeleide N- en P-vruchten 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 nutriëntenvruchten en meetgegevens.
4. **Herkomstanalyse:** ontrafelen van de herkomst en beïnvloedbaarheid van de nutriëntenbronnen van de af- en uitspoeling (actuele en historische bemesting, kwel, atmosferische depositie op landbouwgronden, nalevering landbouwgronden, af- en uitspoeling natuurgronden).
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.



Met KRW-ECHO worden de afwateringsgebieden (verder aangeduid als vanggebieden) van de oppervlaktewaterlichamen bepaald en wordt per vanggebied nagegaan hoeveel water wordt ingelaten, uitgemaal of afgevoerd. Om de verschillende punt- en diffuse bronnen te kunnen kwantificeren, wordt gebruikgemaakt van modellen. De af- en uitspoeling van stikstof en fosfor uit landbouw en natuurgronden naar water wordt per decade gemodelleerd en de belasting van overige bronnen wordt ontleend aan de landelijke EmissieRegistratie-database. Samen met het waterschap wordt vastgesteld voor welke punten (inlaat en uitlaat) metingen beschikbaar zijn, waar afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI's) via afwenteling invloed hebben en welke informatiebronnen aanvullend aan de EmissieRegistratie kunnen worden gebruikt.

Een belangrijk fundament in de methode is het gebruik van rekeneenheden van STONE. Dit is het modelinstrumentarium waarmee voor de evaluatie van het mestbeleid de af- en uitspoeling van stikstof en fosfor vanuit landbouw- en natuurgronden naar bodem en water dynamisch in de tijd wordt gesimuleerd. Bijlage 3 geeft op hoofdlijnen een beschrijving van de modelstructuur van STONE. Om dit landelijke model toepasbaar te maken op regionale schaal, zijn hieruit rekeneenheden geselecteerd die in een fijnere regionale schematisering (25 x 25 m) goed passen bij het landgebruik (LGN7), de bodemkaart en de grondwatertrappenkaart. Deze selectie wordt aangeduid als herschikken en wordt in bijlage 4 nader toegelicht. Naast herschikken is op basis van regionale meetgegevens de modelinvoer voor stikstofgehalten in kwelwater in enkele vanggebieden aangepast. Met de geselecteerde en aangepaste rekeneenheden is de af- en uitspoeling opnieuw berekend.

Het onderhavige onderzoek is in twee fasen uitgevoerd (zie figuur 2.1). Eerst zijn de water- en nutriëntenbalansen opgesteld voor de twee pilotgebieden. Met de hiermee opgedane ervaring is in de tweede fase de nutriëntenbelasting en de herkomst van de bronnen gekwantificeerd voor de periode 2010-2017. In de volgende paragrafen wordt de aanpak verder toegelicht.



Figuur 2.1 Schematische weergave onderzoeksmethode. De af- en uitspoeling wordt berekend met rekenplots van het landelijk modelinstrumentarium STONE, de emissies van overige bronnen worden ontleend aan EmissieRegistratie en/of op basis van regionaal beschikbare informatie. Benedenstroomse meetpunten worden benut om de berekende netto belasting (belasting minus retentie) te valideren.

2.2 Water- en nutriëntenbalans twee pilotgebieden

Voor de twee gebieden is de gedetailleerde bedrijfs- en veldinformatie geanalyseerd die voor het waterschap door het adviesbureau Van Uum is verzameld in de periode 2015-2017 (Van Uum en Schoutens, 2017). Deze informatie is toegepast in de modellering van de af- en uitspoeling in de twee landelijke pilotgebieden.

Eerst is de af- en uitspoeling per pilotgebied berekend op basis van de bestaande rekeneenheden van het modelinstrumentarium STONE. Dit met de landelijke STONE-schematisering en daarna met de rekeneenheden die het best passen bij de regionale informatie over het landgebruik, bodemtype en grondwatertrappen. Nagegaan is in hoeverre de informatie die hiervoor bij de WUR aanwezig is (LGN7, Basis Registratie percelen, bodem- en GT-kaart, NHI-buisdrainage kaart) overeenkomt met de bedrijfs- en veldinformatie die in het gebied is verzameld.

Vervolgens zijn nieuwe rekeneenheden met SWAP-ANIMO opgezet om de af- en uitspoeling in meer detail te simuleren. Voor de modelinput is hierbij uitgegaan van de veld- en bedrijfsinformatie die in de pilotgebieden was verzameld. Ten opzichte van rekeneenheden van STONE is hierbij vooral meer detail ingebracht voor de verschillende gewasrotaties en variaties in bodemopbouw. In beide gebieden zijn met de methode KRW-ECHO ook de andere punt- en diffuse bronnen en de retentie berekend. De berekende uitgaande nutriëntenvrachten zijn vergeleken met de waterafvoer en daaraan gekoppelde waterkwaliteit, die in beide gebieden hoogfrequent zijn gemeten.

Met de opgedane ervaring en resultaten is de meerwaarde van de ingezamelde informatie geëvalueerd en zijn aandachtspunten benoemd voor de uitwerking van de nutriëntenbalansen voor het gehele gebied (Flevopolder en Noordoostpolder).

2.3 Water- en nutriëntenbalans waterlichamen Flevoland

Op basis van de resultaten en ervaringen uit de pilotgebieden (eerste fase) zijn de water- en nutriëntenbalansen opgezet voor de lijnvormige wateren (vaarten en tochten) in geheel Flevoland. Hiervoor zijn met de methode KRW-ECHO de volgende stappen uitgevoerd:

- Gebiedsanalyse (landgebruik, bodem, grondwater, watersysteem) en analyse monitoringsdata (debieten en nutriëntenconcentraties, waterinlaat, doorvoer van hoge naar lage afdeling en uitmaal).
- Bepalen grenzen vanggebieden van de te onderscheiden lijnvormige oppervlaktewaterlichamen in Zuid- en Oost-Flevoland en de Noordoostpolder. Aanvankelijk is een indeling in hoofdpeilgebieden gehanteerd (hoge en lage afdeling ZOF, hoge, tussen en lage afdeling NOP). Daarna is de gebiedsindeling verfijnd naar twaalf gebieden: acht tochtssystemen en vier vaarten.
- Herschikken rekenplots voor het kwantificeren van de af- en uitspoeling uit landbouw- en natuurgronden.
- Berekenen water- en nutriëntenbalansen, valideren modelberekeningen en aanpassen randvoorwaarde rekenplots af- en uitspoeling ten aanzien van kwelconcentraties.
- Opsplitsen nutriëntenbalans in een jaargemiddelde en zomerhalfjaargemiddelde situatie.
- Onderverdelen nutriëntenbronnen naar herkomst.
- Kwantificeren aandeel van de als natuurlijk te beschouwen bronnen in de totale belasting.

3 Water- en nutriëntenbalans pilotgebieden

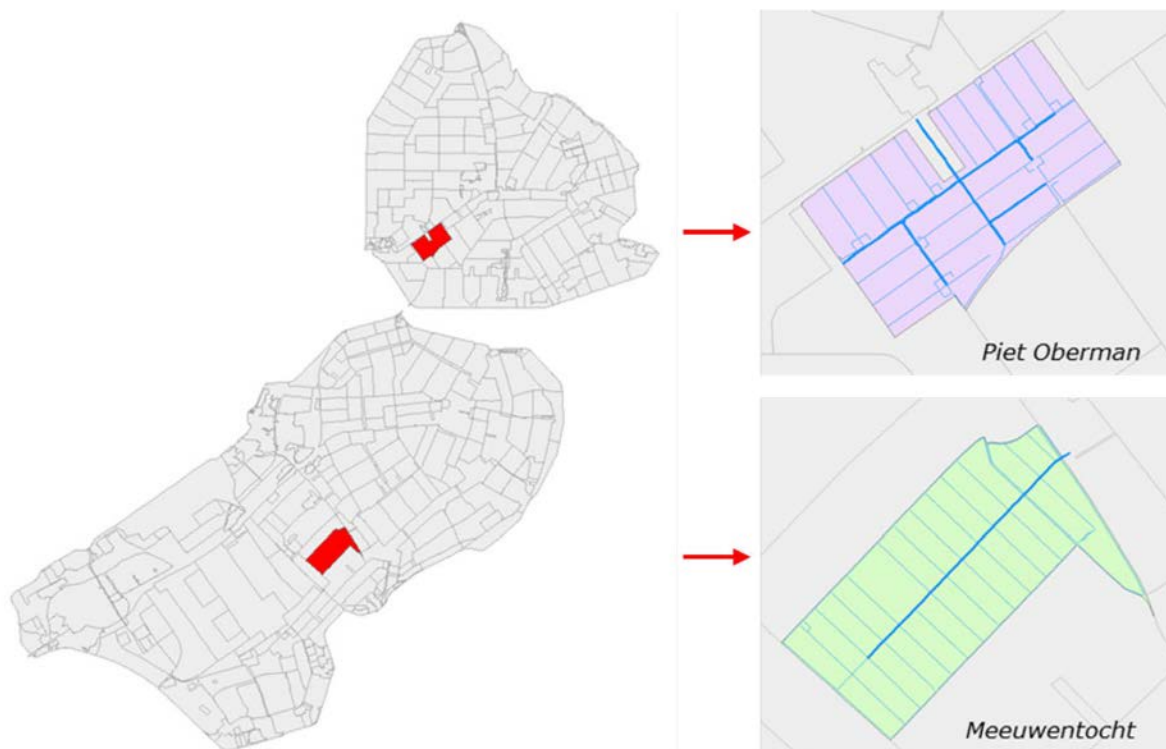
3.1 Inleiding

Om water- en nutriëntenbalansen voldoende betrouwbaar en op het juiste detailniveau te kunnen vaststellen, heeft het waterschap samen met Wageningen Environmental Research een plan opgesteld (Van Boekel, 2015) om deze informatie efficiënt te kunnen verzamelen en ontsluiten. Hierna is door Waterschap Zuiderzeeland in twee kleine, landelijk gelegen pilotgebieden in de periode 2015-2017 ervaring opgedaan met het in praktijk brengen van een uitgebreide werkwijze en inwinstrategie van informatie om water- en nutriëntenbalans op te kunnen stellen. Daarbij is ook gelet op informatie die nodig is om de af- en uitspoeling uit landbouwbodems met state-of-the-art-modellen te kunnen simuleren. Het waterschap heeft daarvoor brede en constructieve medewerking van de betrokken agrariërs gekregen, hetgeen de kwaliteit van de studie ten goede is gekomen.

In dit hoofdstuk wordt achtereenvolgens ingegaan op de kenmerken van het gebied en analyse van de verzamelde gegevens (paragraaf 3.2-3.5), de termen van de nutriëntenbalansen (paragraaf 3.6) en de modelberekeningen van de af- en uitspoeling (paragraaf 3.7 en 3.8). De resultaten worden bediscussieerd in paragraaf 3.9.

3.2 Gebiedsbeschrijving

Het waterschap heeft voor de studie gekozen voor het pilotgebied Meeuwentocht in oostelijk Flevoland en Piet Oberman in de Noordoostpolder. De ligging van deze gebieden is weergegeven in figuur 3.1. Het oppervlak van de Meeuwentocht is 900 ha, dat van Piet Oberman 572 ha. In beide gebieden is vrijwel het gehele gebied in gebruik voor landbouw, voornamelijk akkerbouw.



Figuur 3.1 Ligging van de twee pilotgebieden voor op te stellen water- en nutriëntenbalansen.

3.3 Meetgegevens en informatie agrarische bedrijven

De nutriëntenbelasting wordt in de twee pilotgebieden op voorhand in belangrijke mate bepaald door de diffuse af- en uitspoeling vanuit de landbouwpercelen en de kwel. Inlaatwater, lozingen van AWZI's en uitspoeling vanuit natuurbodems kunnen ook een belangrijke bijdrage leveren, maar in beide pilotgebieden is geen inlaat of AWZI aanwezig en het areaal natuur is relatief gering. Andere bronnen die een significante bijdrage kunnen leveren, zijn atmosferische depositie van stikstof op open water en lozingen vanuit glastuinbouw, maar in de gebieden is het areaal oppervlaktewater relatief gering en is glastuinbouw niet aanwezig.

De gegevens die de diffuse af- en uitspoeling vanuit de landbouwbodems bepalen, zijn derhalve ook het bepalendst voor de nutriëntenbalans.

Tabel 3.1 geeft een overzicht van de gegevens die benut zijn voor de water- en nutriëntenbalans van de pilotgebieden. Daarnaast is voor beide gebieden in opdracht van het waterschap informatie verzameld over de agrarische bedrijven in de periode 2015 tot en met 2017. De resultaten hiervan zijn gebundeld in twee rapportages: 'Bedrijfsgegevens Agrariërs Pilotgebied Piet Oberman' en 'Bedrijfsgegevens Agrariërs Pilotgebied Meeuwentocht' (Van Uum en Schoutens, 2017). Door de constructieve houding van de betrokken agrariërs is een grote hoeveelheid aan bruikbare gegevens over de bedrijfsvoering in de twee gebieden verzameld. Deze unieke dataset heeft de kwaliteit van de Water- en Nutriënten Balansen verbeterd.

Tabel 3.1 Overzicht van de gegevens die benut zijn voor het opstellen van een water- en nutriëntenbalans voor de twee pilotgebieden.

Balanstermen	Informatiebronnen	Methode	Resultaat
Waterbalans			
Neerslag	<ul style="list-style-type: none"> Meteobase KNMI-stations 	<ul style="list-style-type: none"> Reeksen m.b.v. (GIS-)tools opzetten in Excel Omrekening naar dag-, maand- en jaardebieten 	Complete reeks 1-2 jaar <i>Analyse verschil tussen informatiebronnen</i>
Verdamping	<ul style="list-style-type: none"> Remote sensing KNMI-stations 	<ul style="list-style-type: none"> Reeksen m.b.v. (GIS-)tools opzetten in Excel Omrekening naar dag-, maand- en jaardebieten 	Complete reeks 1-2 jaar <i>Analyse verschil tussen informatiebronnen</i>
Berekening	Bedrijfsgegevens pilots	Berekening totale (gebied dekkend) onttrekkingen berekening op dagbasis (Excel) met onderscheid grondwater – oppervlaktewater onttrekking	Complete reeks onttrekking oppervlakte- en grondwater 1-2 jaar (dagcijfers)
Uitlaat	Ruwe en gevalideerde debieten kunstwerken	<ul style="list-style-type: none"> Reeksen opzetten in Excel Checks op dynamiek, uitbijters, gaten in data Omrekening naar uur-, dag-, maand- en jaardebieten 	Complete debietreeks 2015-2016 <i>Analyse ('naast elkaar leggen') verschil tussen ruwe data en gevalideerde reeks</i>
Stoffenbalans (stikstof en fosfor)			
Af- en uitspoeling (N + P)	<ul style="list-style-type: none"> STONE 	<ul style="list-style-type: none"> Selectie representatieve STONE-plots Selectie rekenjaar STONE die vergelijkbaar is met 2015 en 2016 Reeks decadijfers opzetten vanuit STONE Opzetten nieuwe SWAP-ANIMO plots voor de pilots 	Complete reeks 1-2 jaar op decade (en/of dagbasis)
kwel/wegzijging (Cl)	AZURE	<ul style="list-style-type: none"> Selectie rekenjaar AZURE (vergelijkbaar 2015-2016) Reeks dag cijfers opzetten vanuit AZURE 	Complete reeks 1-2 jaar op decade basis
Overige N en P bronnen	<ul style="list-style-type: none"> EmissieRegistratie 	<ul style="list-style-type: none"> Gebruik recentste versie EmissieRegistratie 	Jaarvrachten overige nutriënten bronnen
Retentie (N + P)	<ul style="list-style-type: none"> ECHO 	<ul style="list-style-type: none"> Retentiecapaciteit o.b.v. areaal open water Vaste retentiefactoren 0,2 en 0,5 	Analyse verschil tussen methode afleiden retentie
Uitlaat (N + P)	<ul style="list-style-type: none"> Dag cijfers debieten Metingen kwaliteit uitlaatpunt 	<ul style="list-style-type: none"> Checken meetreeksen chemie (dynamiek, uitbijters, consistentie) Opvullen (interpolatie) meetreeksen waterkwaliteit Vrachtbepalingen dagbasis 	Vrachten stikstof (N), fosfor (P) op dagbasis

3.4 Analyse landgebruik

Voor het berekenen van de af- en uitspoeling uit landbouwgronden wordt informatie over het landgebruik gebruikt om per rekenplot voor de percelen te bepalen welk gewas wordt geteeld. In de rekeneenheden van STONE wordt gerekend met vier typen, namelijk natuur grasland, landbouw grasland, mais en een standaard akkerbouw gewasrotatie (mais, granen, aardappelen, uien). Als specifieke SWAP-Animo-rekenplots worden opgezet, kan met meerdere type gewassen en rotaties worden gerekend. De informatie over het landgebruik is in deze studie gebruikt voor het herschikken van de landelijke STONE-plots (paragraaf 2.4) en het opzetten van de regiospecifieke SWAP-ANIMO-rekenplots. De gegevens over het landgebruik zijn ontleend aan de volgende informatiebronnen:

- LGN7 (2012)
- Basisregistratie Percelen (BRP-2016)
- Informatie van de bedrijfsbezoeken (2015-2017)

Het landgebruik op perceelniveau is als volgt toegekend aan de rekenplots voor het berekenen van de af- en uitspoeling:

- Op basis van het BRP-bestand en de informatie van de bedrijfsbezoeken;
- Op basis van LGN7 voor de ontbrekende percelen en overig gebied.

Figuur 3.2 laat zien dat beide informatiebronnen goed op elkaar aansluiten. De informatie uit het BRP sluit het best aan op de informatie die is opgehaald bij de bedrijven.



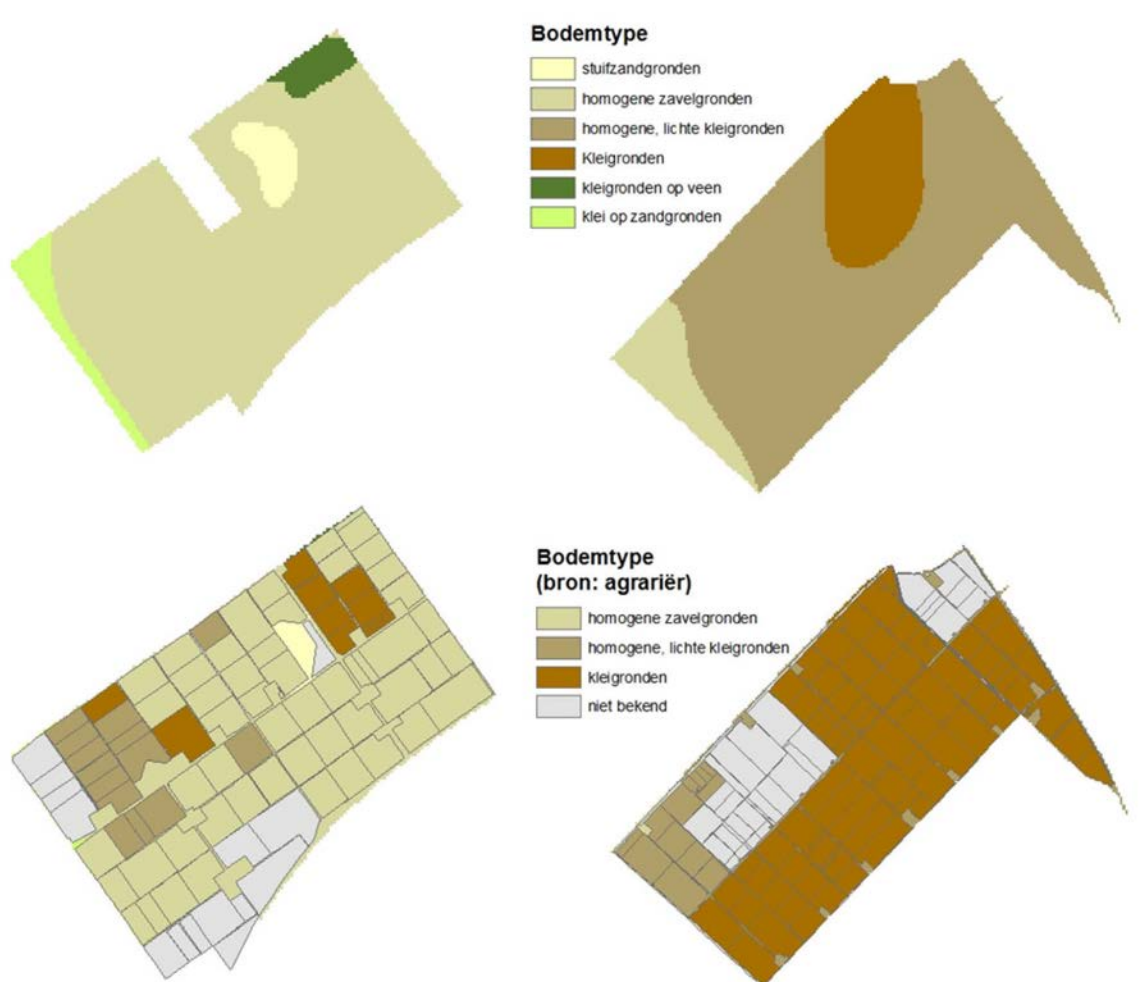
Figuur 3.2 Landgebruik uit BRP2016 en bedrijfsinformatie (boven) en uit LGN7 (onder). Links Piet Oberman, rechts Meeuwentocht.

3.5 Bodemtype, grondwaterstanden en buisdrainage

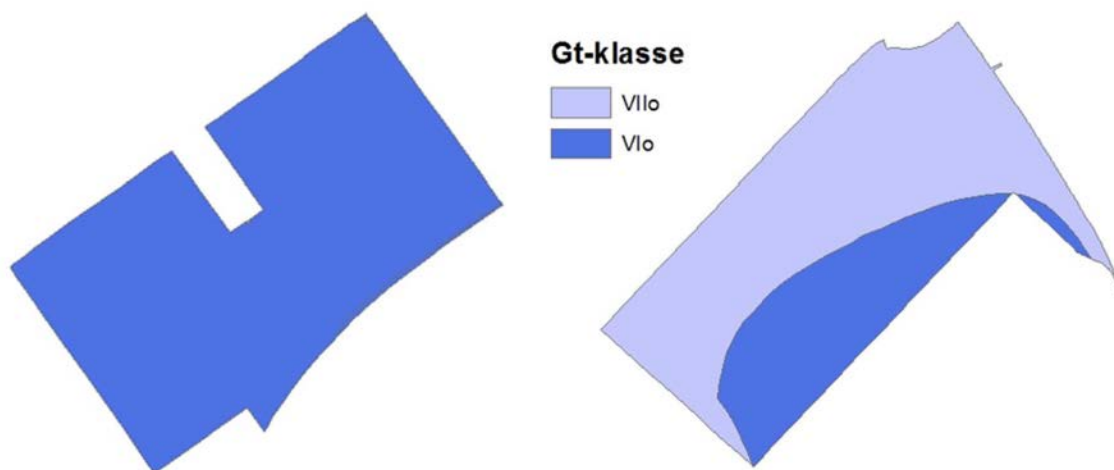
De gegevens over de ondiepe bodemopbouw zijn ontleend aan de Bodemkaart 1:50.000 (bodemfysische eenheden) en de informatie van de bedrijfsbezoeken (2015-2017). Beide informatiebronnen zijn bestudeerd. In figuur 3.3 worden de twee informatiebronnen met elkaar vergeleken. Hieruit blijkt dat de informatie die is verzameld bij de agrariërs goed aansluit bij de Bodemkaart. De verschillen zitten vooral in de interpretatie over zavel en lichte klei.

Informatie over grondwaterstanden is ontleend aan de Bodemkaart 1:50.000. Figuur 3.4 laat zien dat in Piet Oberman overal sprake is van grondwatertrap VIo, terwijl in de Meeuwentocht een groot gedeelte wat lagere grondwaterstanden kent (Grondwatertrap VII).

Voor de af- en uitspoeling is ook informatie over de aanwezigheid van buisdrainage relevant. Informatie hierover wordt voor STONE ontleend aan de buisdrainagekaart van de WUR. Deze is voor de pilotgebieden vergeleken met de informatie die hierover bij de bedrijven is verzameld. In figuur 3.5 worden beide informatiebronnen met elkaar vergeleken. Volgens de landelijke buisdrainagekaart is niet op alle landbouwpercelen buisdrainage aanwezig, terwijl uit de bedrijfsinformatie blijkt dat dit wel het geval is.

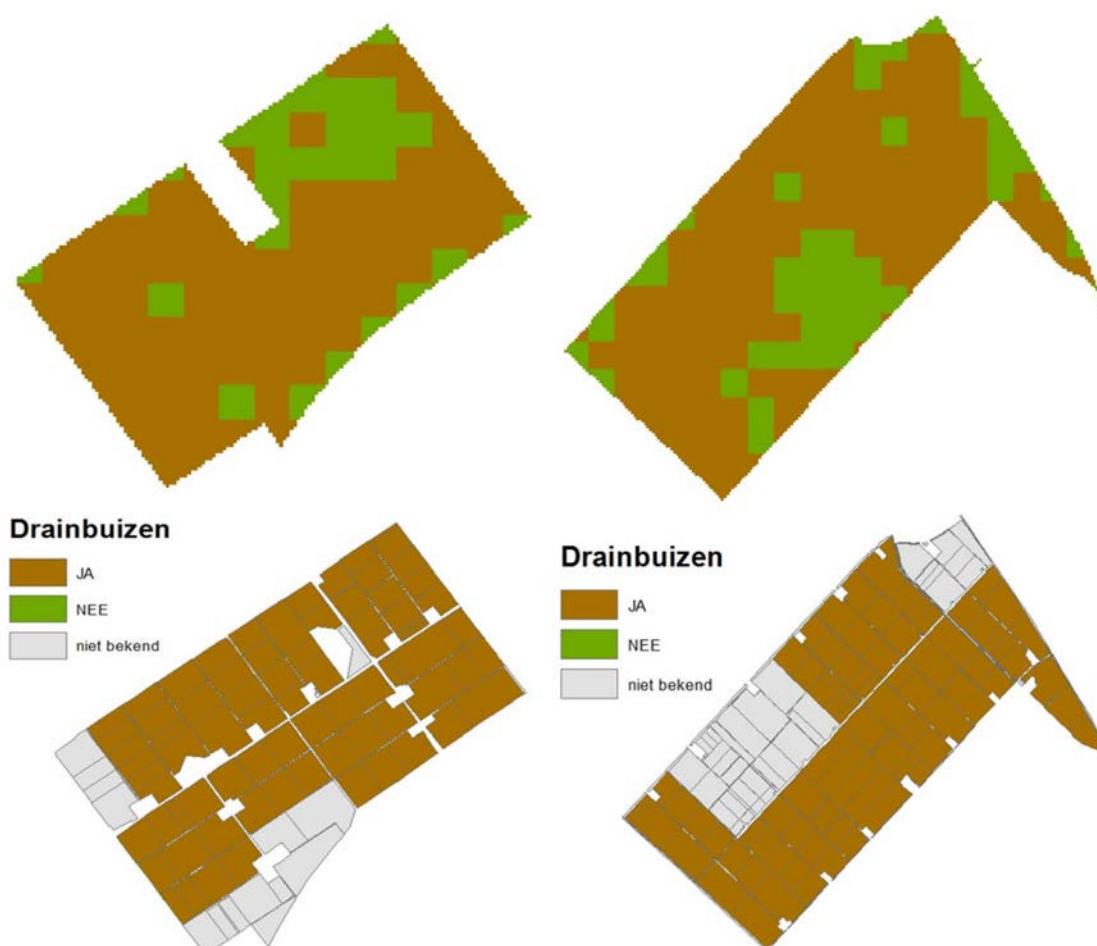


Figuur 3.3 Vergelijking bodemtype informatie uit de bodemkaart (boven) en bedrijfsinformatie (onder).



Figuur 3.4 Grondwatertrappen op basis van de Bodemkaart 1:50.000.

Grondwatertrap (Gt)	Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) in cm-mv	Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG) in cm-mv
Vlo	40 – 80	120-180
VloO	80 – 140	120-180



Figuur 3.5 Informatie over aanwezigheid van buisdrainage: boven volgens de landelijke buisdrainagekaart van de WUR (Massop, 2016), onder volgens de bedrijfsinformatie.

3.6 Opstellen nutriëntenbalansen

De nutriëntenbalansen zijn conform de ECHO-methode opgesteld met de in tabel 3.2 aangegeven balanstermen.

Tabel 3.2 Overzicht balanstermen en informatiebronnen voor het opstellen van stofbalansen.

Balansterm	Bron en relevantie
Inkomende vracht	
Af- en uitspoeling landbouw en natuur	SWAP-ANIMO-berekeningen
Uitspoeling stedelijk groen	Niet aanwezig
Overige landbouwemissies	EmissieRegistratie (versie 2013)
Atmosferische depositie open water	EmissieRegistratie (versie 2013)
AWZI's	Niet aanwezig
Industriële lozingen	Niet aanwezig
Overige bronnen	EmissieRegistratie (niet significant)
Directe kwel naar oppervlaktewater	Niet significant (kwel al verdisconteerd in SWAP-ANIMO-rekenplots)
Inlaat	Niet aanwezig
Uitgaande vracht	
Uitmaal	Vrachtberekeningen o.b.v. gemeten debieten en waterkwaliteit
Retentie	Rekenmethode o.b.v. areaal open water en bodemsoort (zie bijlage 5)

Af- en uitspoeling

Voor de af- en uitspoeling van stikstof en fosfor uit landbouw- en natuurgronden worden de volgende berekeningen uitgevoerd:

- Per gebied de sommatie van de stikstof- en fosforvracht berekend met bestaande SWAP-ANIMO-rekenplots (rekenperiode tot 2013) zoals die in de landelijke STONE-schematisatie ruimtelijk zijn toegekend.
- Per gebied de sommatie van de stikstof- en fosforvracht berekend met bestaande SWAP-ANIMO-berekeningen (rekenperiode tot 2013) van STONE-plots die door het herschikken beter aansluiten bij de perceelkenmerken.
- Per gebied de sommatie van de stikstof- en fosforvracht berekend met SWAP-ANIMO-berekeningen die specifiek voor het onderhavige onderzoek zijn opgezet op basis van de verzamelde perceel- en bedrijfsinformatie.

De modelberekeningen van de af- en uitspoeling worden in de volgende paragrafen behandeld.

Overige punt- en diffuse bronnen uit EmissieRegistratie

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. De emissiebronnen zijn in de EmissieRegistratie toegekend aan 34 subdoelgroepen die vervolgens geclusterd zijn tot 13 doelgroepen. Conform de ECHO-methodiek worden de doelgroepen geclusterd tot 6 groepen:

- LO: overige landbouwemissies (meemesten sloten, afvalwater glastuinbouw, erfafspoeling)
- DW: atmosferische depositie open water
- EF: rioolwaterzuiveringsinstallaties (AWZI's)
- IND: industriële lozingen
- OV: overige lozingen (o.a. verkeer, huishoudelijk afval, overige emissies)
- UA: uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurgronden

Bijlage 2 geeft een overzicht van de bronnen waar in EmissieRegistratie emissies van nutriënten naar water worden berekend.

Tabel 3.5 geeft een overzicht van de punt- en diffuse stikstof- en fosforbelasting naar het oppervlaktewater zoals die is ontleend aan de EmissieRegistratie.

Tabel 3.5 Stikstof- en fosforbelasting ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) van het oppervlaktewater van een aantal bronnen uit de EmissieRegistratie voor de twee pilotgebieden.

Bronnen	Stikstof		Fosfor	
	Meeuwentocht	Piet-Oberman	Meeuwentocht	Piet-Oberman
Overige landbouwemissies	0,61	0,88	0,05	0,06
Atmosferische depositie (op open water)	0,81	0,81	-	-
Industriële lozingen	-	-	-	-
AWZI's	-	-	-	-
Overige emissies	0,21	0,15	0,01	0,02

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 is berekend conform de werkwijze die is gehanteerd binnen de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Van Boekel et al., 2012) en daarop volgende KRW-ECHO studies (Van Boekel et al., 2013, 2015, 2016; Groenendijk et al., 2016, Schipper et al., 2016, 2019). Bijlage 5 geeft een uitgebreide beschrijving van de methode. De belangrijkste uitgangspunten zijn:

- Stikstof:
 - Klei- en veenpolders:
De grootte van de retentieprocessen is voor stikstof afgeleid uit metingen (PLONS-project, www.plons.wur.nl). Op basis van de eigenschappen van de polders is de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem bepaald om stikstof vast te leggen, uitgedrukt in gram per m^2 waterbodem. De zo berekende absolute stikstofretentie is van toepassing voor alle nutriëntenbronnen in polders met voornamelijk klei of veen in de ondergrond.
- Fosfor:
 - Alle polders:
Voor de fosforretentie in poldersystemen zijn dezelfde retentiefactoren aangehouden als die zijn gehanteerd bij de evaluatie van de Meststoffenwet 2012. Voor de af- en uitspoeling is een vaste retentiefactor gebruikt van 0,5 en voor de andere bronnen is een vaste retentiefactor van 0,2 aangehouden.

De afwateringsgebieden zijn voor het berekenen van de retentie geclassificeerd als kleipolder. Het areaal open water is de bepalende variabele in de berekende stikstofretentie. Door het geringe areaal open water is ook een geringe stikstofretentie berekend, namelijk ongeveer 1,1 kg/ha in de Meeuwentocht en 2 kg/ha in Piet Oberman. De retentie van fosfor wordt, zoals aangegeven in kleipolders, voor diffuse bronnen gesteld op 50% en voor puntbronnen op 20%. Omdat puntbronnen een klein aandeel hebben in de fosforbelasting, wordt een retentie berekend van 48%.

Uitgaande nutriëntenvrachten

De uitgaande nutriëntenvracht zijn afgeleid uit de debietberekeningen en waterkwaliteitsmetingen die door het waterschap zijn verzameld.

Voor beide gebieden geldt dat de monitoring ten behoeve van de pilot is geïntensiveerd. De debieten zijn berekend met een Q-h-relatie bij de stuw Meeuwentocht en een pompcurve voor een gemaal Piet Oberman. De debietformules zijn bij de start van de metingen door het waterschap afgeleid of gecontroleerd. De tijdreeksen van de uit metingen afgeleide debieten zijn weergegeven in figuur 3.6.

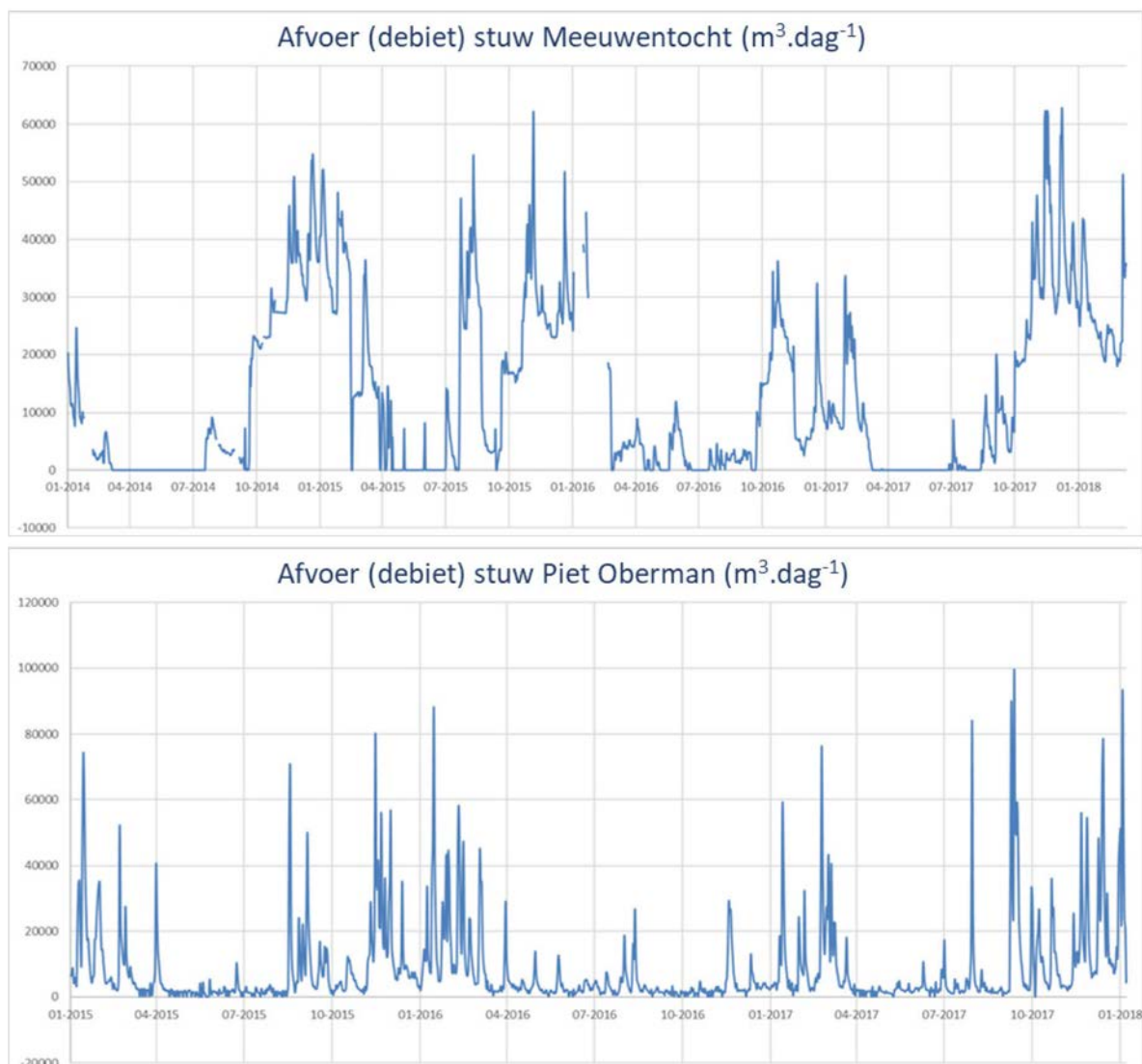
De gemeten afvoer van de Meeuwentocht is in 2015 hoger dan de opvolgende jaren, terwijl de neerslag die voor het gebied is afgeleid in dat jaar niet veel hoger was. Hiervoor is geen duidelijke verklaring gevonden. In de praktijk blijkt dat het gestuwde pand van de Meeuwentocht incidenteel

voor berekening werd aangevuld door agrariërs. De hoeveelheden zijn onbekend, maar uitgaande van 2 à 4 beregeningsbeurten van 20 mm per jaar in een kwart van het gebied, levert naar verwachting een geringe aanvoer (<5%) ten opzichte van de totaal gemeten afvoer. Bij het gemaal van Piet Oberman zit een schuif waarmee eventueel water ingelaten kan worden. Het waterschap verwacht dat hier in praktijk geen gebruik van wordt gemaakt, omdat het gemaal door de aanwezige kwel ook in droge perioden water afvoert en er in het gebied vooral uit grondwater wordt beregend.

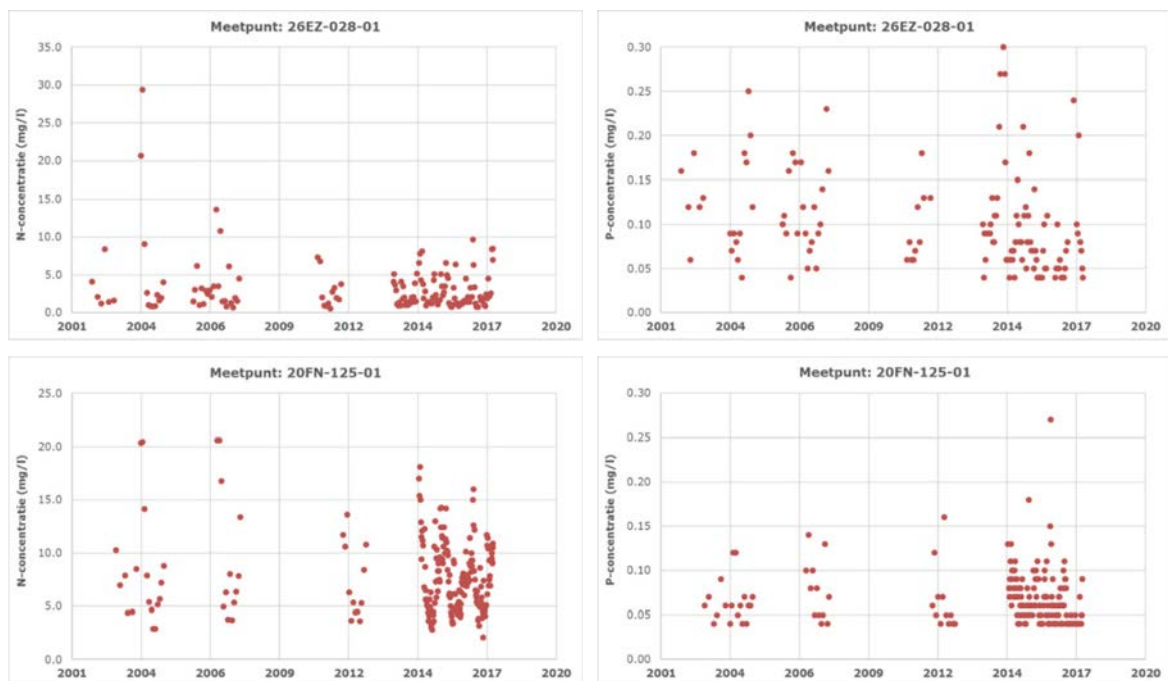
De waterkwaliteitsmetingen zijn weergegeven in figuur 3.8. Vanaf 2014 is de meetfrequentie van 1x per maand aangepast naar 2x per maand (Meeuwentocht) en 5x per maand (Piet Oberman). Op basis van deze metingen zijn de in tabel 3.6 aangegeven debieten en nutriëntenvrachten afgeleid.

Tabel 3.6 Uit metingen afgeleide uitgaande debieten nutriëntenvrachten 2015-2017.

	Eenheid	Meeuwentocht	Piet Oberman
Debiet	(mm. jaar ⁻¹)	490 mm	519
Debiet gewogen stikstofconcentratie	mgN/l	4,4	10,2
Debiet gewogen fosforconcentratie	mgP/l	0,09	0,07
Uitgaande stikstofvracht	(kgN. ha ⁻¹ . jaar ⁻¹)	22	53
Uitgaande fosforvracht	(kgP. ha ⁻¹ . jaar ⁻¹)	0,46	0,34



Figuur 3.6 Tijdreeksen uitgaande debieten Meeuwentocht en Piet Oberman.



Figuur 3.7 Waterkwaliteit metingen Meeuwentocht 2002-2017 (boven) en Piet Oberman (onder).

3.7 Berekening af- en uitspoeling nutriënten met STONE

3.7.1 Landelijke en regiospecifieke modelschematisatie

Met het STONE-instrumentarium wordt de af- en uitspoeling van nutriënten berekend met SWAP-ANIMO-rekeneenheden (rekenplots genoemd). Dit zijn kolommodellen waar de water- en nutriëntenhuishouding van landbouw- en natuurbodems dynamisch in de tijd worden gesimuleerd. Voor de landelijke modellering zijn 6405 rekenplots ontwikkeld, waarbij iedere rekenplot een unieke combinatie heeft van landgebruik (natuur, landbouwgewas), bodemtype, grondwatertrap en meteoregio. De ruimtelijke toedeling van deze rekenplots is in STONE uitgevoerd op een schaal van 250 x 250 m, zodanig dat de modelsimulaties landelijk en op stroomgebiedsniveau een representatief beeld geven qua verdeling van het landgebruik, bodemtype en grondwatertrappen, mestgiften en berekende nitraatgehalten.

Voor regionale toepassingen heeft het meerwaarde om de rekenplots ruimtelijk op een fijner detailniveau toe te delen. Hiervoor heeft de WUR een herschikkingsprocedure ontwikkeld. Deze herschikkingsprocedure (Van Boekel et al., 2013) bestaat uit twee onderdelen: 1) een gebiedsanalyse en 2) selectie rekenplots. In deze paragraaf wordt de herschikkingsprocedure kort beschreven, een uitgebreidere beschrijving is te vinden in bijlage 4.

Gebiedsanalyse

De eerste stap in de herschikkingsprocedure is het genereren van een zogenaamde MLBG-kaart op basis van de gebiedskenmerken (Meteodistrict, Landgebruik, Bodemtype en Gt-klasse). De volgende kaarten zijn hierbij gebruikt:

- Rasterbestand met informatie over meteodistrict
- Rasterbestand met informatie over landgebruik
- Landbouwpercelen: Bedrijfsgegevens + BRP2016
- Overig: LGN7
- Rasterbestand met informatie over de bodemfysische eenheden
- Rasterbestand met informatie over de Gt-klasse
- Rasterbestand met informatie waar buisdrainage aanwezig is (NHI-buisdrainagekaart)

De verschillende kaartlagen zijn gecombineerd tot één kaartlaag met unieke MLBG-eenheden met een resolutie van 25x25m. Deze MLBG-kaart is de input voor de tweede stap van de herschikkingsprocedure (selectieprocedure).

Selectieprocedure rekenplots

In de tweede stap zijn voor alle MLBG-eenheden representatieve rekenplots gezocht. Bij de zoektocht naar representatieve rekenplots kunnen zich meerdere situaties voordoen:

1. Er worden **meerdere** representatieve rekenplots per eenheid gevonden;
2. Er wordt **één** representatieve rekenplot gevonden;
3. Er kunnen **geen** rekenplots gevonden worden die voldoen aan de opgelegde criteria.

De resultaten van de herschikking is weergegeven in tabel 3.3. Uit de procedure blijkt dat voor 92% van de percelen zonder aanpassing van de opgelegde criteria een match is met de beschikbare STONE-rekenplots. Als iets wordt afgeweken van de bodemfysische eenheid is ervoor vrijwel ieder perceel (ruim 98%) een geschikte rekenplot gevonden.

Tabel 3.3 Resultaten herschikking; procentuele verdeling landgebruik, bodemfysische eenheden (BFE) en Hydrologie op basis van de MLBG-kaart (25x25-grid) en de nieuwe schematisering op basis van de gekozen SWAP-Animo-rekenplots.

kenmerk	Meeuwentocht		Piet Oberman	
Landgebruik	MLBG-kaart	SWAP_ANIMO rekenplots	MLBG-kaart	SWAP_ANIMO rekenplots
Stedelijk gebied	1,6	n.v.t.	3,0	n.v.t.
Open water	0,5	n.v.t.	0,1	n.v.t.
Landelijke gebied	98	n.v.t.	97	n.v.t.
Grasland	20	20	6,1	6,1
Akkerbouw	75	75	90	90
Mais	4,4	4,4	1,2	1,2
Natuur	0,3	0,3	2,7	2,7
BFE *				
7	-	-	4,0	3,2
15	8,8	18	88	86
16	74	65	-	2,4
17	17	17	-	0,2
18	-	-	3,2	3,2
19	-	-	4,7	4,9
Hydrologie				
Gt IV	-	-	-	5,4
Gt V*	-	1,4	-	1,0
Gt VI	31	38	100	93
Gt VII	69	60	-	0,5
Nat	-	1,4	-	1,0
Matig droog	31	38	100	98
Droog	69	60	-	1,0

3.7.2 Af- en uitspoeling berekend met herschikken STONE-plots

Voor het opstellen van de balans wordt de af- en uitspoeling van stikstof en fosfor uit landbouw- en natuurgronden volgens de landelijke STONE-schematisatie en volgens de herschikte STONE-plots per deelgebied gesommeerd. De resultaten hiervan zijn weergegeven in tabel 3.4. Hierbij is de berekende af- en uitspoeling uitgedrukt in kg/ha, door de totalen te delen door het areaal van het pilotgebied waarvoor de herschikking is uitgevoerd.

Uit deze resultaten volgt dat de nutriëntenbelasting in Piet Oberman significant hoger wordt berekend dan in de Meeuwentocht, zowel voor als na herschikking, en dat in beide gebieden het merendeel (70%) van de af- en uitspoeling plaatsvindt in het winterhalfjaar. Verder blijkt dat door herschikking in de Meeuwentocht de berekende stikstofaf- en uitspoeling afneemt met 20%, terwijl deze voor fosfor hier juist met 20% toeneemt. Voor Piet Oberman wordt door herschikking zowel voor N als P een iets

hogere af- en uitspoeling berekend. De bijdrage van de overige bronnen (paragraaf 3.6) is ten opzichte van de berekende af- en uitspoeling zeer gering.

Tabel 3.4 Af- en uitspoeling (kg. ha^{-1}) berekend voor en na herschikking van de STONE-rekenplots.

	Meeuwentocht		Piet Oberman	
	STONE	Herschikking	STONE	Herschikking
Uit- en afspoeling stikstof	36,6	29,7	43,9	44,7
Winterwaarde	26,4	21,3	31,0	31,3
Zomerwaarde	10,0	8,6	12,9	13,4
Uit- en afspoeling fosfor	0,72	0,87	1,34	1,44
Winterwaarde	0,55	0,63	0,95	1,00
Zomerwaarde	0,20	0,28	0,43	0,48

3.8 Regiospecifieke modellering SWAP-ANIMO

Voor de pilotgebieden zijn regiospecifieke rekenplots opgezet om de af- en uitspoeling van water en nutriënten te simuleren (stap 2b KRW-ECHO). De rekenplots zijn qua schematisering en modelinvoer zodanig opgezet dat optimaal gebruik is gemaakt van de verzamelde veld- en bedrijfsinformatie. Voor de rekenplots zijn dezelfde SWAP-ANIMO-modelprogramma's gebruikt als de SWAP-ANIMO-versies die in STONE worden toegepast. Dit met het oog op de gebiedsbrede modellering.

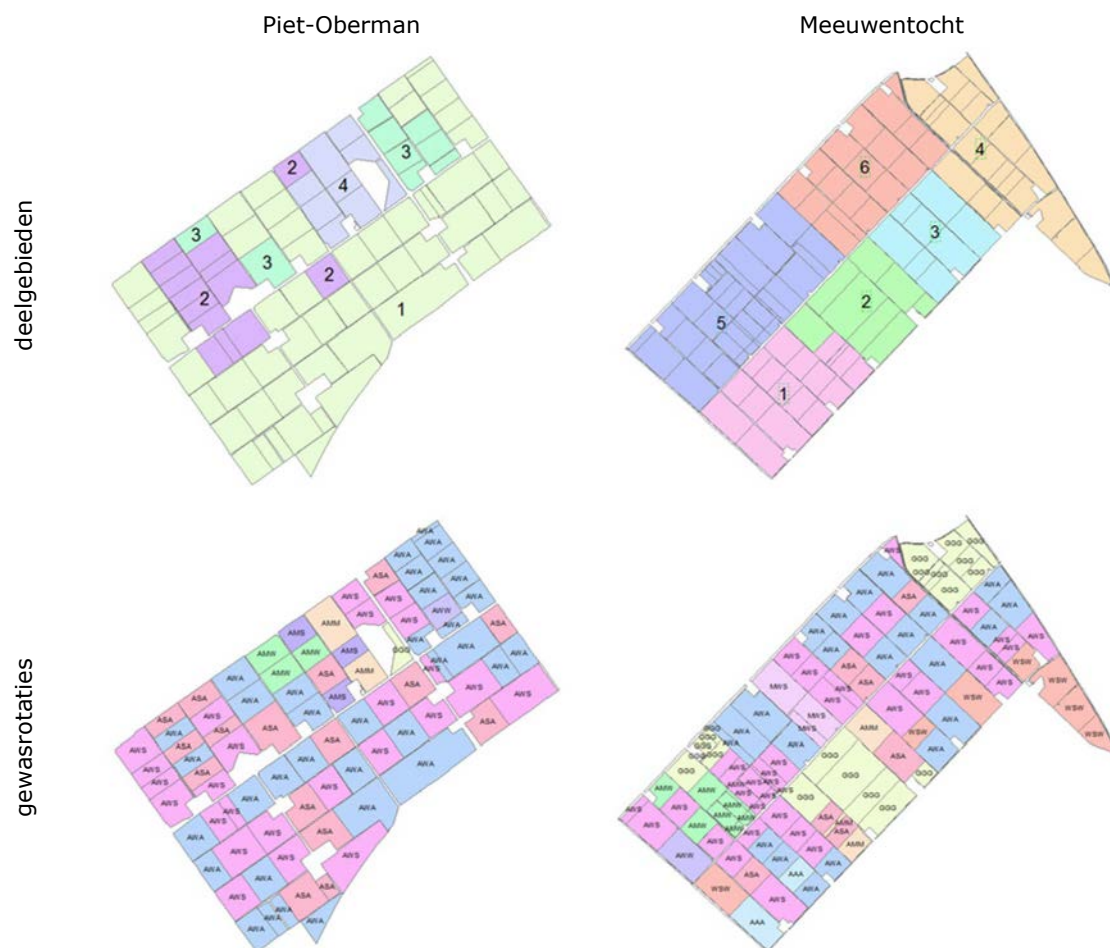
Gebruikte informatie

In het onderstaande schema staat welke informatie is gebruikt in de modellering met SWAP-ANIMO.

Bedrijfsgegevens		Opmerking	Gebruikt?	Gebruikt bij	Waarom niet gebruikt
Bouwplan 2015, 2016, 2017	Gewassen in 2015, 2016, 2017	39 gewassen	ja	gebiedsindeling en STONE-plotkeuze; modelinput gewasrotatie en bemesting,	
	Bodemkenmerken	bodemtype	zavel tot zware klei	ja	gebiedsindeling en stoneplot keuze
		organische stof (%)	2% tot 4.5%	nee	bodemtype, drainage, gt belangrijker
		kleischeuren	ja/nee	nee	zoals in stone plots
		diepploegen	ja/nee	nee	komt niet of nauwelijks voor
Drainagekenmerken		verdichting	ja/nee	nee	komt weinig voor (9% opp Oberman)
		drainage	ja/nee	ja	gebiedsindeling en STONE-plot keuze; opbouw model
		draindiepte	80 tot 135 cm	ja	
		drainafstand	6 tot 48 m	ja	
		type drainage		nee	drainafstand en -diepte belangrijker
management 2015, 2016, 2017	ploegen	mnd	ja	ploegdatum invoer ANIMO	
	cultiveren	mnd	nee		te gedetailleerd voor regiomodellering
	zaaien	mnd	nee		standaard swap animo gebruikt
	oogsten	mnd	nee		standaard swap animo gebruikt
	opbrengst (ton/ha)	ton/ha	nee	ev. voor kalibratie of controle	
Bemesting 2015, 2016, 2017	nabewerking	zeer divers	nee		is te gedetailleerd voor regiomodellering
	tijdstip 1 t/m 5	mnd	ja	bemestingsdatums invoer ANIMO	
	meststof type 1 t/m 5	zeer divers	ja	mestgiften invoer ANIMO	
	hoeveelheid 1 t/m 5	kg/ha	ja		
Berekening 2015, 2016, 2017	datum (1 t/m 3)	mnd	nee		Wordt in SWAP gesimuleerd bij overschrijding lage vochtspanning
	hoeveelheid (1 t/m 3)	mm	nee		
	herkomst		nee		

Ruimtelijke schematisatie

Het is niet efficiënt en zinvol om voor ieder perceel in de pilots een aparte, unieke rekenplot op te zetten. Op basis van de ruimtelijke patronen van de bodemtypen, grondwatertrappen, kwel en drainage is de Meeuwentocht voor de model-schematisatie ingedeeld in zes deelgebieden en Piet Oberman in vier deelgebieden. Ieder deelgebied is weer verder onderverdeeld in drie tot zes gewasrotaties. Dit levert in totaal 43 rekenplots. Aan ieder hiervan is een eigen bemesting toegekend. Het resultaat van deze ruimtelijke schematisatie is weergegeven in figuur 3.8.



Figuur 3.8 Ruimtelijke schematisatie SWAP-ANIMO-modellering.

Modelinput bodem en hydrologie

In het gebied van de Meeuwentocht zijn door het waterschap drie boringen uitgevoerd tot een diepte van circa 3 m. Deze zijn afgewerkt met een peilbuis met een ondiep filter in de kleiige deklaag (circa 1 m-mv) en een dieper filter in de onderliggende zandlaag (circa 2 m-mv). Hetzelfde is uitgevoerd in het pilotgebied Piet Oberman. De deklaag is daar iets dikker, daarom zijn de diepe peilbuisfilters daar iets dieper, op circa 4 m-mv geplaatst. De boorprofielen zijn weergegeven in figuur 3.9. In de diepe filters zijn in april 2016 grondwatermonsters genomen voor chemische analyse. De analysesresultaten van stikstof en fosfor zijn weergegeven in tabel 3.7.

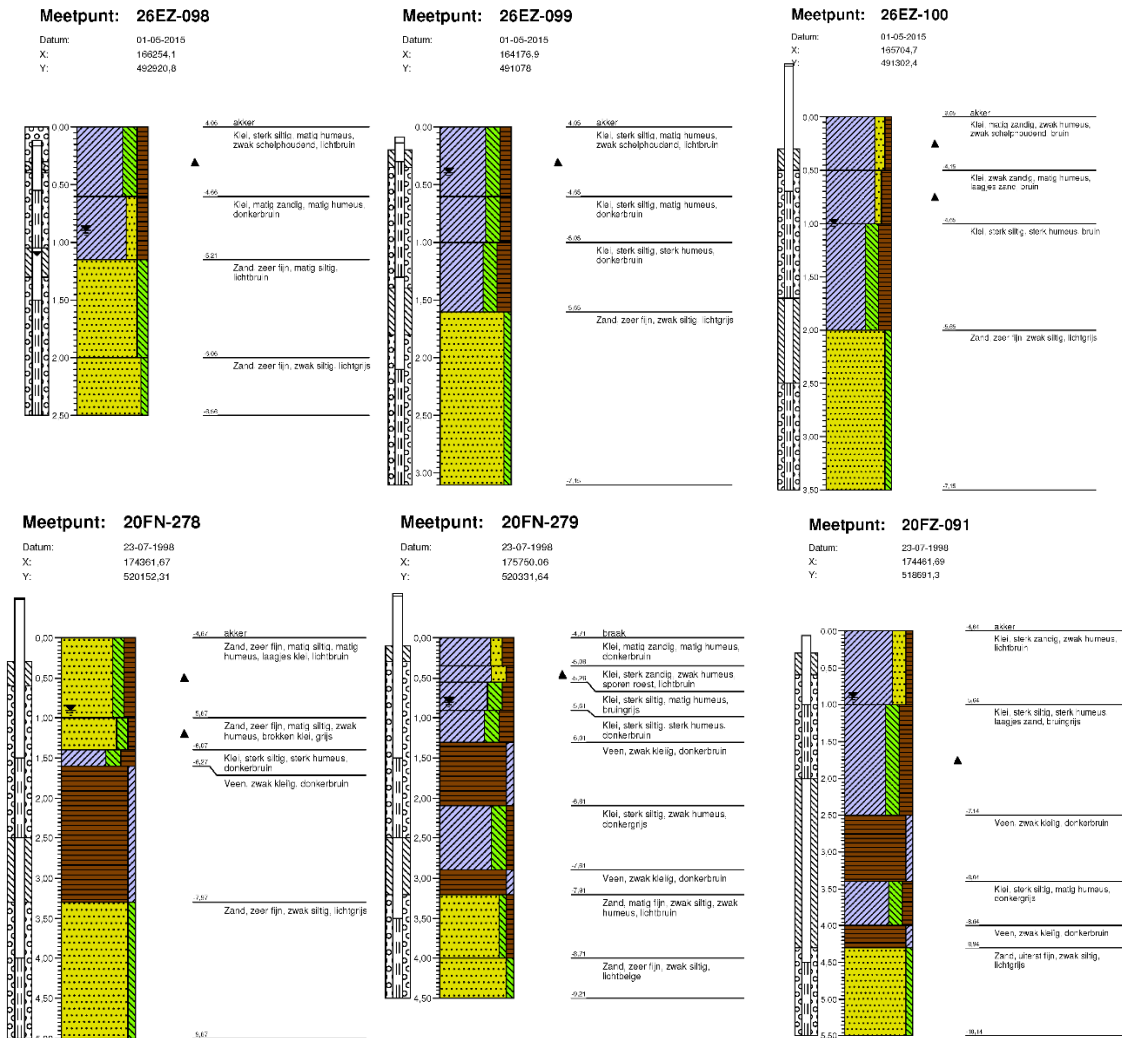
Tabel 3.7 Analysesresultaten grondwaterkwaliteit pilotgebieden.

Stof	eenheid	Piet Oberman						Meeuwentocht			
		2016	2016	2017	2017	2017	Model	2017	2017	2017	Model
	Peilbuis	278	279	278	279	091	invoer*	098	099	100	invoer
Ammonium (NH ₄)	mgN/l	11,8	7,7	11,6	8,0	20,3	13,30	0,36	3,1	3,0	2,15
N-Kjeldahl (NH ₄ +org.N)	mgN/l	11,8	5,9	12,4	9,0	22,1	14,50	1,0	4,0	3,4	2,80
Som Nitraat en Nitriet	mgN/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	0,14	0,08
Ortho fosfaat	mgP/l	0,56	0,09	0,55	<0,01	0,02	0,19	0,24	0,70	0,12	0,35
Totaal fosfaat	mgP/l	0,60	0,35	0,58	0,87	0,46	0,63	0,58	0,76	0,17	0,50
Chloride	Mg/l	190	130	220	180	260		41	55	180	

* In de modelinvoer worden organisch gebonden stikstof en organisch gebonden fosfor apart ingevoerd.

Met deze informatie zijn de rekenplots geschematiseerd als een bodemkolom. Hieraan zijn de diverse randvoorwaarden en modelparameters toegekend. Voor de onderrand is per deelgebied een onderrandflux berekend met de mediane stijghoogte (op basis van DINO-peilbuizen en een sinus fit

voor de gemiddelde seizoenvariatie) en een deklaagweerstand (c-waarde) uit het grondwatermodel AZURE. Hierbij zijn voor elk gebied eenzelfde amplitude en maximale stijghoogte toegekend die zijn afgeleid van de stijghoogte die in de peilbuizen zijn gemeten. Voor de samenstelling van het kwelwater (onderrand) is gerekend met een gebiedsgemiddelde concentratie in het zandpakket onder de deklaag zoals aangegeven in tabel 3.7. Neerslag en verdamping zijn ontleend aan de KNMI-data van de drie meest nabijgelegen meteostations.



Figuur 3.9 Boorprofielen peilbuizen Meeuwentocht (boven) en Piet Oberman (onder).

Voor de detailontwatering zijn de bedrijfsgegevens vereenvoudigd naar vier (Meeuwentocht) en twee (Piet Oberman) combinaties. Voor de bodemopbouw is ieder profiel conform STONE-rekenplots 13 m diep. Variaties in de diepe bodemopbouw (dikte scheidende lagen en diepte van het watervoerende pakket) zijn verdisconteerd in de rekenplots door de drainageafstanden aan te passen, zodanig dat hiermee – gelet op de bodemopbouw – realistische dieptes van stroombanen mee te simuleren zijn. Het voorkomen van rijpingsscheuren in klei- en zavelgronden is kenmerkend voor Flevoland en deze kunnen een belangrijke drainerende functie hebben. De SWAP-ANIMO-versie van STONE heeft geen module om het transport van kleischeuren apart te simuleren. Het voorkomen van de kleischeuren is daarom verdisconteerd in de modelopbouw en de modelparameters voor drainage.

Vereenvoudiging gewasrotaties

In de bedrijfsgegevens komen 39 verschillende gewassen voor. Deze zijn vereenvoudigd naar de volgende vijf gewasgroepen en 11 rotaties (tabel 3.8): AAA, AMM, AMS, AMW, ASA, AWA, AWS, AWW, GGG, MWS, WSW.

Tabel 3.8 Model indeling gewasgroepen en bijhorende rotaties.

Code	Gewasgroep	Opmerking
A	Aardappelen	incl. uien,peen, witlof, wortel, peterselie, graszaad, bloembollen
M	Mais	
W	Wintertarwe	incl. overig graan
S	Suikerbieten	
G	Grasland	incl. luzerne
Onbekend		ingevuld vanuit de BRP van 2015, 2016 en 2017

(Voorkeuren rotaties: A en M vooraan, G achteraan, W niet na S, liefst geen AA, AS of SA.)

Mestgiften

De totale mestgift in kg N en P per pilotgebied per gewasgroep is berekend op basis van de bedrijfsgegevens. Er is geen onderscheid gemaakt tussen jaren. De volgende informatie is in de modellering aangehouden:

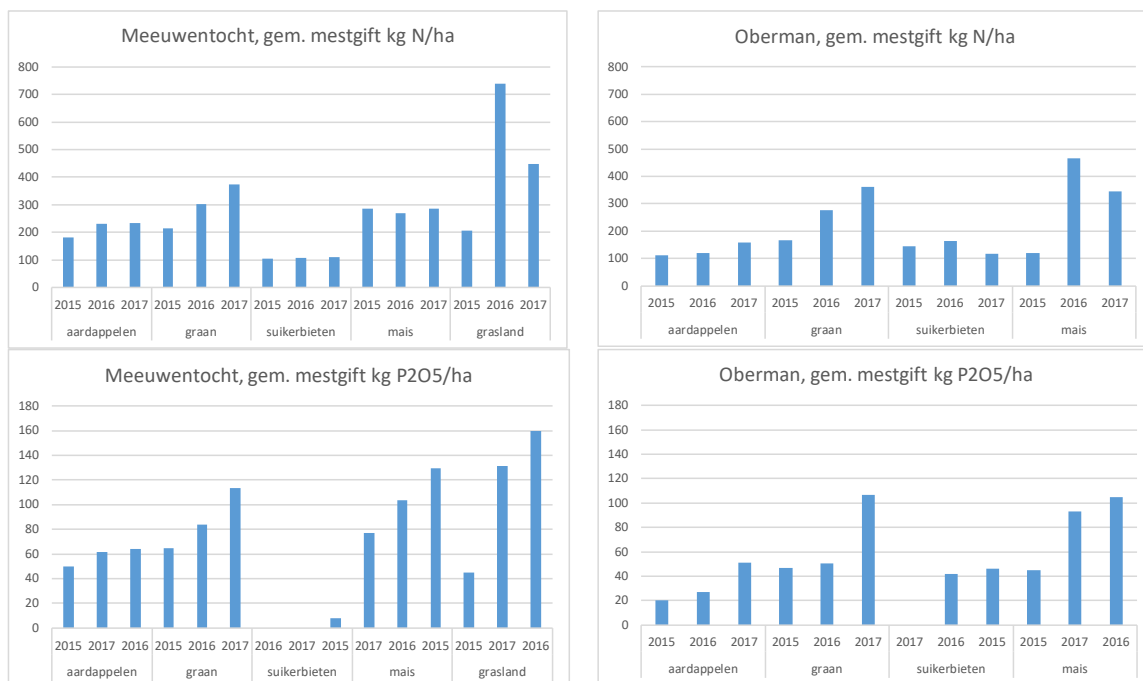
- Mesttype: KAS (kunstmest) en runderdrijfmest;
- Tijdstippen op basis van de bedrijfsgegevens;
- Ploegen op 1 november, 35 cm diep. Grasland wordt niet geploegd.

De totale mestgiften per gebied en per gewascategorie zijn weergegeven in tabel 3.9. Figuur 3.10 geeft de mestgiften zoals ingevoerd in de modellering op de verschillende tijdstappen omgerekend naar kg stikstof en fosfor per ha.

Een aandachtspunt bij de modelinput voor bemesting is dat de verdeling van de mestgiften over de jaren in de modelinput verschilt ten opzichte van hetgeen uit de bedrijfsinformatie is ontleend door de definitie van de gewasrotaties. Hierbij moet worden bedacht dat de bedrijfsgegevens betrekking hebben op drie jaren, terwijl voor gewasrotaties meestal een langere periode geldt. Daarmee is rekening gehouden in het berekenen van de voorgeschiedenis.

Tabel 3.9 Modelinput jaarlijkse mestgiften per pilotgebied en daarin onderscheiden gewascategorieën.

	N kg/ha/j	P2O5 kg/ha/j	Tijdstip en type
Meeuwentocht			
Aardappel, ui, peen, witlof, e.a.	216	58	apr KAS; juni rund dm
Wintertarwe	297	87	mrt KAS; apr rund dm
Suikerbieten	108	8	apr KAS
Mais	280	103	apr rund dm; juni KAS
Grasland	465	112	mrt, mei, juni, juli, aug KAS; mrt, mei, aug rund dm
Piet Oberman			
Aardappel, ui, peen, witlof, e.a.	131	33	mei KAS; juni rund dm
Wintertarwe	269	68	mrt KAS; apr rund dm
Suikerbieten	142	44	mei KAS
Mais	310	81	mrt KAS; mrt, mei rund dm
Grasland	465	112	mrt, mei, juni, juli, aug KAS; mrt, mei, aug rund dm



Figuur 3.10 Modelinput mestgiften, omgerekend naar kg/ha stikstof (boven) en kg/ha fosfor (onder).

Resultaten SWAP-ANIMO

De berekende debieten en af- en uitspoeling zijn weergegeven in tabel 3.10. In de volgende paragraaf worden de resultaten hiervan vergeleken met de af- en uitspoeling die is berekend met STONE.

Tabel 3.10 Debieten, af- en uitspoeling nutriënten zoals berekend met SWAP-ANIMO voor de periode 2015-2017 (per jaar en gemiddeld over de 3 rekenjaren).

SWAP-ANIMO	Meeuwentocht (822 ha)			Piet Oberman (543 ha)		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017
Debiet (Mm ³ .jaar ⁻¹)	4.29	3.01	4.72	2.38	1.52	2.58
Debiet (mm. jaar ⁻¹) gemiddeld	487			398		
N (ton. jaar ⁻¹)	12976	9638	18775	11342	8320	19981
P (ton. jaar ⁻¹)	624	302	540	439	264	447
N (kg. ha ⁻¹ . jaar ⁻¹) gemiddeld	16.8			24.4		

3.9 Resultaten en discussie balansen pilotgebieden

De nutriëntenbelasting (zoals die met ECHO is berekend met de STONE-rekenplots vóór en na herschikken en de regiospecifiek opgezette SWAP-Animo-rekenplots) is weergegeven in tabel 3.11.

Tabel 3.11 Resultaten berekende nutriëntenbalans pilotgebieden waarbij de af- en uitspoeling is berekend met STONE (landelijke en met herschikking regiospecifiek gemaakte schematisatie) en met de SWAP-ANIMO-rekenplots die in het onderhavige onderzoek specifiek zijn opgezet op basis van de verzamelde veld- en bedrijfsinformatie. De belasting en retentie zijn uitgedrukt in $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Stikstof	Meeuwentocht			Piet Oberman		
	STONE-landelijk	STONE Herschikking	SWAP-ANIMO	STONE landelijk	STONE Herschikking	Swap-ANIMO
Oppervlak (ha)	900	900	822	572	572	543
Inkomende belasting						
• Af en uitspoeling	37.0	30.4	16.8	44.6	45.6	24.4
• Landbouw overig	0.6	0.6	0.6	0.9	0.9	0.9
• atmosferische depositie	0.8	0.8	0.8	0.4	0.4	0.4
• Overige emissies*	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
totaal in:	38.6	32.0	18.4	46.0	47.0	25.8
Retentie	1.1	1.1	0.6	1.8	1.8	1.0
Totaal uit berekend (belasting – retentie)	37.5	31.0	17.8	44.2	45.2	24.8
Totaal uit afgeleid uit metingen	21.6	21.6	21.6	52.7	52.7	52.7

Fosfor	Meeuwentocht			Oberman		
	STONE landelijk	STONE Herschikking	SWAP-ANIMO	STONE landelijk	STONE Herschikking	SWAP-ANIMO
Inkomende belasting						
• Af en uitspoeling	0.72	0.87	0.59	1.34	1.44	0.71
• Landbouw overig	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06
• atmosferische depositie	0	0	0	0	0	0
• Overige emissies	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
Totaal in:	0.8	0.9	0.7	1.4	1.5	0.8
Retentie	0.4	0.4	0.3	0.7	0.7	0.4
Totaal uit berekend (belasting – retentie)	0.41	0.48	0.34	0.74	0.79	0.41
Totaal uit afgeleid uit metingen	0.46	0.46	0.46	0.34	0.34	0.34

* Overige emissies betreffen scheepvaart, overstorten, ongerioleerde huishoudelijke lozingen en Iba's. In beide gebieden zijn geen industriële lozingen of AWZI's en is geen waterinlaat berekend.

Uit tabel 3.11 blijkt dat de berekende af- en uitspoeling zoals berekend met SWAP-ANIMO sterk kan verschillen met de rekenplots van het landelijke modelinstrumentarium. Dit komt vooral door in de rekenplots meer variatie in te bouwen voor gewasrotaties en in de modelinput de bedrijfsinformatie over mestgiften en gewasopbrengsten te verwerken. Volgens de bedrijfsinformatie zijn de mestgiften iets kleiner en de gewasopbrengsten juist iets groter dan hetgeen in de rekenplots van STONE is ingevoerd. Met STONE zijn de mestgiften die in de rekenplots worden ingevoerd, berekend met het deelmodel Mambo. Vanaf 2019 worden voor evaluaties van de mestwetgeving de mestgiften berekend met het model INITIATOR (Kros et al., 2019).

Verder zijn er met SWAP-ANIMO op basis van de twee meetlocaties (peilbuizen) kwelconcentraties ingevoerd die sterk afwijken van de met herschikking geselecteerde rekenplots. Door deze verschillen wordt vooral in het gebied Piet Oberman met de SWAP-ANIMO-rekenplots voor stikstof een duidelijk lagere af- en uitspoeling berekend.

Door de korte verblijftijden in beide tochten wordt voor stikstof een geringe retentie berekend van circa 3%. Dit is gering in vergelijking met hetgeen voor andere (grotere) gebieden wordt berekend. Voor fosfor is, zoals aangeven, voor de diffuse belasting een retentie aangehouden van 50% en voor puntbronnen 20%.

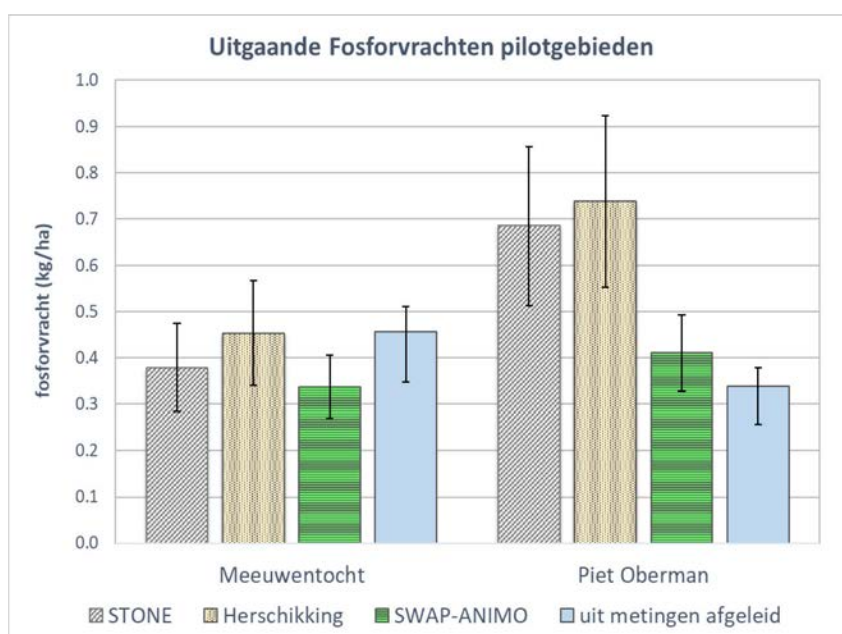
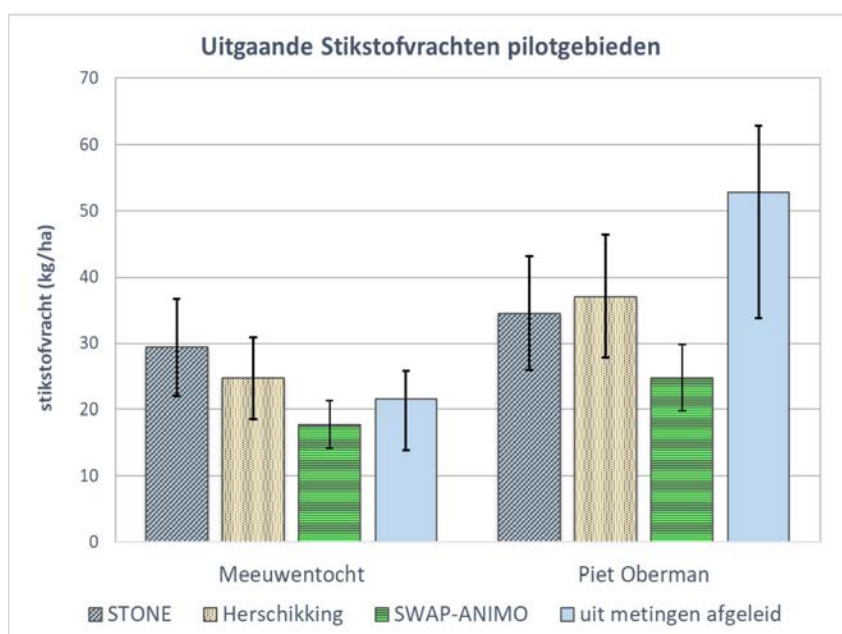
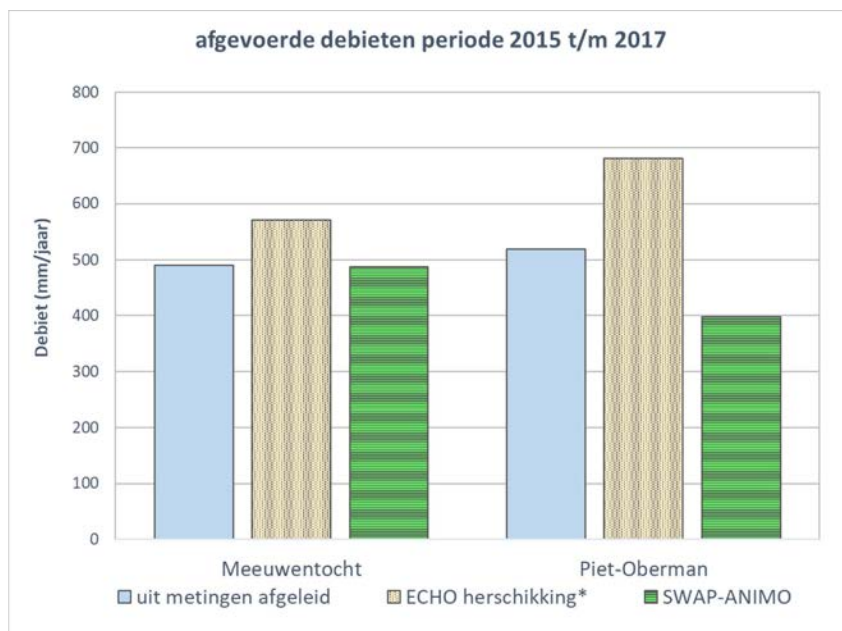
De vergelijking van de berekende uitgaande debieten en vrachten met de uit metingen afgeleide vrachten zijn weergegeven in figuur 3.11. De verschillen tussen de modelresultaten en hetgeen uit de metingen is afgeleid, vallen in de Meeuwentocht binnen generiek aangenomen onzekerheidsmarges. In het pilotgebied Piet Oberman geldt dit wel voor fosfor, maar niet voor stikstof. Waarschijnlijk komt dit door de invoer en daarbij horende onzekerheden over de ammoniumgehalten in het kwelwater. Ten opzichte van de STONE-plots zijn met de specifieke SWAP-ANIMO-plots lagere kwelconcentraties gehanteerd. Daarnaast zijn op basis van de verzamelde bedrijfsinformatie ten opzichte van de STONE-plots lagere stikstofbodemoverschotten ingevoerd. Verder moet worden bedacht dat de gemeten concentraties van zowel stikstof als fosfor een grote variatie in de tijd vertonen (figuur 3.8), waardoor de vrachten die uit de metingen worden afgeleid, gepaard gaan met een relatief grote onzekerheidsmarge.

Uit de resultaten van de pilots komen de volgende aandachtspunten naar voren voor het opstellen van de water- en nutriëntenbalansen in Zuiderzeeland:

- De landelijke informatie over bodemtype, landgebruik en detailontwatering die door de WUR wordt gebruikt voor het simuleren van de af- en uitspoeling van nutriënten sluit goed aan op de gedetailleerde informatie die in de pilotgebieden is verzameld.
- Het landgebruik in de pilotgebieden is hoofdzakelijk agrarisch. Daarom wordt de nutriëntenbelasting vrijwel uitsluitend bepaald door af- en uitspoeling vanuit de landbouwgronden.
- Met de modellering van de af- en uitspoeling van stikstof kunnen onzekerheden in de mestgiften en gewasopbrengsten sterk doorwerken in de berekende uitspoeling. Datzelfde geldt voor de concentraties van grondwater dat uit watervoerende lagen opwelt naar het bodemprofiel (deklaag).

In de gebiedsbrede uitwerking (hoofdstuk 4) is rekening gehouden met deze aandachtspunten:

- Met het beschikbaar zijn rekeneenheden geselecteerd die aansluiten bij de actuele informatie over bodemtype, landgebruik (LGN7) en grondwatertrappen. Voor de invloed van kwelwater op de af- en uitspoeling is nagegaan of de kwelconcentraties die als onderrandvoorwaarde worden opgelegd in de geselecteerde rekeneenheden aansluiten bij de beschikbare (ruimtelijke) inzichten in de samenstelling van het kwelwater. Waar deze in belangrijke mate afwijken, worden de rekenplots daarop aangepast.
- In gebieden waar water wordt ingelaten, AWZI's of anderen lozingen aanwezig zijn en/of veel natuur of stedelijk gebied aanwezig is, kunnen ook andere nutriëntenbronnen belangrijk zijn. De waterinlaat en de doorvoer van water zijn in nauwe samenwerking met het waterschap gekwantificeerd op basis van de actueelste informatie over de waterkwaliteit en debieten. De lozingen van AWZI's zijn gekwantificeerd op basis van alle beschikbare informatie over de gemeten effluentdebieten en concentraties.
- Voor de mestgiften en gewasopbrengsten is nagegaan of met het model Initiator en/of andere informatiebronnen beter betrouwbare informatie geleverd kan worden.



Figuur 3.11 Berekende en uit metingen afgeleide debieten en uitgaande stikstof- en fosforvrachten.

4 Water- en nutriëntenbalansen Flevoland

4.1 Inleiding

Nadat de water- en nutriëntenbalansen voor de twee pilotgebieden zijn gekwantificeerd, is de water- en nutriëntenbalans opgesteld voor de lijnvormige oppervlaktewaterlichamen in Flevoland voor de periode 2010-2017. Ook hier is de methode KRW-ECHO toegepast. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de model-schematisatie (gebiedsindeling,erschikken rekenplots af- en uitspoeling naar landgebruik, bodemtype en grondwatertrappen, overige nutriëntenbronnen, routing en gebruikte meetgegevens, de retentie van de nutriënten in het oppervlaktewater, de berekende nutriëntenbalans en de validatie van de water- en nutriëntenbalansen). Een nadere analyse van de herkomst wordt beschreven in het volgende hoofdstuk.

4.2 Gebiedsindeling en landgebruik

De gebiedsindeling voor het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland is gezamenlijk met de hydrologen van het waterschap vastgesteld. Aanvankelijk is de analyse uitgevoerd voor een indeling van Flevoland in vijf deelgebieden: de hoge en lage afdeling van zuidelijk en oostelijk Flevoland, en de hoge, tussen en lage afdeling in de Noordoostpolder. Nadat de balansen op dit niveau zijn gevalideerd, is het beheergebied ingedeeld in twaalf afwateringsgebieden (verder aangeduid als vanggebieden). Deze indeling sluit aan op de lijnvormige oppervlaktewaterlichamen die voor de KRW zijn aangewezen (zie figuur 4.1).

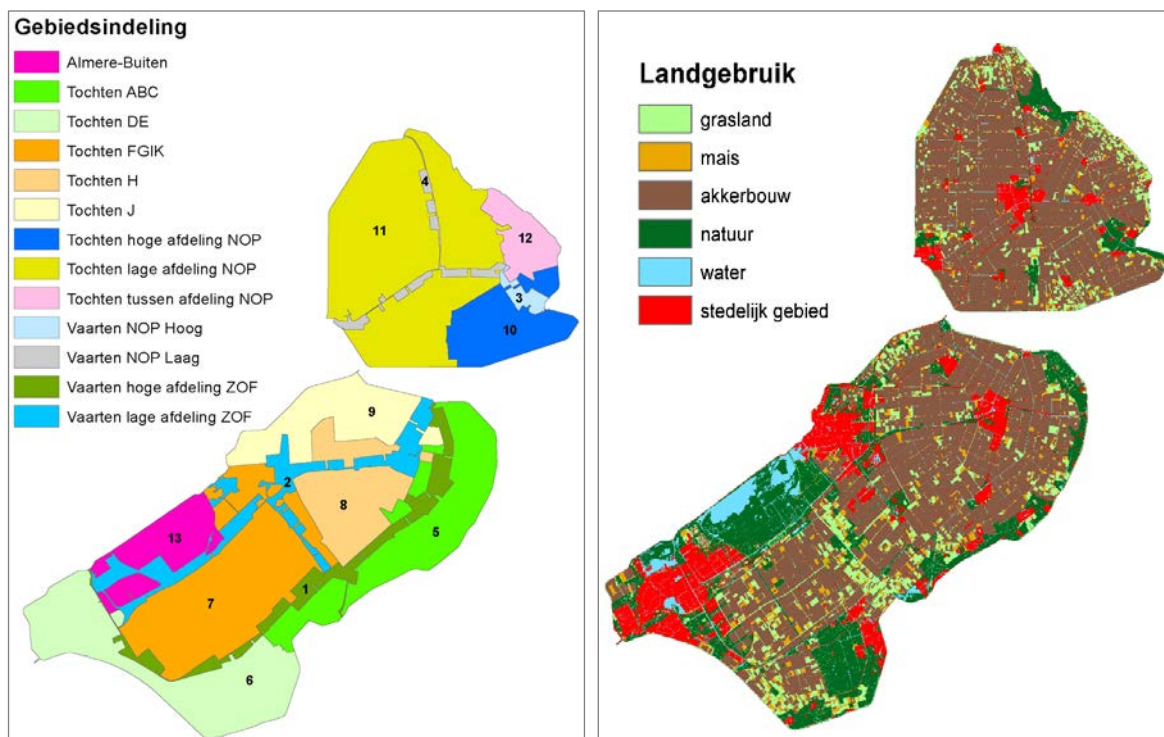
Het KRW-waterlichaam 'Tochten lage afdeling NOP' is gesplitst in twee afwateringsgebieden: 'Tochten tussen afdeling NOP' en 'Tochten lage afdeling NOP'. Het KRW-waterlichaam 'Vaarten-NOP' is gesplitst in 'Vaarten lage afdeling NOP' en 'Vaarten hoge afdeling NOP'. Dit om de bijdrage van de doorvoer beter te kunnen berekenen en de water- en nutriëntenbalans van 'Tochten tussenafdeling NOP' te kunnen valideren. Het gebied Almere-buiten is geen KRW-waterlichaam en bestaat vooral uit stedelijk gebied, natuur en open water. In de overzichten worden daarom voor dit gebied geen aparte balansen gegeven. Wel wordt de belasting meegenomen in de balansen van het vanggebied 'Vaarten lage afdeling ZOF', omdat daarop wordt afgewaterd.

Het landgebruik is bepaald op basis van LGN 7. Tabel 4.1 geeft een overzicht van de totale arealen, het areaal landelijk gebied en de onderverdeling daarvan in akkerbouw, grasland, mais en natuur.

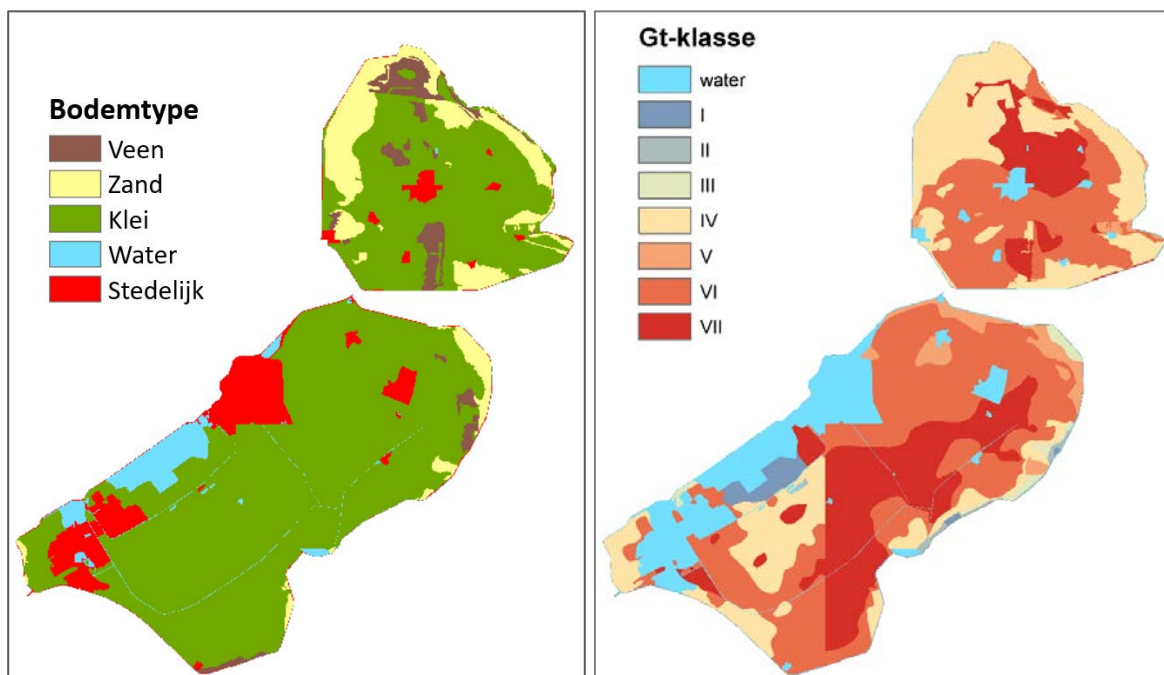
Tabel 4.1 Areaalverdeling landgebruik; landelijk uitgesplitst naar akkerbouw, grasland, mais, natuur.

Waterlichaam (vang)gebied	Areaal (ha) vanggebied	Areaal landelijk gebied (ha en %)		Akkerbouw	Grasland	Mais	Natuur
1 Vaarten hoge afdeling ZOF	6289	5538	88%	3707	684	145	1003
2 Vaarten lage afdeling ZOF*	8692	5901	68%	2072	835	176	2818
3 Vaarten NOP Hoog	990	750	76%	207	42	8	493
4 Vaarten NOP Laag	2021	1351	67%	1173	93	18	67
5 Tochten ABC	15338	13385	87%	6995	2200	621	3570
6 Tochten DE	17255	11435	66%	2735	1931	623	6146
7 Tochten FGIK	22172	18823	85%	12265	3000	1235	2323
8 Tochten H	10485	9954	95%	8753	750	303	147
9 Tochten J	10139	8554	84%	5879	1267	235	1173
10 Tochten hoge afdeling NOP	8315	7756	93%	5825	1190	252	489
11 Tochten lage afdeling NOP	32461	29108	90%	23411	3050	612	2034
12 Tochten tussen afdeling NOP	4198	3850	92%	2647	990	189	23
Almere-buiten*	6970	3776	54%	2	143	33	3598
Totaal	145325	120181	83%	75671	16175	4450	23884

Van het totale areaal is 83% landelijk gebied (landbouw 66,2% en natuur 16,4%). De meeste landbouwgronden zijn in gebruik als akkerbouw. In deelgebied Tochten DE is ook relatief veel natuur aanwezig. Het overige landgebruik is stedelijk (Almere in het vanggebied Almere-buiten en Tochten DE en Lelystad in het vanggebied Tochten FGIK) en oppervlaktewater (vooral de Oostvaardersplassen in deelgebied Almere-Buiten). De gebieden die direct op de vaarten afwateren (en dus niet via de tochten), zijn relatief gering (zie figuur 4.1).



Figuur 4.1 Gebiedsindeling water- en nutriëntenbalans Zuiderzeeland (links) en landgebruik (LGN7).



Figuur 4.2 Bodemtype (grondsoort, links) en grondwatertrappen (rechts) op basis van de PAWN-bodemkaart (afgeleid van de bodemkaart 1:50.000; Klijn, 1997).

4.3 Bodemtype en grondwatertrappen

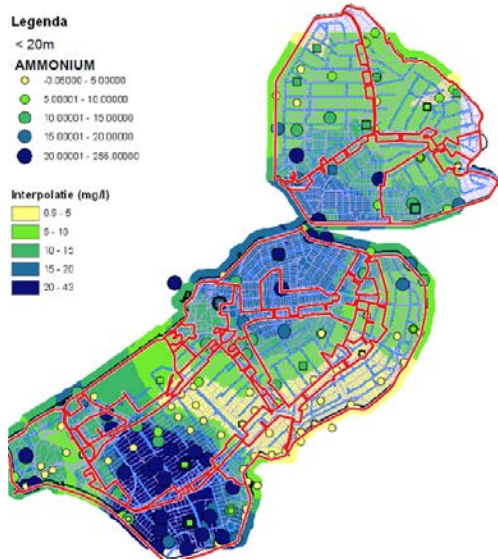
Gegevens over de bodemtypen en grondwatertrappen zijn ontleend aan de 1:50.000-bodemkaart (Klijn, 1997). De hiervan afgeleide PAWN-bodemkaarteenheden zijn weergegeven in figuur 4.2. Er komen hoofdzakelijk kleigronden voor. In enkele gebieden zijn in de bovenste meter van de bodem veen(resten) aanwezig. In de Noordoostpolder komen langs de randen nog zandgronden voor. De gronden zijn in het algemeen goed ontwaterd, hetgeen naar voren komt in de grondwatertrap (GT VI, VII en IV). Bij de interpretatie van figuur 4.2 moet worden bedacht dat de rekenplot voor de af- en uitspoeling met het herschikken (paragraaf 4.4) allereerst toegespitst wordt op het landgebruik volgens LGN7 en dat alleen voor de natuur- en landbouwgronden vervolgens gekeken wordt welke bodemtypen en grondwatertrappen daarbij horen.

4.4 Herschikken en aanpassen rekenplots SWAP-ANIMO

Voor het berekenen van de af- en uitspoeling van stikstof en fosfor uit landbouw- en natuurgonden is een herschikkingsprocedure toegepast, analoog aan de herschikking die voor de pilotgebieden is uitgevoerd (zie paragraaf 3.6 en bijlage 4). In de pilotgebieden is het belang naar voren gekomen om na te gaan of de chemische samenstelling (ammonium en fosfor) van het kwelwater goed als onderrandvoorwaarde wordt meegenomen in de geselecteerde rekenplots. Hiervoor is gekeken naar meetdata van de grondwaterkwaliteit die in de landelijke database DINO is opgenomen en de ruimtelijke uitwerking van gemeten ammoniumgehalten door Grontmij (2008, zie figuur 4.3). Tabel 4.2 geeft hiervan een overzicht.

Tabel 4.2 *Vergelijking ammoniumgehalten kwelwater uit DINO, ruimtelijke uitwerking Grontmij (2008) en gemiddelde rekenplots die met het herschikken zijn geselecteerd. De vanggebieden van de vaarten zijn vanwege het lijnvormige karakter niet in deze vergelijking opgenomen.*

nr	Naam ECHO	NH ₄ range kaart GM <20m (mg/l)	NH ₄ range DINO 5- 10 m-mv (mgN/l)	N-gehalte kwel (mgN/l) rekenplots (na herschikking)	Aanpassing (mgN/l)
5	tochten ABC	0.9 à 10	0.1 à 11	5.1	
6	tochten DE	5 à 20	5 à 28	4.7	15
7	tochten FGIK	0.9 à 10	-	4.8	
8	tochten H	0.9 à 10	- (2.1)	4.7	
9	tochten J	15 à 20	- (19)	5.2	17.5
10	tochten NOP hoog	5 à 10	0.1 à 9	6.3	
11	tochten NOP laag	5 à 20	-	6.2	
12	tochten NOP tussen	5 à 10	-	6.1	



Figuur 4.3 Ruimtelijke uitwerking ammoniumgehalten in het grondwater op het dieptetraject van 5-20m beneden maaiveld (Bron: Grontmij, 2008).

Op basis van deze analyse is het stikstofgehalte in kwel naar boven bijgesteld in de deelgebieden Tochten DE (was 4,7, nieuwe waarde 15 mg N/l) en tochten J (was 5.2, nieuwe waarde 17.5 mg N/l). Dat deze afwijking zo groot is, komt enerzijds doordat de landelijke kwelconcentratiekaart die voor de STONE-rekenplots wordt gebruikt minder gedetailleerd is en anderzijds omdat bij het herschikken geen rekening wordt gehouden met de ruimtelijke variatie van de kwelconcentraties. In de andere gebieden geeft de analyse geen aanleiding om de waarden aan te passen. Voor fosfor was geen ruimtelijke uitwerking van gemeten concentraties zoals in figuur 4.3 beschikbaar. De meetwaarden van fosfor die in DINO zijn opgenomen, gaven geen aanleiding om de onderrandvoorwaarden van de rekenplots voor fosfor aan te passen.

Uit de analyse van de pilotgebieden kwam ook het belang naar voren dat de modelaannames voor mestgiften en gewasopbrengsten mogelijk een overschatting geven van het gebruik van dierlijke mest en een onderschatting van de gewasopbrengsten. In parallel lopende studies voor de nationale analyse KRW (PBL, 2020) zijn de mestgiften berekend met het model Initiator van de WUR. Zowel STONE als Initiator gebruikt CBS-gegevens voor de gewasopbrengsten. Voor de mestgiften zijn in de onderhavige modelstudie uitgebreide databestanden gebruikt van onder andere de landbouwtelling (CBS), berekening uit het Bedrijven Informatie Netwerk (BIN) en monitoringgegevens ten behoeve van beleid (RVO, Zuivelschap) en is uitgegaan van de wettelijk vastgestelde gebruiksnormen. Op het niveau van de polders is niet de detailinformatie zoals die is verzameld in de twee pilotgebieden beschikbaar om de berekende mestgiften en gewasopbrengsten bij te stellen. Ook moet worden bedacht dat er relatief weinig harde gegevens zijn over de werkelijk toegepaste hoeveelheden kunstmest.

4.5 Overige nutriëntenbronnen

In de vorige paragraaf is aangegeven hoe de af- en uitspoeling vanuit landbouw- en natuurgronden is gekwantificeerd. Voor de periode 2010-2017 zijn ook de andere nutriëntenbronnen gekwantificeerd. Tabel 4.3 geeft een overzicht van alle verschillende nutriëntenbronnen en overige balanst termen (inlaat, uitlaat, retentie) en de wijze waarop deze zijn gekwantificeerd.

Tabel 4.3 Overzicht van de nutriëntenbronnen en de wijze waarop deze gekwantificeerd.

Balansterm	Bron
Inkomende vracht	
Af- en uitspoeling landbouw en natuur	SWAP-ANIMO-berekeningen (paragraaf 4.4)
Overige landbouwemissies (erfafspoeling, glastuinbouw en meemesten sloten)	
Industriële lozingen	EmissieRegistratie (versie 2013)
Atmosferische depositie open water	
Overige diffuse bronnen	
AWZI's	Maandvrachten op basis van monitoringgegevens van het waterschap
Directe kwel naar oppervlaktewater	Kwelflux en N- en P-concentraties kwelwater
Inlaat	Meetgegevens waterschap (debieten en concentraties, zie paragraaf 4.6)
Uitgaande vracht	
	Vrachtberekeningen o.b.v. de aangeleverde debieten van de gemalen en representatieve meetgegevens N- en P-concentraties (paragraaf 4.6)
Retentie	
	Rekenmethode o.b.v. areaal open water en bodemsoort (paragraaf 4.8)

Diffuse bronnen uit Emissieregistratie

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. 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. Conform de ECHO-methodiek wordt de volgende clustering aangehouden:

- LO: overige landbouwemissies (meemesten sloten, glastuinbouw emissies, erfafspoeling)
- DW: atmosferische depositie stikstof open water
- IND: industriële lozingen
- OV: overige diffuse bronnen (o.a. riool overstorten, regenwaterriolen, IBA's, verkeer, scheepvaart)

In de berekeningen is voor deze bronnen gebruikgemaakt van de EmissieRegistratie versie 2013.

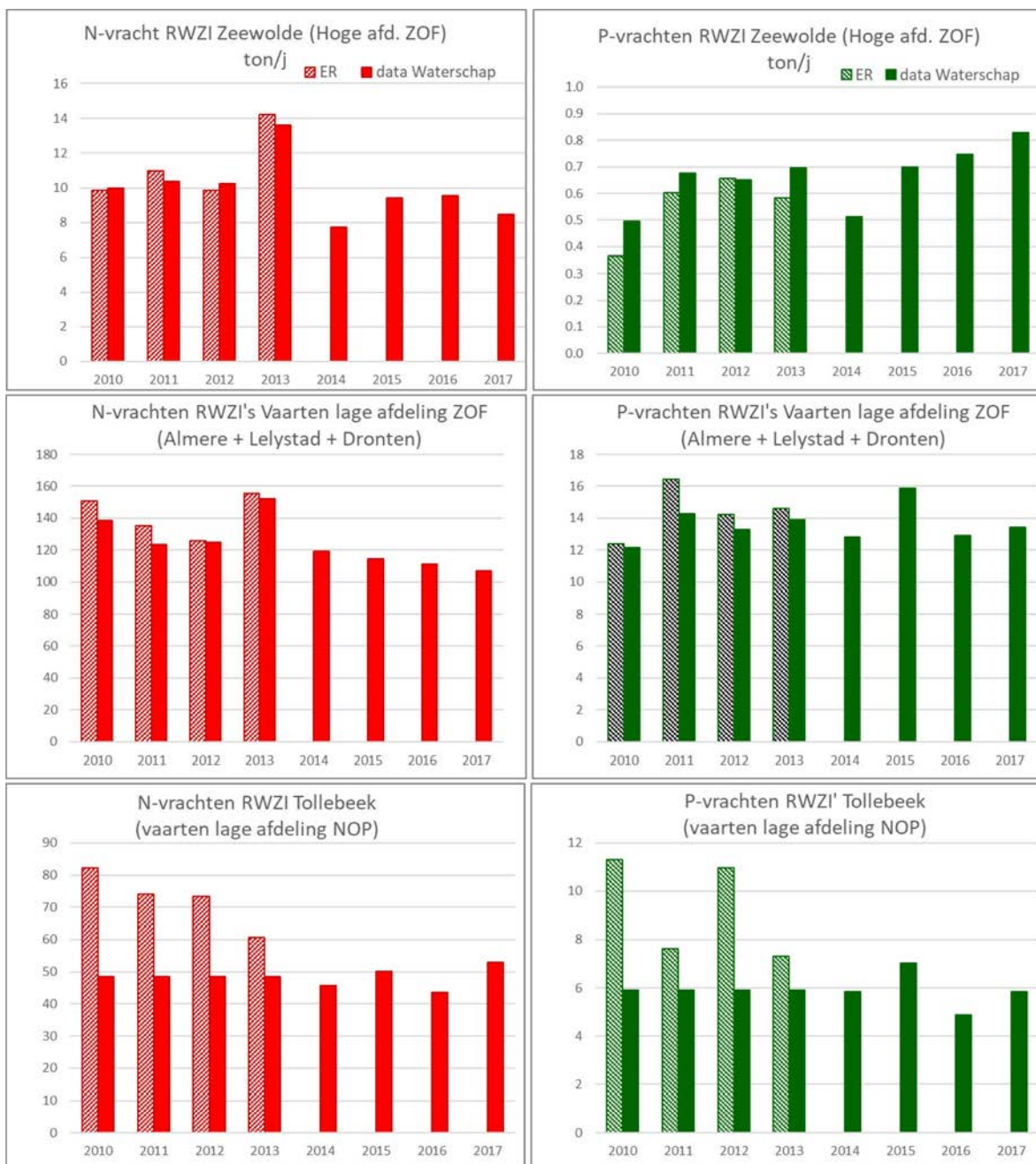
AWZI's

In het gebied lozen de volgende vijf AWZI's op de provinciale hoofdvaarten:

- AWZI Zeewolde: loost op de Vaarten hoge afdeling ZOF
- AWZI Tollebeek: loost op Vaarten lage afdeling NOP
- AWZI Lelystad, Almere en Dronten: lozen op de Vaarten lage afdeling ZOF

Voor de kwantificering is gebruikgemaakt van de monitoringsdata van het waterschap. Dit betreft de maandelijks frequent (24-60x/jaar) gemeten effluentconcentraties en effluentdebieten (dagelijks). Daar waar deze gegevens ontbraken, zijn in overleg met het waterschap maandcijfers geschat op basis van maandgemiddelden in andere jaren. De berekende jaarvrachten zijn weergegeven in figuur 4.4. In de figuur zijn ter vergelijking de jaarvrachten uit EmissieRegistratie (database tot en met 2013) weergegeven. De jaargemiddelde en zomerhalfjaargemiddelde vrachten zijn weergegeven in tabel 4.4.

Uit figuur 4.4 blijkt dat de jaarvrachten uit EmissieRegistratie iets afwijken. Aan de vrachten die in samenwerking met het waterschap op basis van de beschikbare monitoringsdata zijn berekend, wordt een hogere betrouwbaarheid toegekend.



Figuur 4.4 Jaarvrachten stikstof (links) en fosfor (rechts) AWZI's.

Tabel 4.4 Jaargemiddelde en zomerhalfjaar gemiddelde stikstof- en fosforvrachten AWZI's.

		Zeewolde	Almere	Lelystad	Dronten	Tollebeek
Jaargemiddeld (kg) 2010-2017	Stikstof	9921	69805	22826	31254	48258
Zomerhalfjaar (kg) 2010-2017	Stikstof	4018	25031	8851	15175	19375
Jaargemiddeld (kg) 2010-2017	Fosfor	664	7738	2543	3299	5898
Zomerhalfjaar (kg) 2010-2017	Fosfor	343	4611	1383	1507	3297

Uit figuur 4.4 komt naar voren dat de stikstofbelasting van de AWZI's op de Lage en Hoge Vaart in zuidelijk en oostelijk Flevoland in de periode 2014-2017 wat lager is dan in de voorafgaande periode 2010-2013. De jaarvrachten die met de monitoringsdata van het waterschap zijn berekend, zijn duidelijk lager dan hetgeen in ER is opgenomen, met uitzondering van de fosforvrachten van AWZI Zeewolde. Uit tabel 4.4 valt op dat de vrachten in het zomerhalfjaar voor stikstof lager zijn dan in het winterhalfjaar, terwijl die voor fosfor in de winter en zomer ongeveer gelijk zijn.

4.6 Routing en meetgegevens waterschap

Een belangrijk onderdeel in de schematisatie van het watersysteem is de routing. Hieronder wordt verstaan de interactie tussen de afwateringsgebieden (welk water stroomt toe vanuit andere afwateringsgebieden en/of wordt ingelaten) en waar en hoeveel (rijks)water wordt van buiten het studiegebied ingelaten. De routing zoals die in nauwe samenwerking met het waterschap is aangehouden, is weergegeven in het schema van tabel 4.5.

Voor het afleiden van de stikstof- en fosforvracht dat van het ene gebied naar het andere gaat, is gebruikgemaakt van meetinformatie van het waterschap of modelberekeningen. Het waterschap heeft op basis van de gebiedsindeling representatieve meetpunten (debieten en N- en P-concentraties in het oppervlaktewater) geselecteerd. Op basis van deze meetgegevens zijn per waterlichaamgebied een inkomende en uitgaande nutriëntenvracht afgeleid. Wanneer geen informatie beschikbaar was, is gebruikgemaakt van modelberekeningen. In tabel 4.5 is aangegeven welke methode is toegepast.

Meetgegevens

Voor het afleiden van de afwenteling tussen waterlichaamgebieden is dus gebruikgemaakt van modelberekeningen en meetgegevens. Voor het afleiden van de inlaathoeveelheden heeft het waterschap representatieve meetpunten met bijbehorende debieten en stikstof- en fosforconcentraties aangeleverd. De hiervoor aangedragen meetpunten zijn weergegeven in bijlage 1.

Op basis van de debieten en bijbehorende kwaliteitsmeetpunten zijn voor al deze meetpunten de inkomende en uitgaande nutriëntenvracht afgeleid. Deze zijn verwerkt in de KRW-ECHO-berekeningen en tevens benut voor de validatie van de met KRW-ECHO berekende uitgaande debieten en vrachten.

4.7 Retentie

Om te bepalen hoeveel nutriënten het vanggebied verlaten, is het belangrijk om rekening te houden met retentie in het oppervlaktewater. Een deel van de nutriënten dat in de waterlopen terechtkomt, bereikt het uitstroompunt namelijk niet omdat het wordt vastgelegd, omgezet of verwijderd. Voorbeelden van dergelijke retentieprocessen zijn opname door waterplanten, vastlegging in de waterbodem (via sedimentatie) en gasvormige emissies naar de atmosfeer (denitrificatie).

Zoals aangegeven in paragraaf 3.8, is de retentie berekend conform de werkwijze die is gehanteerd binnen de Evaluatie Meststoffenwet 2012 (Van Boekel et al., 2012) en daarop volgende KRW-ECHO-studies. Bijlage 5 geeft een uitgebreide beschrijving van de methode. Hierin wordt onderscheid gemaakt tussen de rekenwijze voor vrij afwaterende gebieden en poldersystemen.

Tabel 4.5 Model-schematisatie voor de routing van het watersysteem. Voor ieder vanggebied is aangegeven welk water naar het vanggebied toestroomt of wordt ingelaten en waarop het vanggebied afwatert. De afwatering is berekend met het model (belasting minus retentie) en met de meetgegevens van het waterschap (debiet x concentratie). Inlaat van buitenwater is berekend met de meetgegevens van het waterschap.

ID	naam ECHO	ha	ha incl erop afwaterende tochten	watert af op waterlichaam	ontvangt water van	inlaat buitenwater	uitlaat buitenwater
1	Vaarten hoge afdeling ZOF	6289	38882	Vaarten lage afd. ZOF (meetgegevens) Tochten FGIK (meetgegevens) Tochten H (meetgegevens)	Tochten ABC (model) Tochten DE (model)	Ketelmeer Markermeer Veluwemeer	Ketelmeer Markermeer Veluwemeer
2	Vaarten lage afdeling ZOF	8692	58458	-	Tochten FGIK (model) Tochten H (model) Tochten J (model) Almere Buiten (model) Vaarten hoge afd. ZOF (meetgegevens)	Markermeer	Ketelmeer Markermeer
	Almere buiten	6970		Vaarten lage afd. ZOF (model)	-		
3	Vaarten NOP Hoog	990	9305	Vaarten NOP laag (meetgegevens)	Tochten hoge afd. NOP (model) Tochten tussen afd. NOP* (meetgegevens)	Kadoelermeer Vollenhovekanaal	Kadoelermeer
4	Vaarten NOP Laag	2021	38680	-	Tochten lage afd. NOP (model) Vaarten NOP hoog (meetgegevens)	IJsselmeer	IJsselmeer
5	Tochten ABC	15338		Vaarten hoge afd. ZOF (model)	-	-	
6	Tochten DE	17255		Vaarten hoge afd. ZOF (model)	-	Gooimeer	
7	Tochten FGIK	22172		Vaarten lage afd. ZOF (model)	Vaarten hoge afd. ZOF (meetgegevens)	Markermeer	
8	Tochten H	10485		Vaarten lage afd. ZOF (model)	Vaarten hoge afd. ZOF (meetgegevens)		
9	Tochten J	10139		Vaarten lage afd. ZOF (model)	-	IJsselmeer	
10	Tochten hoge afdeling NOP	8315		Vaarten NOP hoog (meetgegevens) Tochten lage afd. NOP (model) Tochten tussen afd. NOP (meetgegevens)	-	Vollenhovekanaal Zwartemeer	
11	Tochten lage afdeling NOP	32461		Vaarten NOP laag (model)	Tochten hoge afd. NOP (meetgegevens) Tochten tussen afd. NOP (meetgegevens)	IJsselmeer Tjonger	
12	Tochten tussen afdeling NOP	4198		Vaarten NOP hoog (meetgegevens) Tochten lage afd. NOP (meetgegevens)	Tochten hoge afd. NOP (meetgegevens)	Vollenhovekanaal	

* Alleen bij extreme neerslag (en bij testen) via (nood)gemaal Expansie.

In de onderhavige studie is de rekenwijze van retentie voor poldersystemen gehanteerd. De belangrijkste uitgangspunten voor deze rekenwijze zijn:

- Retentie stikstof:
 - Klei- en veenpolders:
De grootte van de retentieprocessen is voor stikstof afgeleid uit metingen (PLONS-project, www.plons.wur.nl). Op basis van de eigenschappen van de polders is de capaciteit van het oppervlaktewatersysteem bepaald om stikstof vast te leggen, uitgedrukt in gram per m² waterbodem. Voor kleibodems is deze retentiefactor in het zomerhalfjaar 11.8 gram N.m⁻² en in het winterhalfjaar 5.0 gram N.m⁻². Voor veenbodems is deze factor respectievelijk 4.4 gram N.m⁻² (zomer) en 1.0 gram N.m⁻².
- Retentie fosfor:
 - Alle polders:
Voor de fosforretentie in poldersystemen zijn dezelfde retentiefactoren aangehouden als die zijn gehanteerd bij de evaluatie van de Meststoffenwet 2012. Voor de af- en uitspoeling is een vaste retentiefactor gebruikt van 0,5 en voor de andere bronnen is een vaste retentiefactor van 0,2 aangehouden.

De retentiefactor is toegepast op het totaal aan inkomende nutriëntenvracht. Met de op deze manier bepaalde retentievracht kan de netto uitgaande nutriëntenvracht worden berekend (= inkomende nutriëntenvracht minus retentie).

De retentie wordt per tijdstap van één decade met deze factoren berekend. Vanwege de eerste ordebenadering in de rekenwijze van stikstof kan een retentie worden berekend die groter is dan de stikstof die volgens de berekende belasting in het water op dat tijdvak aanwezig is. Daarom wordt een limitering toegepast van maximaal 90% retentie op de inkomende stikstofvracht.

4.8 Nutriëntenbalans 2010-2017

De per vanggebied berekende belasting en herkomst in de periode 2010 tot en met 2017 is opgenomen in een Excelexport voor het jaargemiddelde en zomerhalfjaargemiddelde. In bijlage 7 zijn de jaar- en zomerhalfjaargemiddelde stikstof- en fosforbalansen weergegeven.

Figuur 4.5 en 4.6 geven respectievelijk een overzicht van de berekende stikstof- en fosforbalansen, jaargemiddeld en zomerhalfjaar gemiddeld over de periode 2010-2017. De balansposten zijn uitgedrukt in kg/ha. Omwille van de schaal zijn voor de vaarten de arealen meegerekend van de tochten die hierop afwateren. Dit levert voor de vaarten de volgende representatieve arealen:

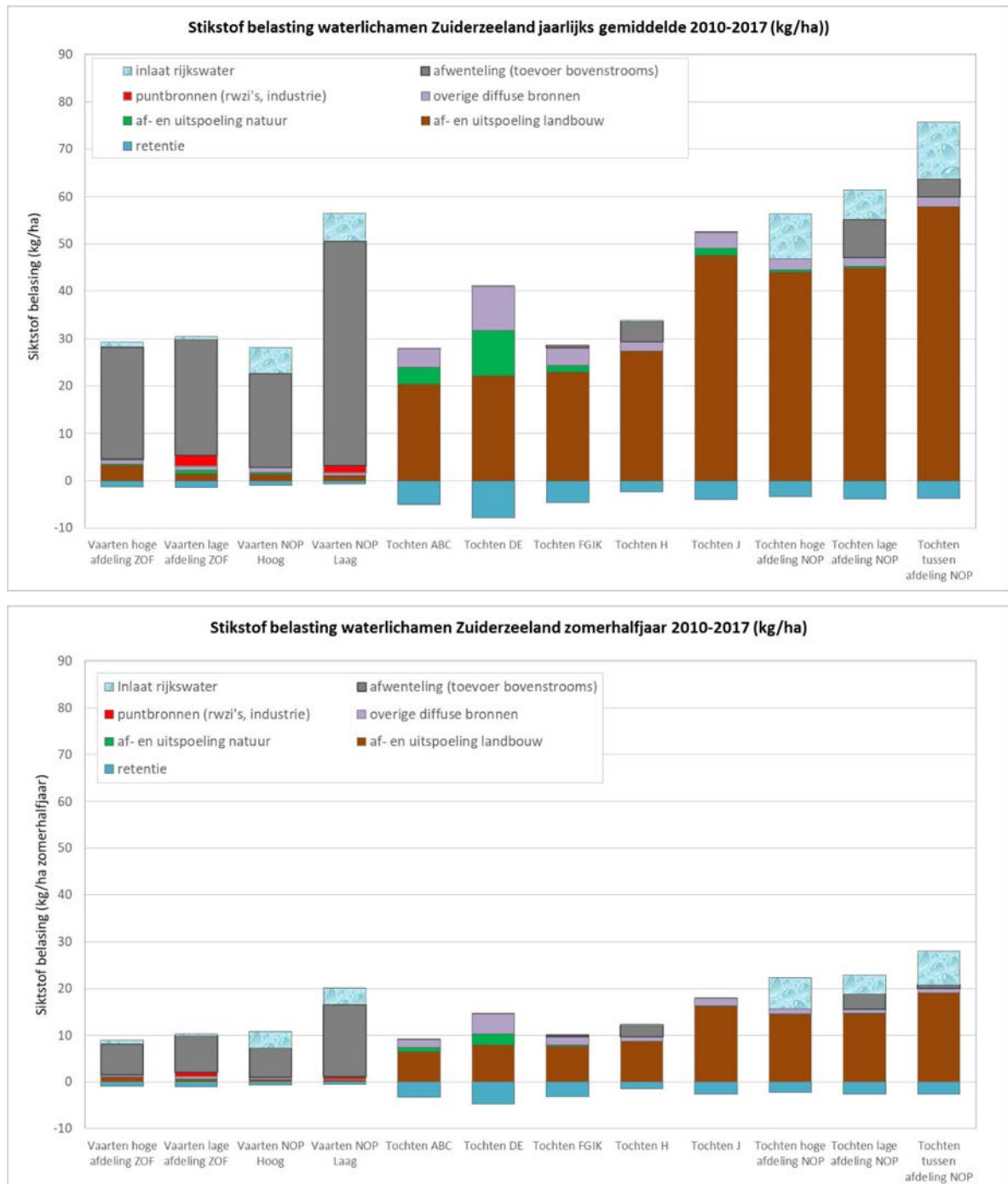
- Vaarten Hoge afdeling ZOF: 38.882 ha (Tochten ABC en DE)
- Vaarten lage afdeling ZOF: 58.458 ha (Tochten FGIK, H en J en Almere-Buiten)
- Vaarten NOP hoog: 9.305 ha (Tochten Hoge afdeling NOP)
- Vaarten NOP laag: 38.680 ha (Tochten Lage afdeling NOP)

Logischerwijs is de belasting jaargemiddeld groter dan in het zomerhalfjaar. Dit komt vooral omdat de af- en uitspoeling in het zomerhalfjaar veel kleiner is dan in het winterhalfjaar, hetgeen samenhangt met het neerslagoverschot in de winter. De belasting per hectare op de tochten in de NOP en in tochten J is iets groter dan op de overige tochten door de uitspoeling vanuit landbouwgronden.

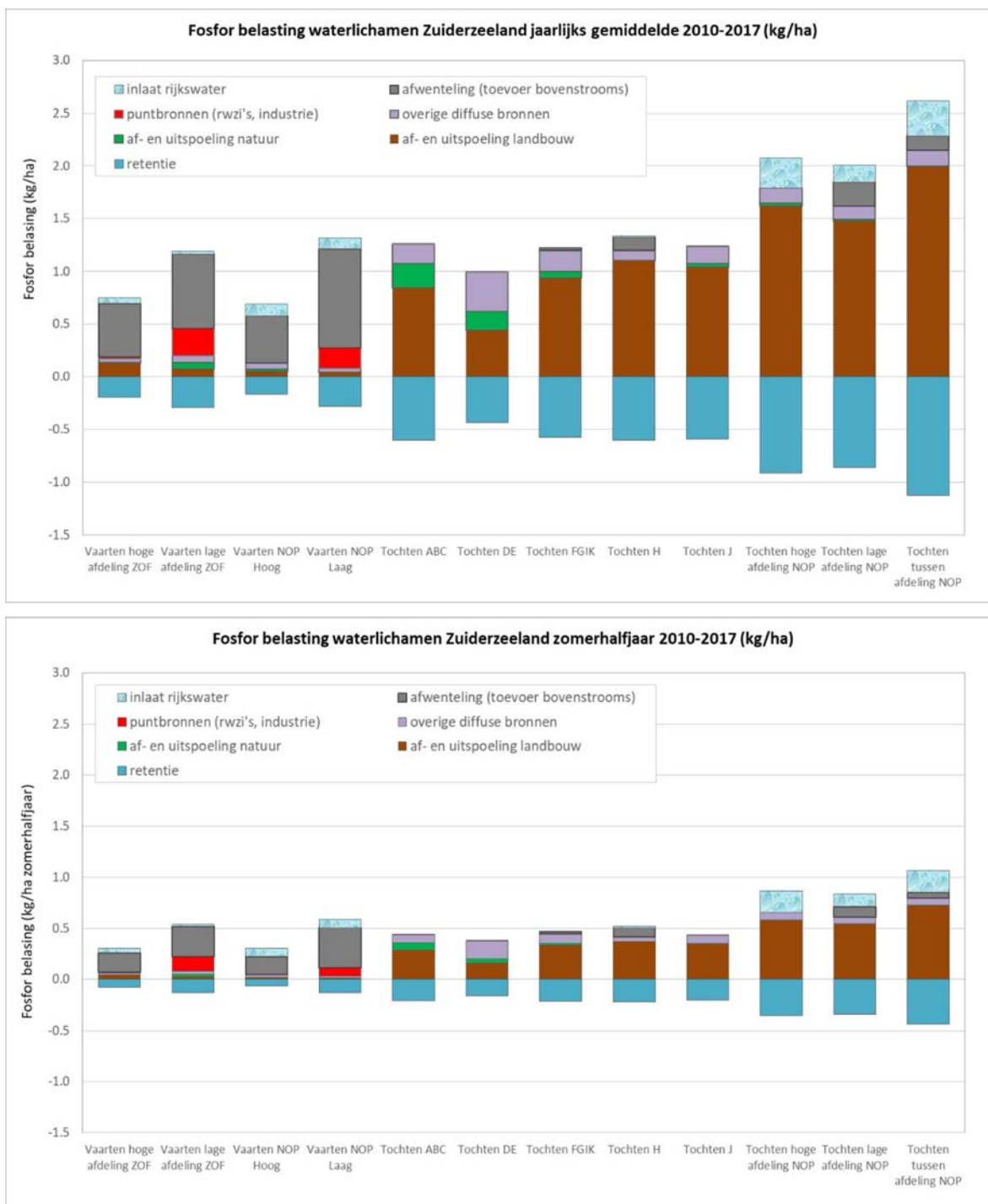
Uit figuur 4.5 blijkt verder dat de stikstofbelasting van de tochten zowel jaargemiddeld als in het zomerhalfjaar vooral wordt bepaald door af- en uitspoeling uit landbouwgronden, terwijl de stikstofbelasting van de vaarten vooral door inlaat (Rijkswater) plus afwenteling vanuit de tochten wordt bepaald. De invloed van AWZI's is voor stikstof gering (maximaal 7% jaargemiddeld). Voor fosfor geldt hetzelfde, maar daarbij is de belasting van AWZI's duidelijk groter (maximaal 24% jaargemiddeld).

De berekende retentie van stikstof is in de vaarten gering (circa 3% jaargemiddeld). Dit komt doordat het waterbodempoppervlak gering is ten opzichte van het areaal van de vanggebieden die erop afwateren. In de tochten is de berekende retentie veel hoger (5% tot 19% jaargemiddeld). In het zomerhalfjaar wordt de retentie procentueel ongeveer tweemaal zo groot berekend als jaargemiddeld. Dit komt doordat in het zomerhalfjaar met een grotere retentiefactor wordt gerekend.

De berekende retentie van fosfor varieert jaargemiddeld van 21-26% in de vaarten en 42-48% in de tochten. In het zomerhalfjaar is de retentie van fosfor procentueel ongeveer hetzelfde berekend als jaargemiddeld.



Figuur 4.5 Stikstofbalansen jaargemiddeld (boven) en zomerhalfjaargemiddeld (onder) uitgedrukt in kg/ha. Voor de vanggebieden is ten behoeve van de schaal het areaal meegerekend van de tochten die op de vaarten afwateren. De retentie is negatief in de balansen opgenomen.



Figuur 4.6 Stikstofbalansen jaargemiddeld (boven) en zomerhalfjaargemiddeld (onder) uitgedrukt in kg/ha. De retentie is negatief in de balansen opgenomen.

4.9 Validatie uitgaande debieten en nutriëntenvrachten

De uitgaande debieten en nutriëntenvrachten zijn niet alleen berekend (som inkomende vrachten minus retentie), maar is in diverse gebieden ook bepaald met de beschikbare metingen van het waterschap (debieten en kwaliteit). De uit metingen afgeleide vrachten zijn gebruikt voor de validatie van modelberekeningen. De uit metingen afgeleide uitgaande vracht is bepaald door de hoeveelheid uitgeslagen water (zoals gemeten bij de gemalen) te vermenigvuldigen met de gemeten nutriëntenconcentraties van dit uitslagwater.

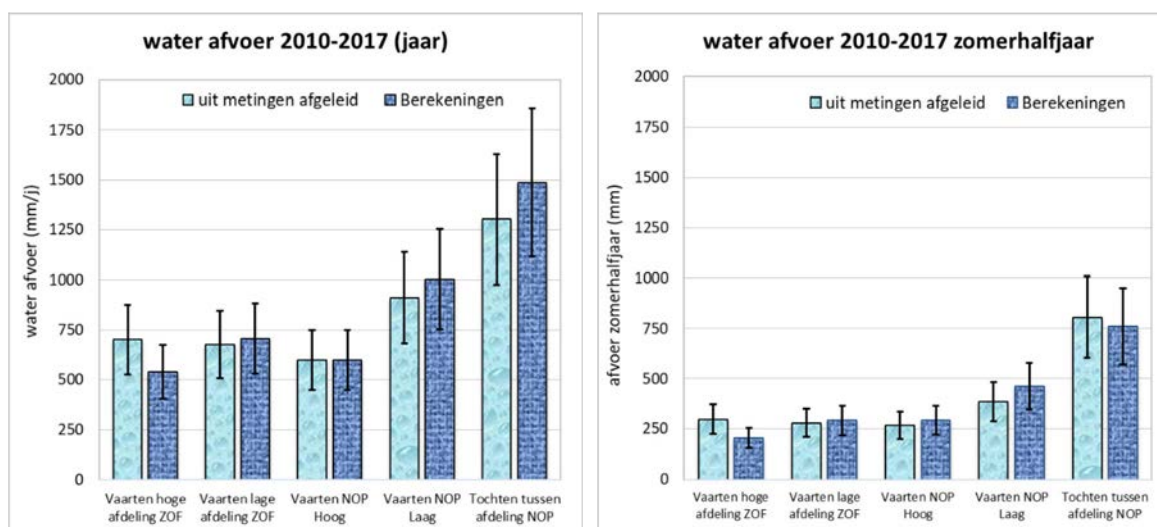
Met de beschikbare meetgegevens kan de validatie uitgevoerd worden voor de vier vaarten en de Tochten tussenafdeling NOP. Voor de overige tochten zijn de hoeveelheden water die worden uitgewisseld met de vaarten niet gemeten.

De volgende meetlocaties zijn bij de validatie gebruikt:

- *Vaarten hoge afdeling ZOF: zestien uitwisselpunten:*
 - Gemaal Colijn hoog, gemaal Lovink, gemaal De Block van Kuffeler Hoog, Vaarsluis, Hevel Govert Flinckstraat, Stuwput Gruttotocht, aflatwerk Bloesemtocht, Laservaarsluis, aflatwerk Hoekwanttocht, aflatwerk Kubbetocht, aflatwerk Zijdenettentocht, aflatwerk Swifertocht, aflatwerk Ansjovistocht, aflatwerk Palingtocht, aflatwerk Hanzetocht en Kampersluis
- *Vaarten lage afdeling ZOF: drie uitwisselpunten:*
 - Gemaal Colijn Laag, Gemaal Wortman, gemaal De Block van Kuffeler Laag
- *Vaarten NOP hoog: zes uitwisselpunten*
 - Pomp Marknesse Zuid, Marknessersluis (rinket), Marknessersluis (schuttingen), Stuw Marknesse, Aflaatschuif Expansie, Gemaal Smeenge
- *Vaarten NOP laag: twee uitwisselpunten:*
 - Gemaal Buma, Gemaal Vissering
- *Tochten tussenafdeling NOP: zeven uitwisselpunten:*
 - Pomp Reest en Wieden, Gemaal Expansie, Stuw Kalenbergertocht_1, Stuw kassengebied Luttelgeest, Stuw Blankenhammertocht, AMT stuw, Stuw Kuindertocht

Validatie hydrologie (waterafvoeren)

Als eerste indicatie voor de plausibiliteit zijn in figuur 4.6 de berekende waterafvoeren vergeleken met de uit metingen afgeleide afvoerdebieten, zowel jaargemiddeld als voor het zomerhalfjaar. Uit de figuur blijkt dat de Noordoostpolder meer water afvoert dan zuidelijk en oostelijk Flevoland, omdat voor het doorspoelen (tegen verzilting) in de Noordoostpolder meer buitenwater wordt ingelaten.



Figuur 4.7 Vergelijking berekende en uit metingen afgeleide debieten (mm), jaargemiddeld (boven) en zomerhalfjaar (onder) over de periode 2010-2017.

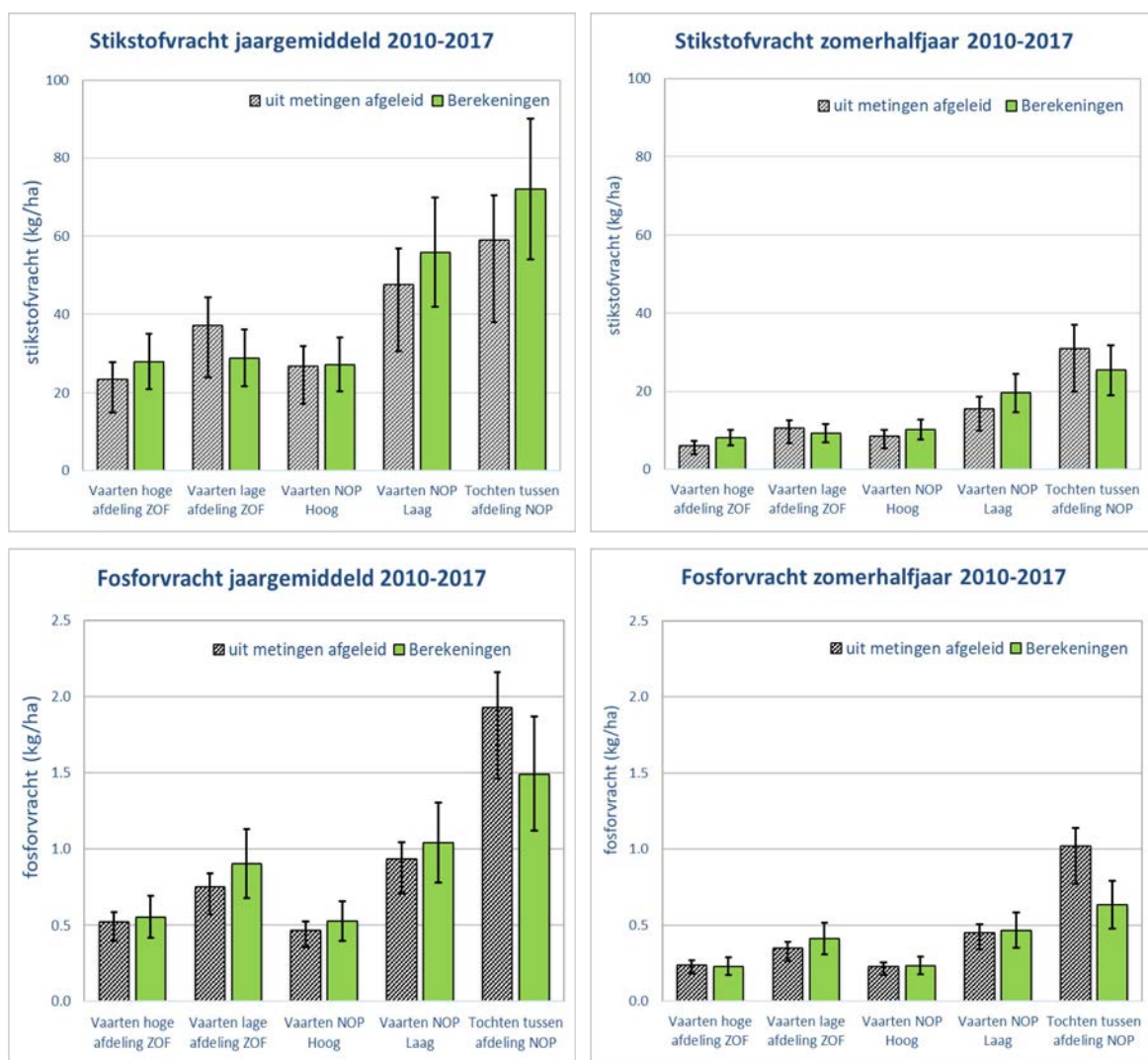
Bij de interpretatie moet er rekening mee worden gehouden dat de meetreeksen voor de debieten vaak incompleet zijn en dat het afleiden van debieten gepaard gaat met onzekerheden (Mulder et al., 2011). Dat geldt ook voor de hier beschikbare debietmeetreeksen. Voor beide reeksen (metingen en modelberekening) is in de figuren op basis van de literatuur (Mulder et al., 2011) een onzekerheidsmarge aangegeven van 25%. Uit de vergelijking kan geconcludeerd worden dat qua ordegrrootte 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.

Validatie stikstof- en fosforbelansen

Voor dezelfde vijf gebieden (de vier vaarten en Tochten tussenafdeling NOP) zijn de berekende uitgaande stikstof- en fosforvrachten vergeleken met de uit metingen afgeleide vrachten. Daarbij wordt de met KRW-ECHO berekende belasting in het vanggebied verminderd met de berekende bronspecifieke retentie. Deze nettobelasting wordt dan vergeleken met de stofvrachten die kunnen worden afgeleid op basis van de gemeten debieten en het nabijgelegen representatieve meetpunt voor de waterkwaliteit.

De vergelijking van de berekende nutriëntenvrachten met de uit metingen afgeleide vrachten wordt weergegeven in figuur 4.8. Iedere bron heeft een eigen onzekerheidsmarge. Uit onderzoek van Van Boekel (2011) volgt dat als deze tezamen worden genomen, de onzekerheidsmarge 25% is voor de berekende netto uitgaande belasting van zowel stikstof als fosfor. 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%. Deze waarden zijn in de figuur als onzekerheidsmarges aangeduid.

Uit figuur 4.8 blijkt dat de verschillen tussen de berekende en uit metingen afgeleide water- en nutriëntenbalansen vallen binnen de bandbreedtes van de onzekerheidsmarges. Omdat ook de validatie van de waterbalansen vertrouwen geeft in de hydrologische component van de modelberekeningen, kan geconcludeerd worden dat de berekende balansen voldoende plausibel zijn om met het modelinstrumentarium de belasting en herkomstverdeling te bepalen.



Figuur 4.8 Vergelijking tussen uit metingen afgeleide stikstofvrachten en fosforvrachten en de met KRW-ECHO berekende netto uitgaande vrachten jaargemiddeld (boven) en zomerhalfjaar (onder).

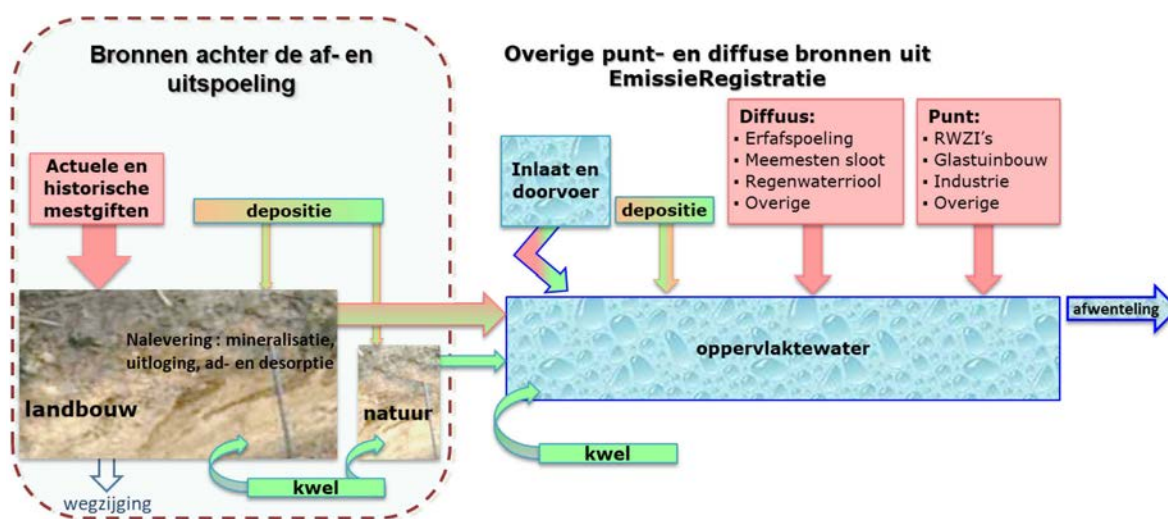
5 Herkomst analyse stikstof en fosfor

5.1 Methodiek analyse herkomst

De bronnen van de nutriëntenbelasting zijn zodanig gekwantificeerd en uitgesplitst dat deze te verbinden zijn aan sectoren (landbouw, waterschap, Rijkswaterstaat, gemeenten) 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 is de af- en uitspoeling uit landbouwgronden opgesplitst in het deel dat veroorzaakt wordt door bemesting (actueel en historisch), stikstofdepositie op het land, kwel (naar de bodem), nalevering bodem en uitspoeling van eerder geïnfiltreerd oppervlaktewater. Hierbij is dezelfde methode toegepast als in de studie van Groenendijk (2016). Dit onderscheid is schematisch weergegeven in figuur 5.1. De af- en uitspoeling uit natuurgebieden wordt niet verder uitgesplitst.

De toestroom van water wordt geplitst in het aandeel dat als inlaat van Rijkswater kan worden beschouwd en het overige deel dat wordt aangeduid als afwenteling. Deze afwenteling wordt gesplitst in de achterliggende nutriëntenbronnen (de bronverdeling in het afwateringsgebied waar het water vandaan komt).



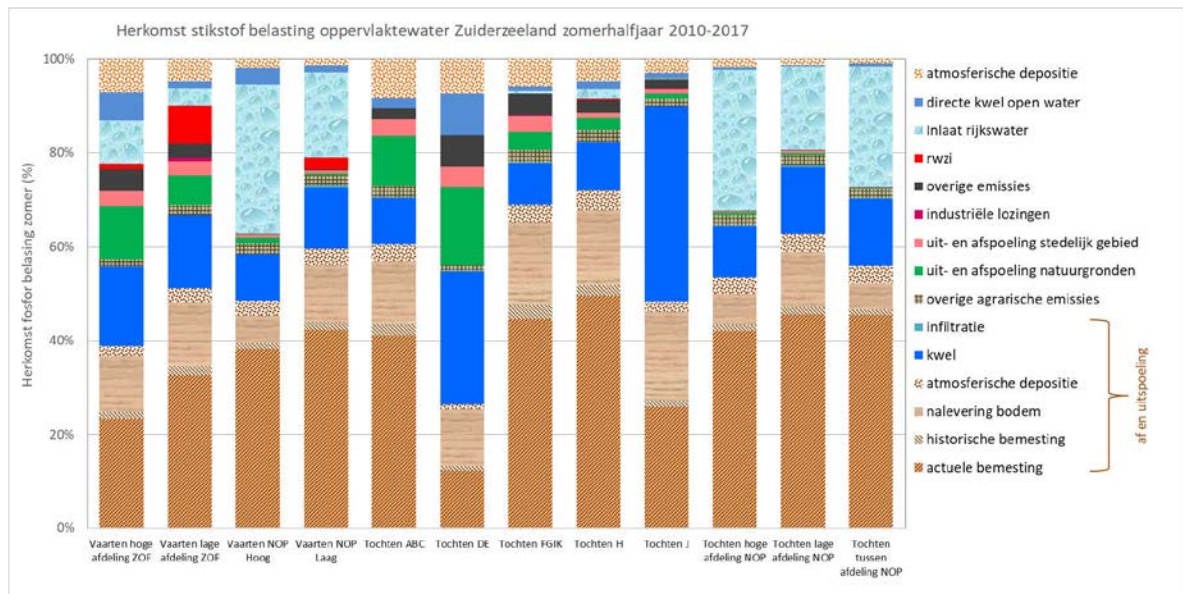
Figuur 5.1 Overzicht van de belangrijkste bronnen/emissieroutes naar het oppervlaktewater. De rode arcering staat symbool voor antropogene bronnen, de groene arcering voor bronnen die als natuurlijk worden beschouwd.

Door de wijze waarop de bronnen zijn onderscheiden en de bronnen achter de af- en uitspoeling zijn uitgesplitst, kan onderscheid gemaakt worden tussen bronnen die als natuurlijk kunnen worden beschouwd en overige, antropogene bronnen.

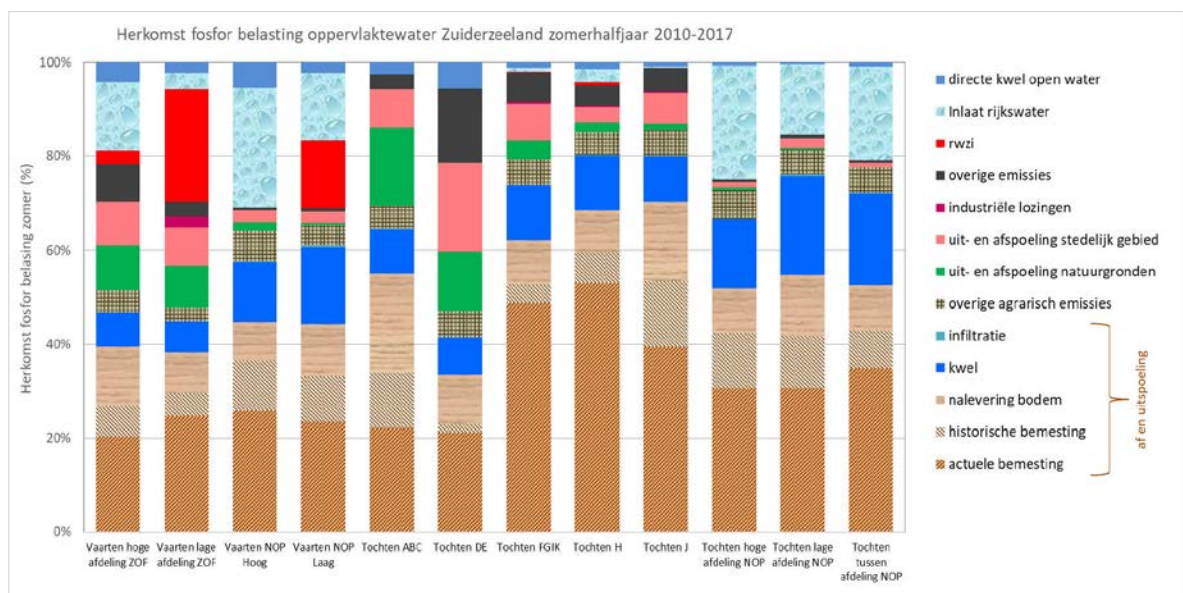
Omdat de waterkwaliteitsdoelen voor nutriënten voor de KRW moeten worden afgeleid voor het zomerhalfjaar, zijn de belasting en herkomstverdeling uitgesplitst voor zowel het zomerhalfjaar als op jaarbasis. Voor deze uitsplitsing zijn de af- en uitspoeling, lozingen van AWZI's, doorvoer van water en waterinlaat 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 jaarvracht genomen.

5.2 Herkomst verdeling zomerhalfjaar

De herkomstverdeling voor het gemiddeld zomerhalfjaar over de periode 2010-2017 is procentueel weergegeven in figuur 5.2 (stikstof) en 5.3 (fosfor). Onder de term 'overige agrarische emissies' vallen de emissies van glastuinbouw, erfafspoeling en meemesten sloten. In bijlage 6 is de procentuele bijdrage in het zomerhalfjaar van enkele belangrijke termen op kaarten ruimtelijk weergegeven. In bijlage 7 zijn de tabellen met de volledige balanstermen opgenomen.



Figuur 5.2 Herkomstverdeling totaal stikstof gemiddeld zomerhalfjaar 2010-2017.



Figuur 5.3 Herkomstverdeling totaal fosfor gemiddeld zomerhalfjaar 2010-2017.

Herkomst stikstof zomerhalfjaar

Uit figuur 5.2 komt naar voren dat een groot deel van de stikstofbelasting afkomstig is van af- en uitspoeling uit landbouwgronden (57-71%). Dit hangt samen met het overwegend agrarische landgebruik. In de tochten liggend in de hoge afdeling van zuidelijk en oostelijk Flevoland is de bijdrage lager, omdat daar meer natuur is. De af- en uitspoeling van stikstof uit landbouwgronden wordt vooral bepaald door actuele bemesting. Daarnaast dragen nalevering en kwel ook in belangrijke mate hieraan bij. Naast af- en uitspoeling uit landbouwgronden levert inlaat van rijkswater in de

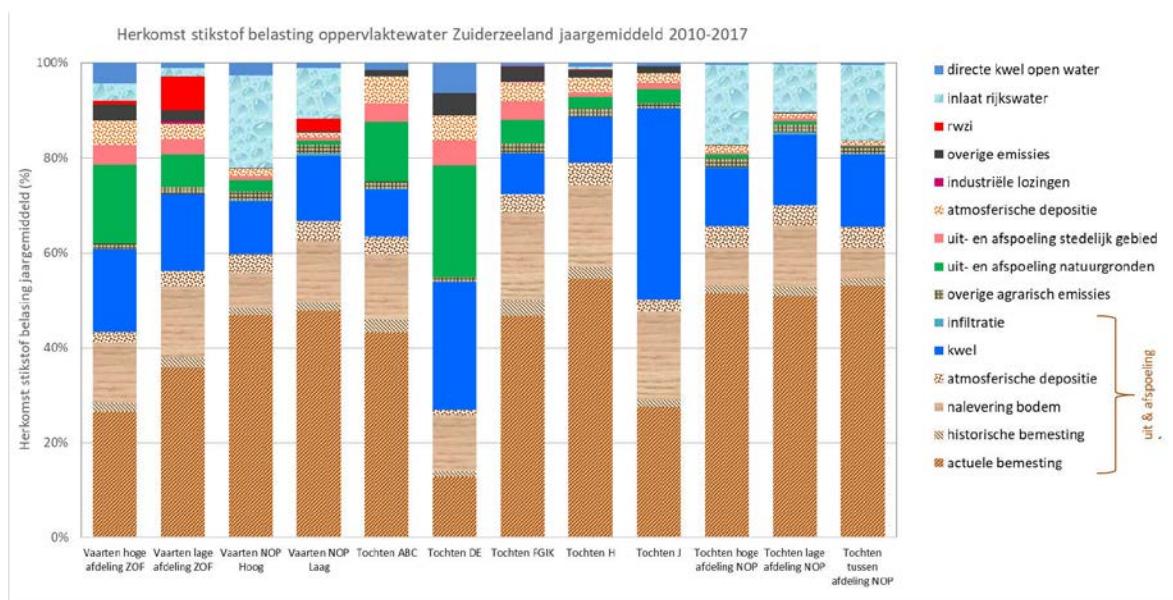
Noordoostpolder een belangrijke bijdrage aan de totale belasting (gemiddeld 12%). De bijdrage van natuurgronden is gemiddeld 3%, stedelijk gebied gemiddeld 2% en depositie open water 4%. De AWZI's leveren alleen een duidelijke bijdrage in de Vaarten lage afdeling ZOF (8%). Overige bronnen dragen in geringe mate bij (<1%).

Herkomst fosfor zomerhalfjaar

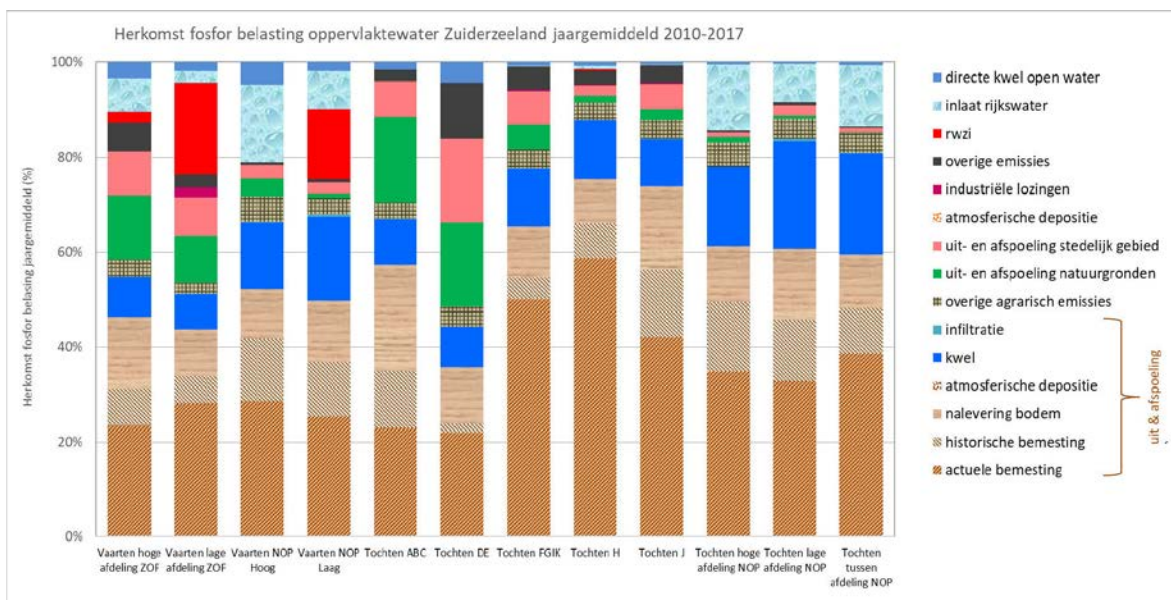
Uit figuur 5.3 blijkt dat ook de fosforbelasting voor een groot deel afkomstig is van af- en uitspoeling uit landbouwgronden (41%-64%). Deze af- en uitspoeling wordt voor een belangrijk deel bepaald door actuele bemesting, vooral in Tochten FGIK en Tochten H, maar ook voor een belangrijk deel door kwel, nalevering en historische bemesting. De AWZI's hebben ook een belangrijk aandeel in de belasting van de Vaarten NOP en de Vaarten lage afdeling ZOF, namelijk 29% in Vaarten lage afdeling ZOF en 14% in Vaarten lage afdeling NOP. Andere belangrijke fosforbronnen zijn inlaat vanuit rijkswater (gemiddeld 10%), uitspoeling uit natuurgronden (gemiddeld 5%) en stedelijk gebied (gemiddeld 6%) en overige agrarische emissies (5%, vooral bepaald door erfafspoeling).

5.3 Herkomst verdeling jaargemiddeld

De herkomstverdeling voor het jaargemiddelde over de periode 2010-2017 is procentueel weergegeven in figuur 5.4 (stikstof) en figuur 5.5 (fosfor).



Figuur 5.4 Herkomstverdeling totaal stikstof per afwateringsgebied jaargemiddeld 2010 t/m 2017.



Figuur 5.5 Herkomstverdeling totaal fosfor per vanggebied jaargemiddeld 2010 t/m 2017.

Herkomst stikstof jaargemiddeld

Ten opzichte van het zomerhalfjaar komt de stikstofbelasting jaargemiddeld voor een nog iets groter deel door af- en uitspoeling uit landbouwgronden (gemiddeld 77%). Dit geldt ook voor de uitspoeling uit natuurgronden en stedelijk gebied. Omdat in het winterhalfjaar minder water wordt ingelaten, is de invloed van rijkswater jaargemiddeld minder dan in het zomerhalfjaar.

Herkomst fosfor jaargemiddeld

Ook voor fosfor is jaargemiddeld de bijdrage van af- en uitspoeling uit landbouwgronden groter dan in het zomerhalfjaar (gemiddeld 70%) en zo ook de uitspoeling uit natuurgronden en stedelijk gebied.

5.4 Achtergrondbelasting

Met de berekende herkomst is onderscheid gemaakt tussen antropogene bronnen en bronnen die als natuurlijk worden beschouwd. De som van de belasting uit de niet-antropogene bronnen wordt aangeduid als achtergrondbelasting. Het aandeel van de achtergrondbelasting biedt houvast bij het evalueren van de haalbaarheid van KRW-doelen die vanuit de ecologische maatlaten zijn afgeleid. De bronnen die voor deze afleiding door het waterschap als natuurlijk worden beschouwd, zijn weergegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Onderscheid in bronnen die bij het afleiden van natuurlijke achtergrondbelasting als natuurlijk worden beschouwd en overige (als antropogeen beschouwde) bronnen.

Bronnen die als natuurlijk zijn beschouwd	Overige (antropogeen beschouwde) bronnen
Af- en uitspoeling landbouwgronden door:	Af- en uitspoeling landbouwgronden door:
• Nalevering	• Actuele bemesting
• Kwel en infiltratie	• Historische bemesting
• Atmosferische (stikstof)depositie	
Af- en uitspoeling natuurgronden	Overige agrarische emissies (glastuinbouw, erfafspoeling, meemesten sloten)
Af- en uitspoeling stedelijk groen	Industriële lozingen
Atmosferische depositie op open water	Overige emissies (scheepvaart, IBA's, overstorten e.a.)
Kwel direct naar open water	AWZI's
Inlaat (rijks)water Noordoostpolder	Inlaat rijkswater zuidelijk en oostelijk Flevoland

Voor zuidelijk en oostelijk Flevoland is inlaat van rijkswater als antropogeen beschouwd, terwijl inlaatwater in de Noordoostpolder door Waterschap Zuiderzeeland als 'natuurlijk' is aangemerkt. Deze inlaat is namelijk beschouwd als een systeemkenmerk, omdat het water al decennia wordt ingelaten om de waterkwaliteit te verbeteren, en in het geval van Schokland om verdroging te voorkomen. Bij de KRW-doelstellingen voor SGBP1 en 2 was hier ook al rekening mee gehouden.

Op basis van de als natuurlijk beschouwde bronnen is per vanggebied het aandeel van de achtergrondbelasting in de totale belasting berekend. Deze zijn weergegeven in tabel 5.2.

Het aandeel van de achtergrondbelasting varieert voor stikstof van 32% tot 70% en is gemiddeld voor heel Flevoland 47%. Dit wordt vooral bepaald door nalevering uit landbouwbodems, atmosferische depositie en ammoniumrijke kwel en in de Noordoostpolder ook door inlaat van rijkswater. Voor fosfor varieert de achtergrondbelasting van 27% tot 58% en is gemiddeld voor heel Flevoland 45%. Dit wordt vooral bepaald door nalevering, kwel en uitspoeling uit natuurbodems en stedelijk gebied en in de Noordoostpolder mede door inlaat van rijkswater.

Met deze percentages kunnen theoretische achtergrondconcentraties worden afgeleid door het aandeel van de achtergrondbelasting te vermenigvuldigen met de concentraties die nabij het uitstroompunt in het zomerhalfjaar worden gemeten. Deze achtergrondconcentraties kunnen aanleiding geven om gestelde KRW-doelen bij te stellen.

Tabel 5.2 Het gemiddelde aandeel van de achtergrondbelasting (natuurlijke bronnen) in de totale belasting voor het gemiddeld zomerhalfjaar 2010-2017. Tussen haakjes de bandbreedtes die zijn berekend met onzekerheidsmarges die gepaard gaan met de bronnenanalyse.

Waterlichaam	Achtergrondbelasting	
	Stikstof	Fosfor
Vaarten hoge afdeling ZOF	49% (42-56%)	43% (35-52%)
Vaarten lage afdeling ZOF	40% (34-47%)	34% (28-42%)
Vaarten NOP Hoog	53% (50-56%)	56% (52-62%)
Vaarten NOP Laag	46% (42-50%)	47% (42-53%)
Tochten ABC	40% (34-47%)	58% (49-66%)
Tochten DE	70% (64-77%)	56% (46-65%)
Tochten FGIK	35% (24-41%)	34% (27-43%)
Tochten H	32% (26-38%)	27% (21-35%)
Tochten J	64% (57-70%)	35% (28-44%)
Tochten hoge afdeling NOP	49% (46-52%)	51% (47-56%)
Tochten lage afdeling NOP	45% (41-49%)	52% (46-59%)
Tochten tussen afdeling NOP	47% (44-50%)	51% (46-57%)

6 Discussie

Voor de KRW-waterlichamen zijn volledige water- en nutriëntenbalansen berekend. De belangrijkste balansposten hierin zijn de af- en uitspoeling vanuit landbouwgronden en de inlaat van rijkswater. AWZI's en uitspoeling uit natuurgebieden en stedelijk gebied leveren in enkele gebieden ook een belangrijke bijdrage.

Het waterschap heeft, teneinde water- en stoffenbalansen op te kunnen stellen op het gewenste detailniveau, ingezet op het uitbreiden van de monitoring en het verbeteren van het proces van inwinning, registratie en validatie van meetreeksen. Door het gebruik van deze monitoring en bij het waterschap aanwezige gebiedskennis biedt de bronnenanalyse meer detail en kleven er minder onzekerheden aan dan voorgaande bronnenanalyses (Witteveen en Bos, 2018; Groenendijk et al., 2016). In vergelijking met deze voorgaande studies is een indeling in vanggebieden gemaakt die beter aansluit op het actuele waterbeheer voor inlaat en waterafvoer en beter aansluit op de indeling in de lijnvormige waterlichamen die voor de KRW zijn aangewezen. Zo is duidelijker geworden waar en hoeveel rijkswater wordt ingelaten en waar en hoeveel de belasting van toestromend rijkswater en AWZI's doorwerkt op de belasting van vanggebieden waarop wordt afgewaterd.

Ook is het door de uitgebreide monitoring mogelijk geworden om de modelberekeningen op belangrijke locaties te toetsen (valideren) aan de gemeten debieten en concentraties. Uit deze validatie is gebleken dat de verschillen tussen de berekende water- en nutriëntenbalansen en de uit metingen afgeleide balansen binnen de hiervoor geldende onzekerheidsmarges liggen. Daaruit is geconcludeerd dat de berekende belasting en herkomstverdeling plausibel zijn.

In de twee pilotgebieden is aangetoond dat met de methode KRW-ECHO de modelinput om de af- en uitspoeling te kwantificeren goed aansluit op de daar verzamelde gedetailleerde gebieds- en bedrijfsinformatie. Wel kan de samenstelling van kwelwater afwijken van hetgeen met beschikbare rekenplots op gebiedsniveau wordt ingevoerd, vooral ten aanzien van ammoniumconcentraties. Hiermee is met de gebiedsbrede modellering rekening gehouden.

Uit de analyse van de pilotgebieden kwam ook het belang naar voren dat de modelaannames voor mestgiften en gewasopbrengsten mogelijk een overschatting geven van het gebruik van dierlijke mest en een onderschatting van de gewasopbrengsten. In parallel lopende studies voor de nationale analyse KRW (PBL, 2020) zijn de mestgiften berekend met het model Initiator van de WUR. Zowel STONE als Initiator gebruikt CBS-gegevens voor de gewasopbrengsten. Voor de mestgiften zijn in de onderhavige modelstudie uitgebreide databestanden gebruikt van onder andere de landbouwtelling (CBS), berekening uit het Bedrijven Informatie Netwerk (BIN) en monitoringgegevens ten behoeve van beleid (RVO, Zuivelschap) en is uitgegaan van de wettelijk vastgestelde gebruiksnormen. Op het niveau van de polders is niet de detailinformatie zoals die is verzameld in de twee pilotgebieden beschikbaar om de berekende mestgiften en gewasopbrengsten te valideren of bij te stellen. Ook moet worden bedacht dat er relatief weinig harde gegevens zijn over de toegepaste hoeveelheden kunstmest.

Voor de af- en uitspoeling, waterinlaat en retentie gelden op basis van landelijke studies aanzienlijke onzekerheidsmarges (orde van 25%). De onzekerheidsmarges van de berekende nutriëntenbalansen (belasting minus retentie%) wordt door het gebruik van de regionaal beschikbare data op basis van expertkennis en eerdere studies globaal ingeschat op $\pm 20\%$. Als deze onzekerheden worden vertaald naar het berekende aandeel van de achtergrondbelasting, moet rekening worden gehouden met de bandbreedtes zoals die zijn aangegeven in tabel 2.

In het studiegebied worden onzekerheidsmarges vooral bepaald door onzekerheden rond de bijdrage van de kwel, met name daar waar tochten insnijden in het watervoerende pakket en onzekerheden rond de mestgiften (met name stikstof). Omdat er aanwijzingen zijn dat landbouwbodems kampen

met bodemverdichting, kan de bijdrage van oppervlakkige afstroming van met name fosfor groter zijn dan hier berekend. Kennis over de invloed van bodemverdichting op de af- en uitspoeling van fosfor is nog te beperkt om hier kwantitatieve uitspraken over te doen.

De rekenmethode voor de retentie van fosfor in poldergebieden is globaal en houdt weinig rekening met gebied-specifieke omstandigheden, zoals het voorkomen van ijzerrijke kwel (fosfaat bindt dan sterk aan ijzeroxides) en mogelijke vrijkomen van in de waterbodem gebonden fosfaat wanneer onder zuurstofloze omstandigheden (zomers) ijzersulfidevorming kan optreden. Onzekerheden over retentie hebben geen invloed op de berekende belasting in een vanggebied, maar wel op de validatie en de mate waarin de belasting in het vanggebied doorwerkt in gebieden waarop wordt afgewaterd.

Verdere ontwikkeling door het waterschap van geohydrologische modellen die de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater beschrijven, kunnen worden benut om meer zekerheid te verkrijgen over de invloed van kwel op de nutriëntenbelasting.

Voor de bronnen achter de af- en uitspoeling vanuit landbouwgronden moet worden bedacht dat het onderscheid tussen de uitspoeling die voortkomt uit actuele en historische bemesting arbitrair is, omdat dit wordt beïnvloed door de keuze van de periode waarvoor bemesting als historisch wordt beschouwd. Ook het onderscheid tussen kwel en nalevering is moeilijk te maken, omdat door kwel nutriënten vanuit de diepere ondergrond in de ondiepe bodemlagen terechtkomen en vanuit die bodemlagen lang kunnen naleveren. Dit heeft echter geen invloed op de berekende achtergrondbelasting, omdat zowel kwel als nalevering als natuurlijke bron wordt beschouwd. Tijdens het symposium [KRW-doelen2027-dilemmas & oplossingsrichtingen](#) (juni 2019) zijn aanbevelingen gedaan om de methode te verbeteren en daarmee het onderscheid tussen 'historisch' en 'actueel' scherper te maken. Dit wordt opgepakt in het project *Nutriëntenmaatregelen* van het onderzoeksprogramma [KennisimpulsWaterkwaliteit](#).

In hetzelfde onderzoeksprogramma wordt in het project *Nutriënten-welke maatregelen snijden hout* onderzoek uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de bronnen en routes van de nutriënten vanuit landbouwgronden naar het oppervlaktewater, de invloed van agrarisch handelen hierop en de effectiviteit van maatregelen om de af- en uitspoeling te verminderen. In dit project wordt hiervoor in twee pilotgebieden een intensief meetprogramma opgezet, waaronder de Vuursteentocht (12 km²) in oostelijk Flevoland.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Uit de analyse van de pilotgebieden is gebleken dat met de methode KRW-ECHO de modelinput om de af- en uitspoeling te kwantificeren goed aansluit op de verzamelde gedetailleerde gebieds- en bedrijfsinformatie. Aandachtspunt voor gebiedsbrede uitwerking is met name de samenstelling van kwel. Ook is gebleken dat de gewasopbrengsten mogelijk hoger zijn dan hetgeen in landelijke databases wordt geregistreerd en dat de mestgiften mogelijk juist wat lager zijn. Harde informatie om hiermee de modelinput gebiedsbreed aan de passen, ontbreekt echter.

Vanuit de ervaring met de pilotgebieden zijn met de methode KRW-ECHO voor het gehele beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland de nutriëntenbelasting en herkomst berekend voor de periode 2010-2017. Het gebied is hierbij ingedeeld in twaalf afwateringsgebieden rond de KRW-oppevlaktewaterlichamen. In de gebieden waar de water- en nutriëntenbalansen gevalideerd konden worden aan beschikbare metingen, sluiten de berekende uitgaande debieten en stofvrachten in zowel het zomerhalfjaar als jaargemiddeld goed aan op hetgeen uit de metingen kan worden afgeleid. Dit biedt vertrouwen in zowel de hydrologische component als de berekende nutriëntenbalans.

Uit de berekende herkomst blijkt dat in de meeste afwateringsgebieden een groot deel (meer dan de helft) van de nutriëntenbelasting wordt bepaald door af- en uitspoeling vanuit landbouwgronden. Wel zijn er vrij grote verschillen tussen de afwateringsgebieden qua belasting en herkomst. Voor stikstof wordt de af- en uitspoeling vooral bepaald door actuele bemesting en, hoewel in mindere mate, door kwel en nalevering van de bodem. Voor fosfor wordt de af- en uitspoeling naast actuele bemesting ook in belangrijke mate bepaald door historische mestgiften. Andere belangrijke bronnen zijn inlaat van rijkswater (vooral in de Noordoostpolder), uitspoeling natuurgebieden en stedelijk gebied en in een paar afwateringsgebieden ook AWZI's. De herkomstverdeling in het zomerhalfjaar verschilt van de verdeling op jaarbasis, omdat in het zomerhalfjaar meer water wordt ingelaten en de af- en uitspoeling minder groot is dan in het winterhalfjaar, terwijl de overige bronnen vrij constant zijn.

Op basis van de herkomstverdeling is per vanggebied het aandeel van de achtergrondbelasting op de totale belasting in het zomerhalfjaar bepaald. Met de hierin gehanteerde uitgangspunten (welke bronnen als natuurlijk worden beschouwd) varieert het aandeel van de achtergrondbelasting voor stikstof van 32% tot 70% en is gemiddeld voor heel Flevoland 47%. Dit wordt vooral bepaald door natuurlijk nalevering uit landbouwbodems, atmosferische depositie en ammoniumrijke kwel en in de Noordoostpolder ook door inlaat van rijkswater. Voor fosfor varieert de achtergrondbelasting van 27% tot 58% en is gemiddeld voor heel Flevoland 45%. Dit wordt vooral bepaald door nalevering, kwel en uitspoeling uit natuurbodems en stedelijk gebied en in de Noordoostpolder mede door inlaat van rijkswater.

7.2 Aanbevelingen

Als eerste wordt aanbevolen om de monitoring en bijbehorende inwinstrategie voort te zetten. Dit ondersteunt de verdere ontwikkeling van geohydrologische modellen die de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater beschrijven en maakt het mogelijk om ook in de toekomst water- en stoffenbalansen op het gewenste detailniveau op te kunnen stellen. De resultaten van de onderhavige bronnenanalyse bieden handvaten om de monitoring verder te optimaliseren, zodat juist op de belangrijke uitwisselpunten voldoende meetgegevens worden verzameld.

Ook verdient het aanbeveling om de monitoring van grondwater verder uit te breiden om daarmee inzichten in de kwel zodanig te verbeteren dat de bijdrage van de kwel aan de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten en zouten met minder onzekerheden gekwantificeerd kan worden.

Met de berekende herkomstverdeling kunnen theoretische achtergrondconcentraties worden afgeleid door het aandeel van de achtergrondbelasting te vermenigvuldigen met de concentraties die nabij het uitstroompunt in het zomerhalfjaar worden gemeten. Deze achtergrondconcentraties kunnen aanleiding geven om gestelde KRW-doelen bij te stellen. Aanbevolen wordt om hierbij rekening te houden met de bandbreedtes die vanuit de onzekerheidsmarges zijn aangegeven.

Verder wordt aanbevolen om onderzoek te doen naar de waterbodems, en dan met name de eigenschappen die de vastlegging, afbraak en de nalevering van nutriënten bepalen. Enerzijds omdat dit aanvullend inzicht biedt in de retentie en zo bijdraagt aan de betrouwbaarheid van de balanspost retentie in de nutriëntenbalansen, anderzijds omdat nalevering vanuit waterbodems ook een belangrijke factor is in de systematiek van de Ecologische Sleutel Factoren (ESF). In deze systematiek wordt in ESF1 'productiviteit water' de externe belasting vergeleken met de kritische belasting die een watersysteem kan hebben zodat er geen dominantie van algen of kroos ontstaat. Bij het afleiden van die kritische belasting wordt rekening gehouden met nalevering vanuit de waterbodem. En in ESF3 'productiviteit waterbodem' wordt gekeken naar de hoeveelheid nutriënten in de waterbodem vanuit het principe dat een nutriëntrijke bodem leidt tot woekering van ondergedoken/wortelende waterplanten.

Om de af- en uitspoeling van nutriënten uit landbouwgronden te verminderen, wordt aanbevolen te kijken naar de potentie van bodemverbeterende maatregelen, precisiebemesting, inzet van specifiek op de gewasrotaties afgestemde vanggewassen en andere maatwerkmaatregelen die genoemd worden in het Deltaplan Agrarisch Waterbeheer. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van de GIS-tool en inzichten die worden ontwikkeld in het project [Nutriënten, welke landbouwmaatregelen snijden hout](#) van het onderzoeksprogramma Kennisimpuls Waterkwaliteit en de intensieve monitoring die in dat project in de Vuursteentocht als pilot wordt ingezet.

Om stikstof- en fosforconcentraties in het oppervlaktewater verder te verlagen, kan het effectief zijn om maatregelen te nemen waardoor de retentie in de watergangen toeneemt. Dit kan door vergroening van de slootranden (kruidenrijke akkerranden, natuurvriendelijke oevers), hetgeen ook bijdraagt aan biodiversiteit, en door verwijdering van slootmaaisel. De potentie hiervan kan ingeschat worden met een tool die recentelijk door de WENR is ontwikkeld. Als meer inzicht is waar nalevering vanuit waterbodems de ecologische doelen belemmert, kan het regiem voor baggeren ook rekening houden met de effecten op de waterkwaliteit.

Literatuur

- Akker, J.J.H. van den, F. de Vries, G.D. Vermeulen, M.J.D. Hack-ten Broeke en T. Schouten, 2012. Risico op ondergrondverdichting in het landelijk gebied in kaart. Wageningen, Alterra, Alterra-Rapport 2409.
- Boekel, E.M.P.M. en P. Schipper 2016. Data-analyse water- en stofbalansen, Notitie. Wageningen, Alterra oktober 2017.
- E.M.P.M. van Boekel, P. Schipper en F. van der Bolt 2014. Plan van aanpak voor het opstellen van water- en nutriëntenbalansen in het beheergebied van Zuiderzeeland. Wageningen, Alterra, mei 2014.
- 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, 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., Smit, A.A.M.F.R., Mulder, H.M., Groenendijk P., 2013. Procedure afleiden regionale af- en uitspoelingcijfers voor stikstof en fosfor (herschikkingsprocedure). Wageningen, Alterra.
- 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, Alterra-rapport 2408.
- Boekel, E.M.P.M. van, P. Bogaart, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, R.A.L. Kselik, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, P.E.V. van Walsum en F.J.E. van der Bolt, 2012. Evaluatie Landbouw en KRW. Evaluatie meststoffenwet 2012: deelrapport ex post. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2326.
- Boekel, E., R. Hendriks en P. Schipper 2018. Herkomst nutriënten Alblasserwaard en Vijfheerenlanden. Wageningen Environmental Research rapport 2891.
- Gerven, L. van, Stefan Jansen en Piet Groenendijk 2019. Maatregel op de kaart (fase 1), Identificeren van kansrijke landbouwmaatregelen per perceel voor schonere grond- en oppervlaktewater. Onderzoeksprogramma Kennisimpuls Waterkwaliteit (www.kennisimpulswaterkwaliteit.nl), thema Nutriënten: welke maatregelen snijden hout.
- Van Gerven, L.P.A., (2019, in prep.). Zuiveringstool oppervlaktewaterkwaliteit. Een rekeninstrument ter voorspelling van het effect van zuiveringsmaatregelen op de N- en P-concentraties in het oppervlaktewater.
- Grinsven, H. van, A. Bleeker, S. van der Sluis, M. van Schijndel, J. van Dam, A. Tiktak, F. van Gaalen, R. den Uyl, S. Kruitwagen, J. Beck, G. Velthof, O. Schoumans, C. de Lauwere, 2017. Evaluatie Meststoffenwet 2016: synthesesrapport. PBL-rapport 2258, Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.
- Groenendijk, P., R.F.A. Hendriks, F.J.E. van der Bolt, H.M. Mulder, 2012. Bronnen van diffuse nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2328.
- Groenendijk, P., L. Renaud, H. Luesink, P.W. Blokland & T. de Koeijer (2015), Gevolgen van mestnormen volgens het 5e Actieprogramma voor nitraat en N- en P-belasting van het oppervlaktewater. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2647.
- Groenendijk, P., E. van Boekel, L. Renaud, A. Greijdanus, R. Michels, T. de Koeijer, 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 af- en uitspoeling uit landbouwgronden. Wageningen Environmental Research-rapport 2749.

-
- Groenendijk, P., L.P.A. van Gerven, E.M.P.M. van Boekel, (2019, in prep). Maatregelen op en rond landbouw-percelen ter vermindering van de af- en uitspoeling van nutriënten.
- Achtergrondinformatie over maatregelen ten behoeve van de Nationale Analyse Waterkwaliteit.
- Hazeu, G.W., C. Schuiling, G.J. Dorland, G.J. Roerink, H.S.D. Naeff en R.A. Smidt, 2010. Landelijk Grondgebruiksbestand Nederland versie 7 (LGN7); Vervaardiging, nauwkeurigheid en gebruik. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2548.
- 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 Drentse Aa. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1913.
- Kros, Hans; Os, Jaap van; Voogd, Jan Cees; Groenendijk, Piet; Bruggen, Cor van; Molder, Romuald te; Ros, Gerard 2019. Ruimtelijke allocatie van mesttoediening en ammoniakemissie: beschrijving mestverdelingsmodule INITIATOR versie 5. Wageningen Environmental Research-rapport 2939.
- Kroon, T., P. Finke, I. Peerenboom en A. Beuzen, 2001. Redesign STONE. De nieuwe schematisatie voor STONE; de ruimtelijke indeling en de toekenning van hydrologische en bodemchemische parameters. Lelystad, RIZA, rapport 2001.017.
- EmissieRegistratie, 2016. Emissieschattingen Diffuse Bronnen - Lozingen vanuit glastuinbouw.
- Schipper, P., R. Hendriks, H. Massop, E. van Boekel, 2016. Belasting van waterlichamen in de Krimpenerwaard met stikstof en fosfor. Wageningen, Wageningen Environmental Research-rapport 2738.
- Schipper, P. L. Renaud en E. van Boekel 2019. Bronnenanalyse nutriënten stroomgebied Maas. Wageningen Environmental Research, Rapport 2931.
- Schipper, P; L. van Gerven, E. van Boekel, L. Renaud en G. Ros 2019. Herkomst nutriënten in het landelijk gebied van Schieland. Wageningen Environmental Research rapport 2969 Wageningen Environmental Research-rapport 2738.
- Van Gaalen, Frank, Leonard Osté en Erwin van Boekel 2020. Nationale analyse waterkwaliteit, onderdeel van de Delta-aanpak Waterkwaliteit. PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag, 2020, PBL-publicatienummer: 4002.
- Van Uum Toezicht en Advies 2018. Verslag van aanvullende informatie verkregen bij de agrariërs in het gebied "Piet Oberman" en "Meeuwentocht". Betreft Seizoen 2015, 2016 en 2017. Harderwijk januari 2018.
- Vries, F. de, W.J.M. de Groot, T. Hoogland, J. Denneboom, 2003. De bodemkaart van Nederland digitaal; Toelichting bij inhoud, actualiteit en methodiek en korte beschrijving van additionele informatie. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 811.
- Witteveen en Bos, 2015. Watersysteemstudie Krimpen aan den IJssel. Witteveen+Bos rapport in opdracht van Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard.
- Witteveen en Bos 2017. Herkomst probleemstoffen in oppervlaktewater Rijn Oost, KRW-Samenwerkingsverband Rijn Oost, werkgroep stoffen, Deventer 18 december 2017.
- Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de Bodemkaart van Nederland, 1: 250 000, ten behoeve van de Pawnstudie. Stiboka, Wageningen. Rapport 2055.

Bijlage 1 Gebruikte meetgegevens Waterschap Zuiderzeeland

Tabel B1.1 Overzicht van de meetpunten die gebruikt voor het bepalen van de inkomende en uitgaande nutriëntenvrachten bij de in- en uitstroompunten van de waterlichaamgebieden in het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland.

Waterlichaam gebied	Debietmeetpunt	x-coörd.	y-coörd.	Stromings-richting	Kwaliteits-meetpunt	Herkomst / ontvangend WL
Tochten ABC	Geen inlaten bekend					
	Uitlaat op basis van modelberekeningen: wentelt af op Vaarten hoge afdeling ZOF					
Tochten DE	Almeresluis	143726	482848	Inlaat	NB	Gooimeer
	Uitlaat op basis van modelberekeningen: wentelt af op Vaarten hoge afdeling ZOF					
Tochten FGIK	Hevel Bovenwater	155978	500694	Inlaat	20DZ-012-01	Markermeer
	Stuwput Gruttotocht	154244	480981	Inlaat	26DN-041-01	ZOF vaart Hoog
	Aflaatwerk Bloesemtocht	159994	484011	Inlaat	26DN-041-01	ZOF vaart Hoog
	Stuwput Hoge Knartocht	159235	494274	Inlaat	26EZ-101-01	ZOF vaart Hoog
	Uitlaat op basis van modelberekeningen: wentelt af op Vaarten lage afdeling ZOF					
Tochten H	Aflaatwerk Hoekwanttocht	171333	493075	Inlaat	26FN-050-01	ZOF vaart Hoog
	Aflaatwerk Kubbetocht	172812	494434	Inlaat	26FN-050-01	ZOF vaart Hoog
	Aflaatwerk Zijdenettentocht	174219	495713	Inlaat	26FN-050-01	ZOF vaart Hoog
	Aflaatwerk Swifertocht	175717	496962	Inlaat	26FN-050-01	ZOF vaart Hoog
	Aflaatwerk Ansjovistocht	175993	498998	Inlaat	26FN-050-01	ZOF vaart Hoog
	Aflaatwerk Palingtocht	177685	501288	Inlaat	20CZ-019-01	ZOF vaart Hoog
	Uitlaat op basis van modelberekeningen: wentelt af op Vaarten lage afdeling ZOF					
Tochten J	Hevel Noord	161114	507192	Inlaat	20GN-045-01	IJsselmeer
	Uitlaat op basis van modelberekeningen: wentelt af op Vaarten lage afdeling ZOF					
Vaarten hoge afdeling ZOF	Inlaatwerk Colijn	180134	510266	Inlaat	niet bekend	Ketelmeer
	Ketelsluis	180139	510232	Inlaat	21CN-015-01	Ketelmeer
	Zuidersluis (schuttingen)	143842	492132	Inlaat	26AZ-178-01	Markermeer
	Zuidersluis (doorvoer)	143842	492132	Inlaat	26AZ-178-01	Markermeer
	Sluis De Blauwe Dromer	170483	487022	Inlaat	26HN-001-01	Veluwemeer
	Gemaal Colijn Hoog	180088	510233	Uitlaat	21CN-015-01	Ketelmeer
	Gemaal Lovink	170519	487054	Uitlaat	26HN-001-01	Veluwemeer
	Gemaal De Blocq van Kuffeler Hoog	143948	492196	Uitlaat	26AZ-052-01	Markermeer
	Vaartsluis	144431	491039	Uitlaat	26AZ-053-01	ZOF vaart Laag
	Hevel Govert Flinckstraat	145602	488124	Uitlaat	26CN-094-01	ZOF vaart Laag
	Stuwput Gruttotocht	154244	480981	Uitlaat	26DN-041-01	Tochten FGIK
	Aflaatwerk Bloesemtocht	159994	484011	Uitlaat	26DN-041-01	Tochten FGIK
	Larservaartsluis	168619	491898	Uitlaat	26EZ-025-01	ZOF vaart Laag
	Aflaatwerk Hoekwanttocht	171333	493075	Uitlaat	26FN-050-01	Tochten H
	Aflaatwerk Kubbetocht	172812	494434	Uitlaat	26FN-050-01	Tochten H
	Aflaatwerk Zijdenettentocht	174219	495713	Uitlaat	26FN-050-01	Tochten H
	Aflaatwerk Swifertocht	175717	496962	Uitlaat	26FN-050-01	Tochten H
	Aflaatwerk Ansjovistocht	175993	498998	Uitlaat	26FN-050-01	Tochten H
	Aflaatwerk Palingtocht	177685	501288	Uitlaat	20CZ-019-01	Tochten H
	Aflaatwerk Hanzetocht	179454	504807	Uitlaat	20CZ-019-01	ZOF vaart Laag
	Kampersluis	179770	509569	Uitlaat	21CN-015-01	ZOF vaart Laag
Vaarten lage afdeling ZOF	Noordersluis	157209	501665	Inlaat	26BN-008-01	Markermeer
	Vaartsluis	144431	491039	Inlaat	26AZ-053-01	ZOF vaart Hoog
	Hevel Govert Flinckstraat	145602	488124	Inlaat	26CN-094-01	ZOF vaart Hoog
	Larservaartsluis	168619	491898	Inlaat	26EZ-025-01	ZOF vaart Hoog
	Aflaatwerk Hanzetocht	179454	504807	Inlaat	20CZ-019-01	ZOF vaart Hoog
	Stuw Colijntocht	180088	510233	Inlaat	20HN-044-01	Tochten J
	Kampersluis	179770	509569	Inlaat	21CN-015-01	ZOF vaart Hoog
	Gemaal Colijn-laag	180088	510233	Uitlaat	20HN-044-01	Ketelmeer
	Gemaal Wortman	157252	501720	Uitlaat	26BN-008-01	Markermeer
	Gemaal De Blocq van Kuffeler laag	143948	492196	Uitlaat	26AZ-053-01	Markermeer

Waterlichaam gebied	Debietmeetpunt	x-coörd.	y-coörd.	Stromings-richting	Kwaliteits-meetpunt	Herkomst / ontvangend WL
Tochten hoge afdeling NOP	Inlaat Repelweg	192217	521476	Inlaat	21BN-033-01	Vollenhoverkanaal
	Hevel Ettenlandseweg	193260	522698	Inlaat	21BN-035-01	Vollenhoverkanaal
	Inlaat Ramspol	186426	514376	Inlaat	21AZ-139-01	Zwarte meer
	Hevel Neushoornweg	189471	515427	Inlaat	21AZ-139-01	Zwarte meer
	Hevel Schelpenpad	194718	517949	Inlaat	21AZ-139-01	Zwarte meer
	Hevel Kadoelen	195197	519069	Inlaat	21BN-044-01	Zwarte meer
	Sloot Schokland	181215	519299	Uitlaat	niet bekend	Tochten NOP Laag
	Stuw Bomentocht	181958	521128	Uitlaat	21AN-230-01	Tochten NOP Laag
	Stuw Kleeftocht	183808	523777	Uitlaat	21AN-087-01	Tochten NOP Laag
	Aflaatschuif Expansie	187755	524986	Uitlaat	21AN-130-01	Tochten NOP Tussen
Deel van uitlaat op basis van modelberekeningen: wentelt af op Vaarten NOP Hoog						
Tochten tussenafdeling NOP	Aflaatschuif Expansie	187755	524986	Inlaat	21AN-130-01	Tochten NOP Hoog
	Inlaat Kanaalweg	193134	525102	Inlaat	16DZ-007-01	Vollenhoverkanaal
	Inlaat Blokzijl	193492	526528	Inlaat	16DZ-007-01	Vollenhoverkanaal
	Gemaal Expansie	187755	524986	Uitlaat	21AN-130-01	Vaarten NOP Hoog
	Stuw Kalenbergertocht_1	187841	527672	Uitlaat	16CZ-190-01	Tochten NOP laag
	Stuw kassengebied Luttelgeest	187030	527486	Uitlaat	16CZ-127-01	Tochten NOP laag
	Stuw Blankenhammertocht	186500	528900	Uitlaat	16CZ-088-01	Tochten NOP laag
	AMT stuw	186730	529396	Uitlaat	16CZ-085-01	Tochten NOP laag
Tochten lage afdeling NOP	Stuw Kuindertocht	185533	530567	Uitlaat	16CZ-189-01	Tochten NOP laag
	Inlaat Lemsterhop	177508	539751	Inlaat	15FZ-013-01	IJsselmeer
	Inlaat Lemmer-Rutten	176394	538586	Inlaat	15FZ-013-01	IJsselmeer
	Hevel Waterval	168957	520307	Inlaat	20EN-062-01	IJsselmeer
	Sloot Schokland	181215	519299	Inlaat	niet bekend	Tochten NOP Hoog
	Stuw Bomentocht	181958	521128	Inlaat	21AN-230-01	Tochten NOP Hoog
	Stuw Kleeftocht	183808	523777	Inlaat	21AN-087-01	Tochten NOP Hoog
	Stuw Kalenbergertocht_1	187841	527672	Inlaat	16CZ-190-01	Tochten NOP Tussen
	Stuw kassengebied Luttelgeest	187030	527486	Inlaat	16CZ-127-01	Tochten NOP Tussen
	Stuw Blankenhammertocht	186500	528900	Inlaat	16CZ-088-01	Tochten NOP Tussen
	AMT stuw	186730	529396	Inlaat	16CZ-085-01	Tochten NOP Tussen
	Stuw Kuindertocht	185533	530567	Inlaat	16CZ-189-01	Tochten NOP Tussen
	Inlaat Kuinre	185711	533150	Inlaat	16CN-025-01	Tjonger
Uitlaat op basis van modelberekeningen: wentelt af op Vaarten NOP Laag						
Vaarten NOP Hoog	Voorstersluis	191753	520261	Inlaat	21BN-032-01	Kadoelermeer
	Inlaat Waterloopbos	191754	520841	Inlaat	21BN-033-01	Vollenhoverkanaal
	Gemaal Expansie	187755	524986	Inlaat	21AN-130-01	Tochten NOP Tussen
	Pomp Marknesse Zuid	186774	524212	Uitlaat	21AN-126-01	Vaarten NOP Laag
	Marknessersluis (rinket)	187123	524463	Uitlaat	21AN-126-01	Vaarten NOP Laag
	Marknessersluis (schuttingen)	187123	524463	Uitlaat	21AN-126-01	Vaarten NOP Laag
	Stuw Marknesse	187571	524722	Uitlaat	21AN-126-01	Vaarten NOP Laag
	Gemaal Smeenge	191733	520299	Uitlaat	21BN-032-01	Kadoelermeer
Vaarten NOP Laag	Friese sluis	176995	539004	Inlaat	15FZ-013-01	IJsselmeer
	Hevel Urk	168958	520126	Inlaat	20EN-062-01	IJsselmeer
	Urkersluis	169617	518951	Inlaat	20EN-062-01	IJsselmeer
	Pomp Marknesse Zuid	186774	524212	Inlaat	21AN-126-01	NOP Vaart Hoog
	Marknessersluis (rinket)	187123	524463	Inlaat	21AN-126-01	NOP Vaart Hoog
	Marknessersluis (schuttingen)	187123	524463	Inlaat	21AN-126-01	NOP Vaart Hoog
	Stuw Marknesse	187571	524722	Inlaat	21AN-126-01	NOP Vaart Hoog
	Gemaal Buma	176991	538956		15HN-086-01	IJsselmeer
	Gemaal Vissering				20FN-186-01	IJsselmeer

Bijlage 2 Bronnen in EmissieRegistratie

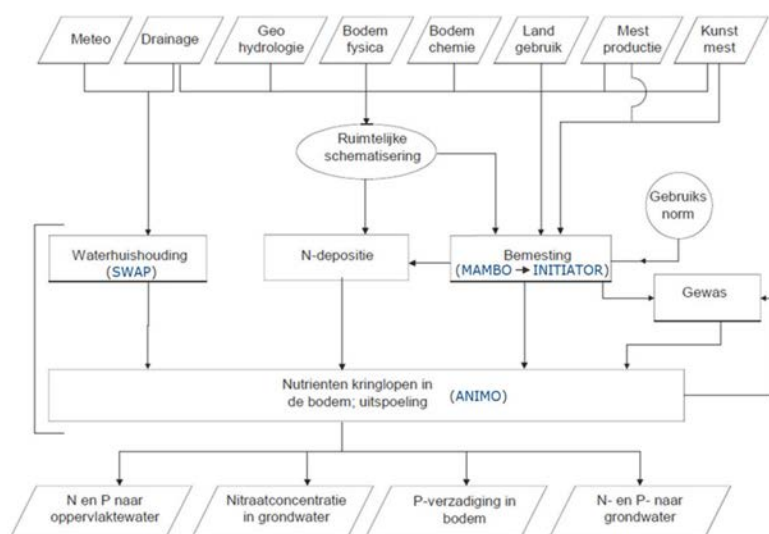
Tabel B2.1 Indeling van de bronnen in de EmissieRegistratie aan de doelgroep, subdoelgroep en de indeling die in de ECHO-methodiek wordt gehanteerd.

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)	
	Af- en uitspoeling landelijk gebied (landbouw + natuur)	>1%	UA
Overige industrie	Basismetaal	0,1 - 1%	IND
	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	
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	Olief-/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 (afvalverwijderingsinstallaties)	0,1 - 1%	OV
	Overige afvalbedrijven	<0,1%	
	Storten	<0,1%	
Drinkwatervoorziening	Overig drinkwater	0 (geen)	
Riolering en waterzuiveringsinstallaties (AWZI's)	Energiegebruik en processen	<0,1%	
	Ongezuiverd rioolwater (regenwaterriolen + overstorten)	0,1 - 1%	
	Effluentten lozingen	>1%	EF
Handel, Diensten en Overheid	Energiegebruik en processen handel	<0,1%	OV
Overig	Atmosferische depositie (open water)	>1%	DW

Bijlage 3 Achtergrondinformatie STONE

STONE is een simulatiemodel dat wordt gebruikt om nitraatconcentraties in het grondwater en de af- en uitspoeling van stikstof en fosfor uit landbouw- en natuurgronden te berekenen. Het is een consensusmodel dat in samenwerking met RIVM en RIZA is ontwikkeld voor landelijke beleidsevaluaties van het mestbeleid en het waterbeleid. Daarnaast berekent STONE de fosfaat-accumulatie en de posten van de N- en P-balans van de bodem. Door de koppeling aan mestverdelingsmodellen (MAMBO van Wageningen Economic Research en vanaf 2019 ook aan INITIATOR) kan STONE de effecten van diverse scenario's ten aanzien van de intensiteit van de veestapel, de aanwending van dierlijke mest en kunstmest en de verandering van landgebruik doorrekenen. Met de koppeling met mestverdelingsmodule van INITIATOR is de consistentie met ammoniakberekeningen beter gewaarborgd en is er een grotere flexibiliteit ten aanzien van het simuleren van toekomstscenario's verkregen.

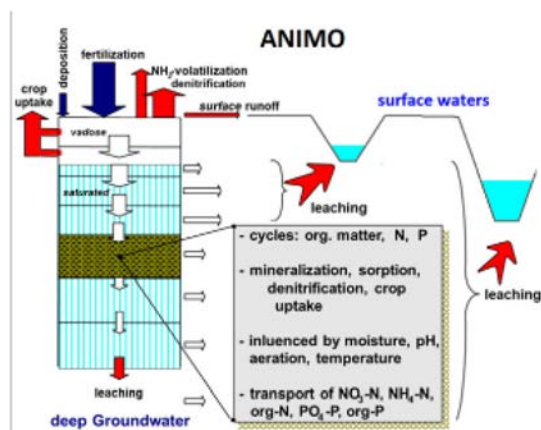
De keten van deelmodellen van het modelinstrumentarium is weergegeven in onderstaande figuur. De hydrologische informatie voor STONE wordt berekend met het gekoppelde SWAP/NAGROM-model waarin op basis van informatie over meteo, drainage en geohydrologie de vochthuishouding wordt gesimuleerd.



De module ANIMO simuleert in STONE de nutriëntenhuishouding in de bodem en de resulterende af- en uitspoeling naar water. ANIMO is een procesgericht model voor het simuleren van de kringloop van koolstof, stikstof en fosfor in de bodem dat aanvankelijk is ontwikkeld voor toepassing op perceelniveau, maar ook geschikt is voor regionale toepassingen. Binnen STONE voert ANIMO de berekeningen uit voor clusters van rastercellen met een grootte van 250 x 250 m en met een tijdstap van 10 dagen. Gerekend wordt in tijdseries van 15 jaar, waarbij de periode 1941-1970 wordt gebruikt om de modelkolommen te initialiseren. STONE omvat 6405 clusters (rekeneenheden) die verschillen in hydrologische en drainagekenmerken, landgebruik, bodemtype, bodemchemie en klimaat (meteodistrict).

De opzet van die ANIMO rekeneenheden is weergegeven in de figuur rechts. Deze module simuleert de stikstof- en fosforprocessen in de grond en ondiep grondwater tot een diepte van 13 m en berekent de oppervlakkige afstroming en de N- en P-vrachten naar greppels, sloten en grotere wateren. Daarnaast wordt de uitspoeling van N en P naar dieper grondwater berekend en de nitraatconcentraties in de eerste meter van het grondwater. Geochemische processen in dieper grondwater en stromingsprocessen en biologische en chemische processen in oppervlaktewateren zijn niet inbegrepen.

STONE is gepubliceerd in diverse [rapporten en wetenschappelijke literatuur](#).



Bijlage 4 Herschikkingsprocedure

STONE-schematisering

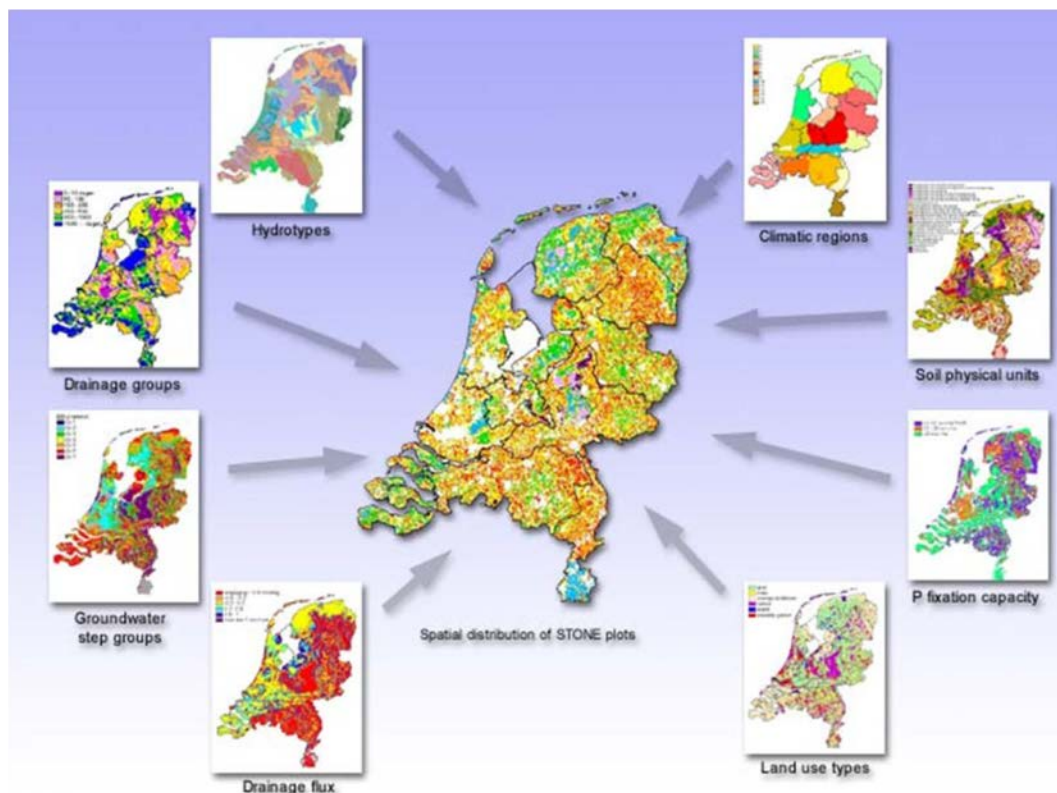
STONE (Samen Te Ontwikkelen Nutriënten Emissiemodel) is een landelijk model dat erop gericht is om op nationale schaal de effecten van nationaal of Europees landbouw- en milieubeleid en de ontwikkelingen in de landbouwsector op de uitspoeling van stikstof en fosfor naar grond- en oppervlaktewater te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

De ruimtelijke indeling voor STONE is opgesteld door Kroon (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 250x250 m, 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, kationen capaciteit);
- indeling naar overige kenmerken (o.a. meteorologische kenmerken).

In figuur B4.1 is een overzicht gegeven van kaartlagen (kenmerken) die gebruikt zijn om tot een ruimtelijke verdeling te komen van de rekeneenheden (STONE-plots).



Figuur B4.1 Overzicht van de(belangrijkste) kaartlagen die gebruikt zijn voor de 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.

Herschikkingsprocedure

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

De herschikkingsprocedure bestaat uit verschillende onderdelen:

1. Gebiedsanalyse
 - vervaardigen nieuwe geclassificeerde kaarten
 - overlay van kaarten en afleiden van MLB¹-combinaties
2. Afleiden nieuwe N- en P-uitspoelingcijfers
 - selectie van representatieve STONE-plots die passen bij MLB-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 B4.2):

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

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

Landgebruik

Voor het huidige landgebruik wordt op dit moment gebruikgemaakt van het LGN7-bestand (Hazeu, 2014). Het LGN7-bestand onderscheidt 39 landgebruikstypen. Het is een grid-bestand met een ruimtelijke resolutie van 25x25 m. 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 een-op-een 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 zes 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, 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

¹ MLB 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, 2003). In de bodemkaart worden deze weergegeven met **11** Gt-klassen (tabel B4.1). Eindresultaat van stap 1c is een nieuwe Gt-kaart met een resolutie van 25x25m.

Tabel B4.1 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 vijftien 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 25x25m (figuur B4.2).

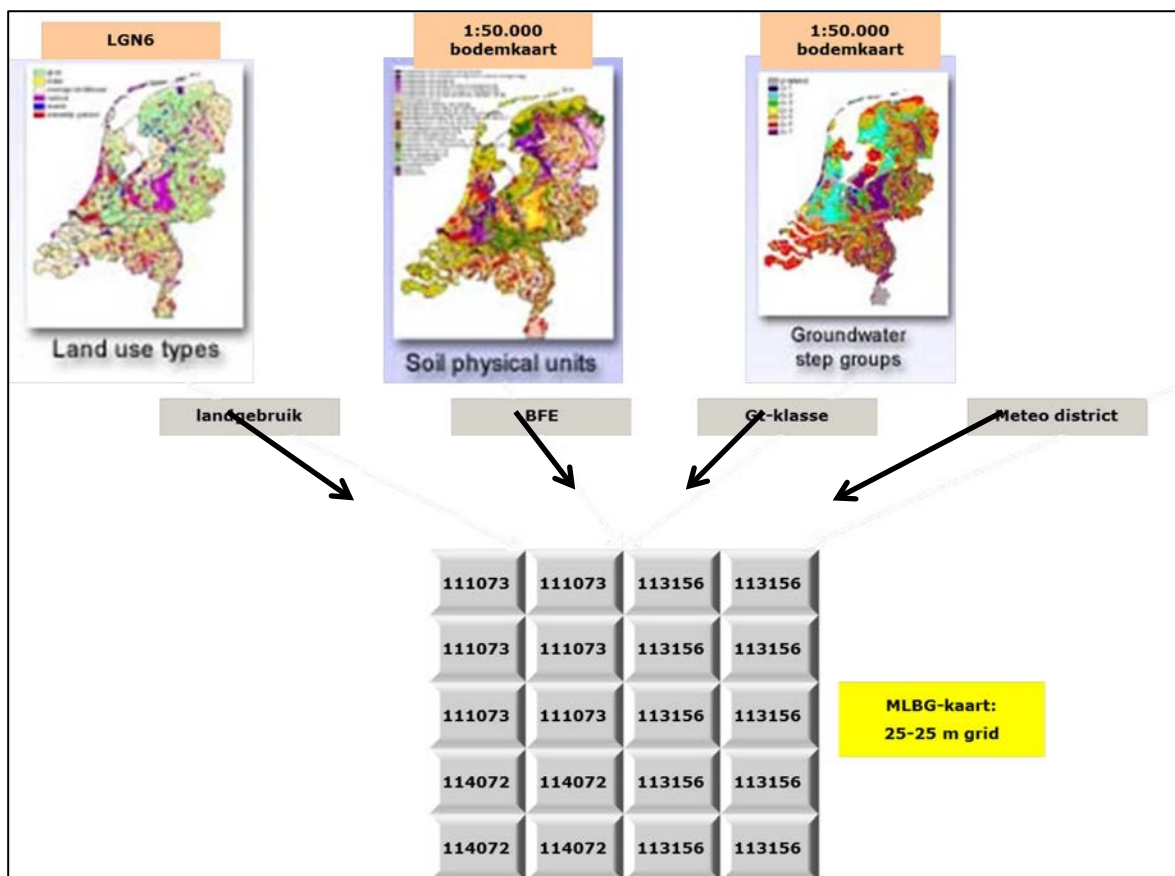
Door de overlay van de verschillende kaartlagen ontstaan er MLBG-eenheden met unieke kenmerken. In tabel B4.2 zijn voorbeelden gegeven van een aantal eenheden en bijbehorende kenmerken.

Tabel B4.2 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 B4.3 zijn een paar voorbeelden gegeven. Het meteodistrict is in dit voorbeeld weggelaten.



Figuur B4.2 Overzicht van de bestanden die gebruikt zijn bij het genereren van een kaart met MLBKG-eenheden.

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 LNG7 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 worden toegekend. Op voorhand is hierdoor al duidelijk dat er voor dit type MLBKG-eenheid geen representatieve STONE-plots gevonden kunnen worden.

In het script is een tussenstap voorzien waarin de MLBKG-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 LNG7 leidend te maken, met andere woorden: het landgebruik verandert niet.

Als op basis van LNG7 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. MLBKG-eenheden die op basis van LNG7 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 MLBKG-eenheden binnen een ERC-gebied/ECHO-gebied.

Tabel B4.3 Aantal voorbeelden van een mismatch tussen de LNG7-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	Stuifzandgronden	4	Gt-klasse IV
6156	6	Stedelijk	15	Homogene zavelgrond	6	Gt-klasse VI

In tabel B4.4 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 MLBГ-eenheden met een mismatch 'omgezet' (tabel B4.5). De MLBГ-eenheden 5074 en 6156 veranderen niet (landgebruik LNG7 is leidend). De MLBГ-eenheden 1230 en 4220 worden omgezet naar nieuwe MLBГ-eenheden met bodemfysische eenheid 15 en Gt-klasse 4.

Tabel B4.4 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 B4.5 'Omzetting' van een oude MLBГ-eenheid naar een nieuwe MLBГ-eenheid op basis van de dominante gebiedskenmerken.

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

Stap 3: afleiden N-/P-vrachten

Nadat nieuwe MLBГ-eenheden zijn bepaald, zijn representatieve STONE-plots gezocht voor het berekenen van de af- en uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Hierbij kunnen de volgende situaties ontstaan:

1. Er worden **meerdere** representatieve STONE-plots per eenheid gevonden;
2. Er wordt **één** representatieve STONE-plot gevonden;
3. Er kunnen **geen** STONE-plots gevonden worden die voldoen aan de opgelegde criteria.

Situatie 1

Indien in de herschikking voor een MLBГ-eenheid gekozen zou worden om één 'meest representatieve' STONE-plot te nemen, zou dit handmatig door een expert uitgevoerd moeten worden. Hierdoor zou de einduitkomst voor een deel afhankelijk zijn van de expert die de herschikking uitvoert. Dit verdient niet de voorkeur, omdat het problemen geeft bij het reproduceren van de resultaten en moeilijk qua argumentatie te verantwoorden is. Wanneer voor een MLBГ-eenheid meerdere STONE-plots in aanmerking komen, worden daarom in een geautomatiseerde selectieprocedure de STONE-plots geselecteerd die voldoen aan de betreffende MLBГ-eenheid en hiervan wordt dan de gemiddelde af- en uitspoeling bepaald. Ook wordt voor de herkomst van de

bronnen achter de af- en uitspoeling het gemiddelde van die STONE-plots genomen. Hiermee zal dit, ongeacht wie het script toepast, altijd tot dezelfde resultaten leiden.

In tabel B4.6 is een (willekeurig) voorbeeld gegeven voor MLBG-eenheid 111073 (meteodistrict 11, grasland op stuifzandgrond met Gt-klasse III). Er worden in totaal drie STONE-plots met deze combinatie gevonden.

Tabel B4.6 Gemiddelde stikstofbelasting van het oppervlaktewater voor de STONE-plots voor MLBG-eenheid 111073.

STONE-plots	Stikstofuitspoeling (kg/ha)
1710	76,7
1499	85,1
1111	112,1
Gemiddeld	91,3

Situatie 2

Indien er één STONE-plot gevonden kan worden, wordt de berekende af- en uitspoeling van deze plot toegekend aan een MLBG-eenheid.

Situatie 3

Indien er geen representatieve STONE-plots gevonden worden omdat de gewenste combinatie landgebruik, bodemfysische eenheid en Gt-klasse binnen een meteodistrict niet voorkomt, is ervoor gekozen om stapsgewijs steeds meer informatie van de MLBG-eenheden los te laten, net zolang alle eenheden zijn voorzien van een koppeling naar STONE plots. In tabel B4.7 is het stappenplan weergegeven voor toekenning van STONE-plots aan MLBG-eenheden.

Tabel B4.7 Overzicht van de stappen die doorlopen worden voor het afleiden van N- en P-belasting opp. water per MLBG-eenheid.

Stappen	Omschrijving
Stap 0	Een-op-een-match
Stap 1	Trapsgewijze aanpassing van bodemtypes <u>met</u> restricties
Stap 2	Trapsgewijze aanpassing van de Gt-klasse <u>met</u> restricties o.b.v. GHG (focus oppervlaktewater)
Stap 3	Combinatie van stap 1 + 2
Stap 4	Aanpassing bodemfysische gegeven <u>met</u> beperkte restricties
Stap 5	Combinatie van stap 2 + 4
Stap 6	<u>Geen</u> restricties t.a.v. de Gt-klasse
Stap 7	Combinatie van stap 1 + 6
Stap 8	Combinatie van stap 4 + 6
Stap 9	<u>Geen</u> restricties t.a.v. Gt-klasse en bodemfysische eenheid

Hieronder worden de stappen 1, 2 en 4 nader toegelicht. De overige stappen zijn combinaties van voorgaande stappen (stap 3, 5, 7 en 8) of liggen voor de hand (stap 6 en 9).

Stap 1: Aanpassing bodemfysische eenheden met restrictie

De eerste stap is een trapsgewijze aanpassing van bodemtypes met restrictie. Er worden in totaal 21 relevante bodemtypen onderscheiden (nr. 22 en 23 is respectievelijk open water en stedelijk gebied). In tabel B4.8 is een overzicht gegeven van mogelijke uitwisselingen. Voor een aantal bodemfysische eenheden (BFE) is het niet mogelijk om een andere BFE te selecteren; de andere BFE's kunnen met een of meerdere BFE's uitgewisseld worden. Indien er sprake is van meerdere opties, is een trapsgewijze aanpassing voorzien (opgelegde volgorde).

Tabel B4.8 Overzicht van de mogelijke 'uitwisseling' tussen de verschillende bodemfysische eenheden.

Groep	Grondsoort	Bodemfysische eenheden
1	Veen	1, 3
2	Veen	2, 4, 5
3	Veen	6
4	Zand	7, 8, 9, 12, 13
5	Zand	10, 14
6	Zand	11
7	Klei	15, 16, 19
8	Klei	17, 18
9	Klei	20
10	Löss	21

Stap 2: Aanpassing Gt-klasse

De twee stap is een trapsgewijze aanpassing van Gt-klasse met restricties op basis van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG). Een randvoorwaarde voor het selecteren van STONE-plots met een andere Gt-klasse is dat deze in hetzelfde *cluster* valt.

De grondwatertrappen zijn op basis van de GHG geclusterd in drie groepen:

- nat: Gt-klasse I, II, III en V
- matig droog: Gt-klasse IV en VI
- droog: Gt-klasse VII en VIII

Ook hierbij geldt dat er een voorkeursvolgorde is vastgelegd.

Stap 4: Aanpassing bodemfysische eenheden met beperkte restrictie

In de eerste stap is een aanpassing van de bodemfysische eenheden voorzien waarbij tien groepen onderscheiden worden. In stap 4 wordt een aantal groepen geclusterd op basis van de grondsoort (tabel B4.9).

Tabel B4.9 Overzicht van de mogelijke 'uitwisseling' tussen de verschillende bodemfysische eenheden op basis van de grondsoort.

Groep	Grondsoort	Bodemfysische eenheden
1	Veen	1 t/m 6
2	Zand	7 t/m 14
3	Klei	15 t/m 20
4	Löss	21

Nadat alle negen stappen zijn doorlopen, is het mogelijk om voor iedere MLBG-eenheid (rekeneenheid) een stikstof- of fosforbelasting toe te kennen (zie voorbeeld in figuur B4.3).



Figuur B4.3 Voorbeeld van de stikstofbelasting per MLBG-eenheid per rekeneenheid.

Bijlage 5 Retentie

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 waterbodembodem. 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 B5.1.

Tabel B5.1 Gemeten denitrificatiesnelheden in veen- en kleigebieden en de watertemperatuur op het moment van meten (Veraart, in prep.); n =aantal waarnemingen, std =standaarddeviatie.

bodemtype	n	Denitrificatie ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Denitrificatie ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Denitrificatie ($\mu\text{mol N m}^{-2} \text{ h}^{-1}$)	Temperatuur (°C)	
		gemiddeld	minimum	maximum	gemiddeld	gemiddeld
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, 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 B5.2).

Tabel B5.2 Afgeleide denitrificatiesnelheden voor klei- en veenpolders in het winter- en zomerhalfjaar.

Bodemtype	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 B5.3). 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, 2008) geven aan dat ongeveer 20% van de kroosbiomassa overwintert en ongeveer 25% van de waterpest en ondergedoken waterplanten overwintert.

Tabel B5.3 Gemiddelde hoeveelheid waterplanten aan het einde van het groeiseizoen, volgend uit verschillende databronnen.

Bodemtype	Waterplanten (g droge stof m ⁻²)		
	Waterpest	Kroos	Ondergedoken
klei	8	43	12
veen	29	14	25

Tabel B5.4 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 (Roijsackers, 2004);
- ondergedoken waterplanten en waterpest voor 3,5% uit N bestaan (Muhammetoglu, 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 B5.4 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.

Bodemtype	Groei	Sterfte
	(g N m ⁻²)	(g N m ⁻²)
klei	1,92	0,38
veen	1,85	0,37

Totale stikstofretentie in poldersystemen

Tabel B5.5 geeft de geschatte hoeveelheid stikstofretentie in de klei- en veenpolders: het opgetelde effect van denitrificatie en waterplanten. Deze hoeveelheden, in gram per m² waterbodem, 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 – waterbodem 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 B5.5 Geschatte hoeveelheid stikstofretentie in klei- en veenpolders.

Bodemtype	Zomerhalfjaar	Winterhalfjaar
	(g N m ⁻²)	(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 stikstofvracht.

Retentie van fosfor in poldersystemen

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

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, 2011; Seitzinger, 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 (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 ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{ha}^{-1}$)

Q_{afvoer} = afvoer bij uitstroompunt stroomgebied ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

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 nutriëntenvracht bij het uitstroompunt moet goed te bepalen zijn op basis van metingen.

Het eerste criterium is van belang, omdat de af te leiden retentie alleen betrekking heeft op de diffuse nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem. 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, 2011; Roelsma, 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:

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

waarin:

R_a = absolute nutriëntenretentie in het oppervlaktewater (g)

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

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

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

Bij de correctie van de uitstromende nutriëntenvracht (*L_{uitstroom}*) voor de nutriëntenbronnen buiten de uitspoeling (zoals AWZI's en industriële lozingen) is rekening gehouden met de retentie die aangrijpt op deze nutriëntenbronnen (volgens de EmissieRegistratie), zoals eerder bepaald in Van Boekel (2011). Tabel B5.6 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 maandelijkse steekmonsters (in HBE-beek en WV Aa). Ook is lineaire interpolatie gebruikt om ontbrekende debietdata en ontbrekende debietsproportionele gemeten nutriëntenconcentraties aan te vullen.

Tabel B5.6 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	1STE8RO	maandelijks	steekmonster

* Op basis van modelresultaten van het hydraulische model SWQN (Smit, 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, 2011; Seitzinger, 2002):

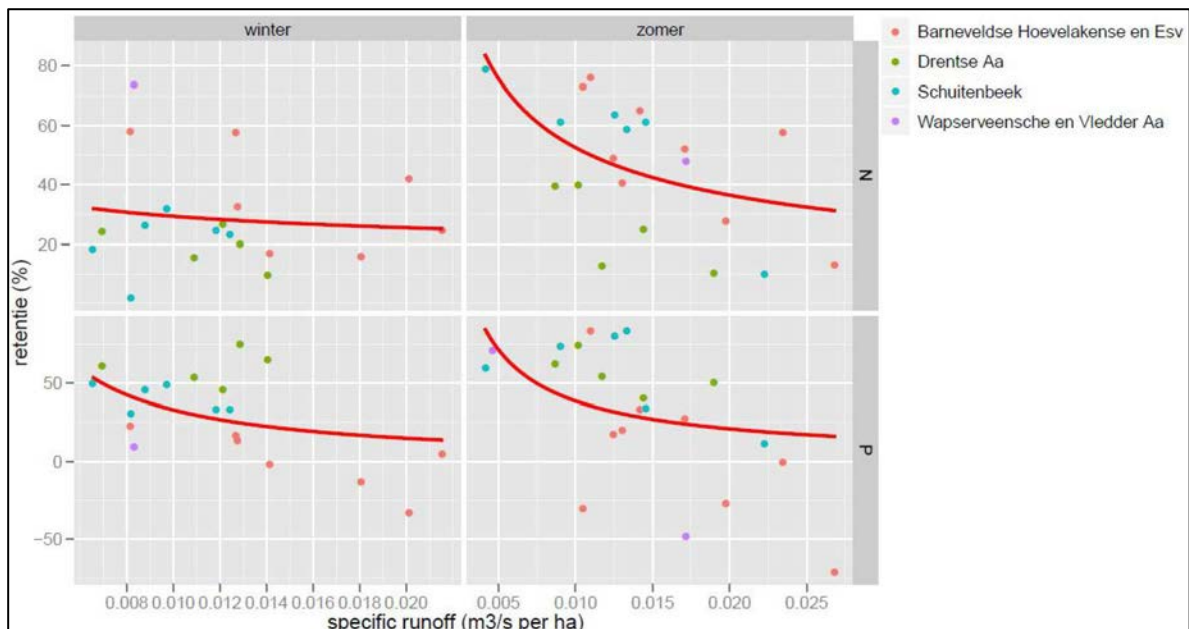
$$R_f = a \cdot Q_{specifiek}^b \quad (4)$$

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 B5.1. 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, 2007).

De puntenwolken in figuur B5.1 zijn gefit met Vergelijking 3, wat resulteert in waarden voor de coëfficiënten *a* en *b* (tabel B5.7). 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 B5.2 vergeleken met verbanden afgeleid in andere studies (Klein, 2011; Venohr, 2005; Seitzinger, 2002), waaraan overigens wel andere temporele en ruimtelijke schaalniveaus ten grondslag liggen.

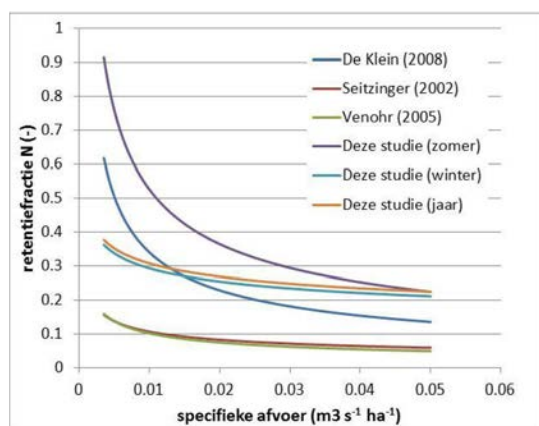
Een bekend nadeel van de machtsbenadering (Vergelijking 3) is dat de retentiefraction groter dan 1 kan worden bij kleine waarden voor de 'specifieke afvoer'. In deze gevallen is de retentiefraction afgekap tot 90% van de inkomende vracht, omdat grotere retentiewaarden onrealistisch worden geacht.



Figuur B5.1 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 B5.7 Gevonden coëfficiënten voor de vier stroomgebieden op basis van 'specifieke afvoer' in $\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{ha}^{-1}$.

	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 B5.2 Verband tussen de retentiefraction 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 km^2) op jaarbasis (Venohr, 2005) naar kleinere stroomgebieden (20-400 km^2) op jaarbasis (Seitzinger, 2002), winter- en zomerhalfjaar (deze studie) en maandbasis (Klein, 2011). Daarbij heeft de in deze studie berekende retentiefraction alleen betrekking op de nutriëntenuitspoeling vanuit het landsysteem, in tegenstelling tot de andere studies, die de overige nutriëntenbronnen ook meenemen.

Referenties

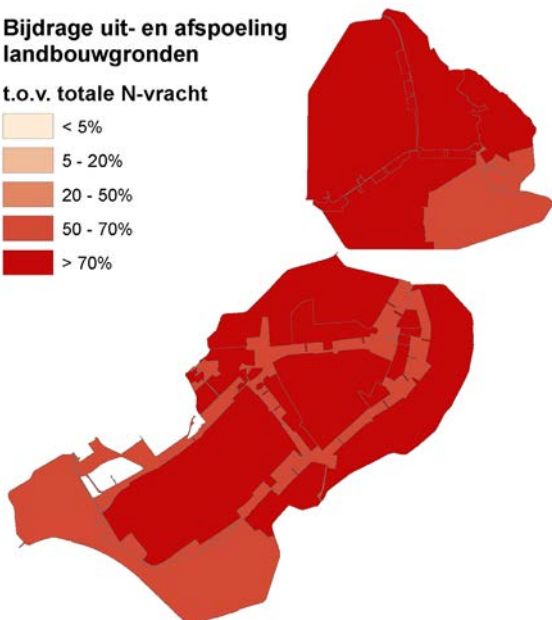
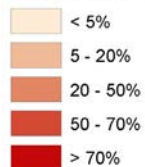
- Boekel, E.M.P.M. van, L.P.A. van Gerven, T. van Hattum, V.G.M. Linderhof, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, N.B.P. Polman, L.V. Renaud en D.J.J. Walvoort, 2011. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW. Alterra rapport 2121, Alterra, Wageningen.
- Gerven, L.P.A. van, A.A.M.F.R. Smit, P. Groenendijk, F.J.E. van 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 nutriënts 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. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Drentsche Aa. Bronnen, routes en sturingsmogelijkheden. Reeks Monitoring Stroomgebieden 25-I. Alterra rapport 2218.
- Roelsma, J., B. van der Grift, H.M. Mulder en T.P. van Tol-Leenders, 2011b. Nutriëntenhuishouding in de bodem en het oppervlaktewater van de Schuitembeek. 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 nutriënts 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 nutriënt emissions from agriculture in the Netherlands, *Environ. Modelling & Software*, 18, pp. 397-417.

Bijlage 6 Ruimtelijke verdeling herkomst zomerhalfjaar

Aandeel balanstermen aan de **stikstof**belasting zomerhalfjaar 2010-2017: af- en uitspoeling landbouwgronden, actuele bemesting, kwel (naar bodemprofiel en naar open water) en inlaat rijkswater.

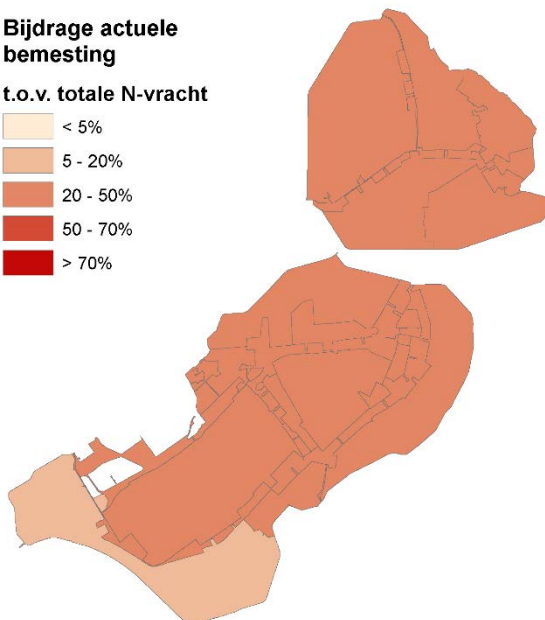
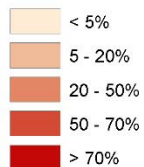
Bijdrage uit- en afspoeling landbouwgronden

t.o.v. totale N-vracht



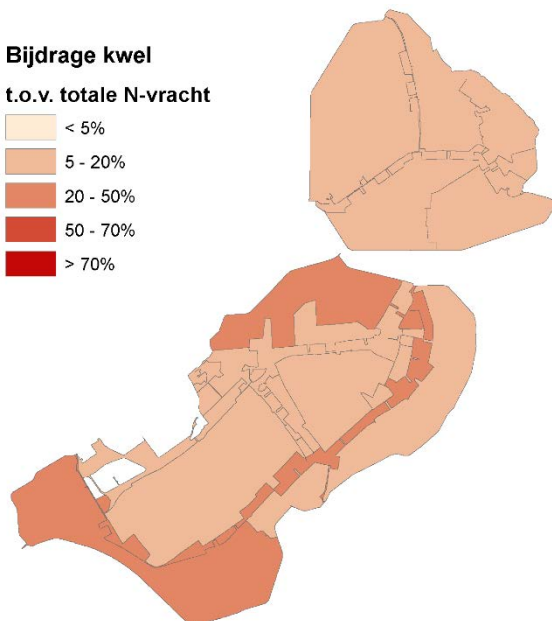
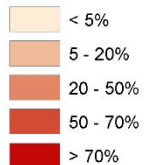
Bijdrage actuele bemesting

t.o.v. totale N-vracht



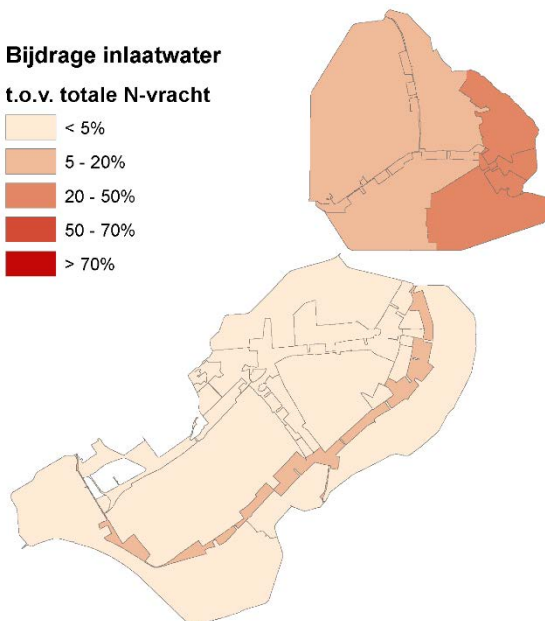
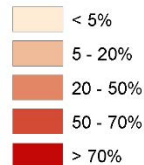
Bijdrage kwel

t.o.v. totale N-vracht

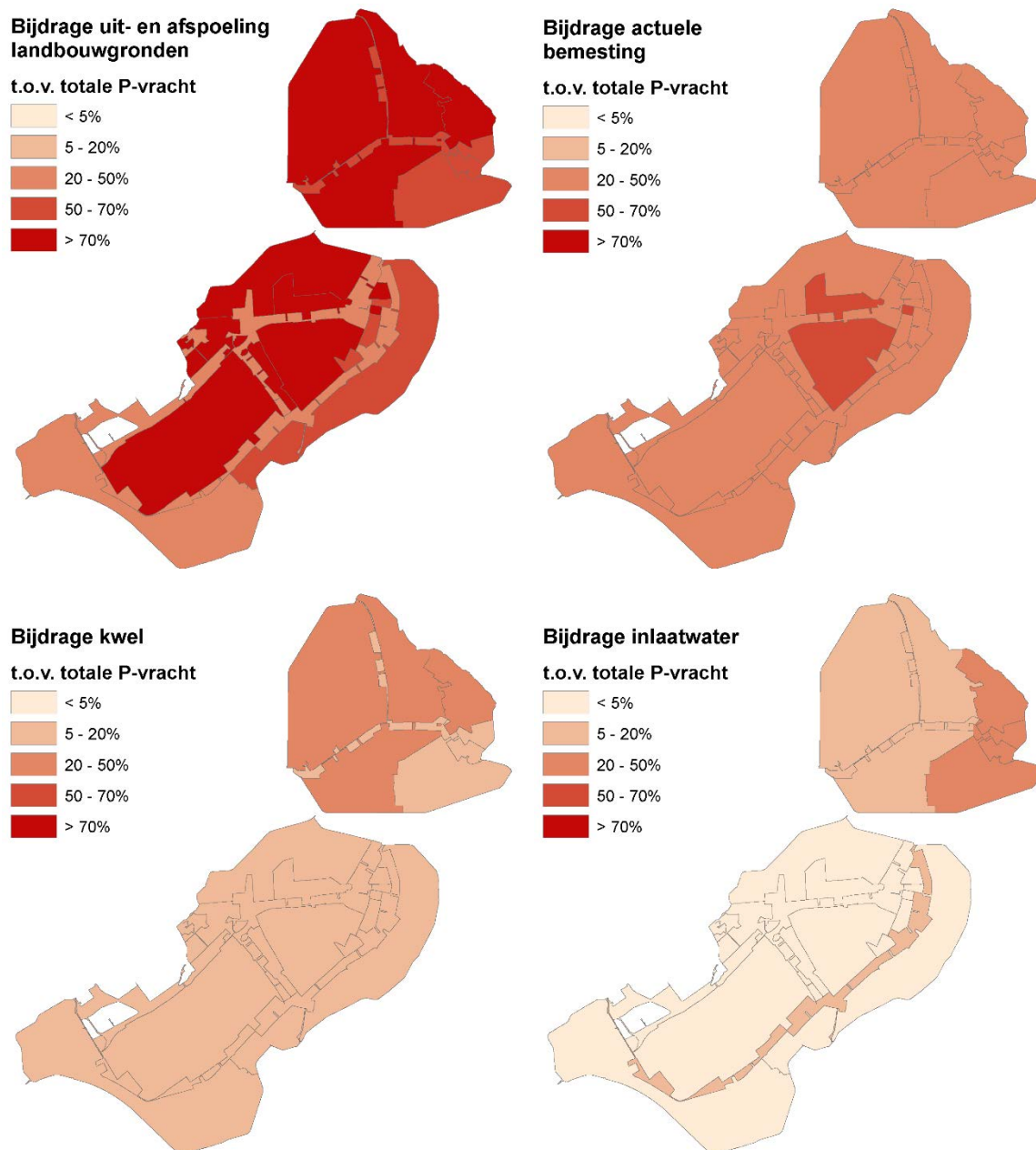


Bijdrage inlaatwater

t.o.v. totale N-vracht



Aandeel balanstermen aan de **fosfor**belasting zomerhalfjaar 2010-2017: af- en uitspoeling landbouwgronden, actuele bemesting, kwel (naar bodemprofiel en naar open water) en inlaat rijkswater.



Bijlage 7 Nutriëntenbalansen jaar- en zomerhalfjaar gemiddeld

		Stikstofbalans zomerhalfjaar 2010-2017															
Herkomst	Eenheid	Vaarten				Vaarten				Tochten				Tochten			
		hoge afdeling		lage afdeling		NOP		Laag		ABC		DE		FGIK		hoge afdeling	
		ZOF	ZOF	ZOF	ZOF	Hoog	NOP	NOP	NOP	Tochten	Tochten	Tochten	Tochten	Tochten	Tochten	Tochten	Tochten
oppervlak afwateringsgebied	ha	6289	8692	196.5	38.3	990	2021	15338	17255	22172	10485	10139	8315	32461	4198	6970	
actuele bemesting		85.0					328.6	57.9	36.3	99.6	65.0	47.2	78.1	337.1	53.4	0.9	
historische bemesting	af- en	5.5		11.2	1.2		12.9	3.6	2.7	6.7	3.1	2.6	2.4	12.3	1.3	0.0	
nalevering bodem	uitspoeling	55.9		106.6	6.0		93.8	18.9	53.6	39.4	21.9	60.2	12.3	86.8	6.6	0.2	
atmosferische depositie	landbouw	7.4		17.0	3.2		28.2	5.1	3.0	8.5	5.6	4.2	6.5	28.7	4.3	0.1	
kwel	gronden (ton)	45.2		70.5	9.8		99.7	13.7	50.8	19.6	12.3	48.7	20.1	104.2	16.8	0.5	
infiltratie		0.2		0.2	0.1		3.7	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	3.5	0.2	0.0	
af- en uitspoeling natuurgroonden	(ton)	22.3		22.5	1.2		3.3	15.1	16.7	8.3	1.9	1.0	0.9	2.4	0.1	57.4	
af- en uitspoeling stedelijk gebied	(ton)	11.2		15.6	0.6		5.1	5.2	11.0	7.6	1.4	1.7	0.5	3.8	0.3	10.2	
overige agrarische emissies	(ton)	5.4		12.4	2.4		17.2	3.3	3.1	6.0	3.3	2.8	4.3	16.4	2.2	0.9	
atmosferische depositie	(ton)	24.5		24.6	2.0		10.7	11.6	18.4	12.8	6.0	5.6	3.4	9.7	1.1	12.9	
industriële lozingen	(ton)	0.0		5.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	
overige emissies	(ton)	16.3		17.1	0.1		2.0	3.2	16.8	10.5	3.6	3.6	0.2	1.8	0.1	4.3	
AWZI's	(ton)	4.0		49.2	0		19.4	0	0	0.1	0.3	0	0	0	0	0	
inlaat rijkswater	(ton)	32.4		21.4	31.9		140.0	0	0	1.1	2.7	0.2	55.8	130.7	30.2	0.0	
directe kwel open water	(ton)	35.0		9.4	3.4		12.0	3.1	44.5	2.6	3.4	1.9	1.0	2.6	0.7	4.3	
totaal in (belasting)	(ton)	350.4		579.5	100.2		776.8	140.8	257.0	223.2	130.6	179.8	185.7	740.0	117.5	91.7	
retentie (verwijdering)	(ton)	34.6		60.0	5.7		18.4	50.9	82.6	69.9	15.1	26.0	18.9	83.6	10.7	69.7	
totaal uit	(ton)	315.8		519.6	94.5		758.3	89.9	174.4	153.3	115.6	153.9	166.8	656.4	106.8	22.0	

Herkomst	Eenheid	Fosforbalans zomerhalfjaar 2010-2017															
		Vaarten hoge afdeling				Vaarten lage afdeling				Tochten hoge afdeling				Tochten lage afdeling			
		ZOF	ZOF	Hoog	NOP	ZOF	ZOF	Hoog	NOP	ABC	DE	FGIK	H	J	NOP	NOP	Almere-buiten
oppervlak afwateringsgebied	ha	6289	8692	990	2021	15338	17255	22172	10485	10139	8315	32461	4198	6970			
actuele bemesting		2.40	6.61	0.72	5.34	1.50	1.37	5.07	2.88	1.73	2.21	8.34	1.56	2.23			
historische bemesting	af- en	0.78	0.94	0.30	2.25	0.79	0.11	0.41	0.37	0.61	0.85	3.05	0.37	1.17			
nalevering bodem	uitspoeling	1.49	1.63	0.23	2.53	1.43	0.68	0.98	0.48	0.75	0.67	3.53	0.43	2.12			
atmosferische depositie	landbouw	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
kwel	gronden (ton)	0.86	1.58	0.36	3.72	0.63	0.52	1.22	0.63	0.42	1.07	5.72	0.88	0.94			
infiltratie		0.01	0.01	0.00	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.01			
af- en uitspoeling natuurgroonden	(ton)	1.15	1.95	0.05	0.10	1.11	0.82	0.44	0.11	0.06	0.05	0.10	0.00	1.65			
af- en uitspoeling stedelijk gebied	(ton)	1.11	1.79	0.07	0.55	0.55	1.22	0.81	0.18	0.29	0.08	0.60	0.04	1.49			
overige agrarische emissies	(ton)	0.54	0.87	0.18	0.99	0.34	0.36	0.56	0.28	0.25	0.44	1.41	0.24	0.09			
atmosferische depositie	(ton)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
industriële lozingen	(ton)	0.00	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01			
overige emissies	(ton)	0.93	0.90	0.02	0.18	0.22	1.03	0.67	0.24	0.23	0.03	0.23	0.02	0.29			
AWZI's	(ton)	0.34	7.53	0	3.30	0	0	0.01	0.03	0	0	0	0	0			
inlaat rijkswater	(ton)	1.73	1.11	0.71	3.27	0	0	0.09	0.16	0.01	1.75	4.04	0.90	0			
directe kwel open water	(ton)	0.49	0.40	0.15	0.49	0.16	0.35	0.11	0.07	0.03	0.04	0.11	0.03	0.50			
totaal in (belasting)	(ton)	11.8	26.0	2.8	22.8	6.7	6.5	10.4	5.4	4.4	7.2	27.3	4.5	10.5			
retentie (verwijdering)	(ton)	2.9	6.4	0.6	4.8	3.2	2.7	4.7	2.3	2.0	2.9	10.9	1.8	5.0			
totaal uit	(ton)	8.9	19.6	2.2	18.0	3.6	3.8	5.7	3.2	2.4	4.3	16.3	2.7	5.5			

		Stikstofbalans jaargemiddeld 2010-2017														
Herkomst	Eenheid	Vaarten			Vaarten			Vaarten			Tochten			Tochten		
		hoge afdeling ZOF	lage afdeling ZOF	hoge afdeling ZOF	NOP Hoog	NOP Laag	NOP	hoge afdeling ABC	lage afdeling DE	hoge afdeling FGIK	hoge afdeling H	lage afdeling J	hoge afdeling NOP	lage afdeling NOP	tussen afdeling NOP	Almere-buiten
oppervlak afwateringsgebied	ha	6289	8692	122.8	990	2021	1045.2	184.3	211.7	22172	10485	10139	8315	32461	4198	6970
actuele bemesting		400.0	780.2				1045.2	184.3	211.7	297.5	197.7	299.8	241.4	1017.2	169.2	400.0
historische bemesting	af- en	27.7	45.6	3.8		39.4	39.4	11.6	16.3	20.8	9.5	16.5	7.6	36.3	4.3	27.7
nalevering bodem	uitspoeling	133.6	246.4	19.3		284.3	284.3	58.7	70.6	116.6	60.2	76.0	38.2	255.9	20.9	133.6
atmosferische depositie	landbouw	34.4	67.8	10.3		89.5	89.5	16.2	17.7	25.4	17.1	26.7	20.1	86.5	13.7	34.4
kwel	gronden (ton)	97.3	144.4	29.3		302.3	302.3	41.9	65.1	54.3	30.4	62.3	57.8	297.8	49.0	97.3
infiltratie		0.7	1.2	0.3		12.9	12.9	0.6	0.1	0.2	0.2	0.9	0.6	11.8	0.5	0.7
af- en uitspoeling natuurgroonden	(ton)	188.9	89.8	6.3		19.9	19.9	54.3	166.9	32.5	8.6	15.5	4.6	14.7	0.4	188.9
af- en uitspoeling stedelijk gebied	(ton)	46.8	50.6	2.4		17.3	17.3	16.5	37.8	24.8	3.5	6.2	1.5	12.4	0.8	46.8
overige agrarische emissies	(ton)	13.0	26.1	5.0		34.9	34.9	6.5	6.2	11.7	6.2	5.5	8.6	31.9	4.6	13.0
atmosferische depositie	(ton)	58.8	51.6	4.0		21.9	21.9	23.2	36.7	25.0	10.4	11.3	6.8	19.2	2.3	58.8
industriële lozingen	(ton)	0.0	10.1	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
overige emissies	(ton)	39.0	36.4	0.3		4.1	4.1	6.4	33.5	20.4	6.0	7.2	0.4	3.6	0.3	39.0
AWZI's	(ton)	9.9	124.1	0		60.3	60.3	0	0	0.1	0.4	0	0	0	0	9.9
inlaat rijkswater	(ton)	39.5	32.8	51.1		230.0	230.0	0	0	0.7	1.6	0.2	79.0	202.2	50.6	39.5
directe kwel open water	(ton)	49.3	17.3	6.8		24.5	24.5	6.2	44.5	4.0	3.0	3.7	1.9	4.9	1.4	49.3
totaal in (belasting)	(ton)	1138.9	1724.7	261.7		2186.5	2186.5	426.3	707.3	634.8	355.1	532.0	468.4	1994.4	318.0	1138.9
retentie (verwijdering)	(ton)	51.9	87.2	8.2		26.6	26.6	77.8	134.9	104.0	24.2	40.4	27.8	123.5	15.5	51.9
totaal uit	(ton)	1086.9	1637.5	253.6		2160.0	2160.0	348.6	572.4	530.8	330.8	491.6	440.6	1870.9	302.5	1086.9

		Fosforbalans jaargemiddeld 2010-2017																			
		Vaarten hoge afdeling				Vaarten lage afdeling				Tochten hoge afdeling				Tochten lage afdeling				Tochten tussen afdeling		Almere-buiten	
Herkomst	Eenheid	ZOF	ZOF	Hoog	Laag	NOP	NOP	ABC	DE	FGIK	H	J	NOP	NOP	NOP	NOP	NOP	NOP	NOP	NOP	
oppervlak afwateringsgebied	ha	6289	8692	990	2021	12.95	1.84	15338	17255	22172	10485	10139	8315	32461	4198	6970					
actuele bemesting	af- en uitspoeling landbouw gronden (ton)	6.84	17.22	1.84	12.95	5.84	6.61	4.43	3.77	13.61	8.24	5.30	6.01	21.36	4.24	4.77					
historische bemesting		2.21	2.59	0.86	5.84	6.61	0	0	2.29	0.33	1.25	1.03	1.79	2.54	1.06	2.47					
nalevering bodem		4.38	4.50	0.66	6.61	0	0	4.35	2.03	2.91	1.31	2.21	2.03	9.78	1.24	4.69					
atmosferische depositie		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
kwel		2.45	4.12	0.91	9.06	0.25	0.25	1.84	1.46	3.32	1.75	1.26	1.26	2.88	14.75	2.34	1.98				
infiltratie		0.02	0.02	0.00	0.25	0.45	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.38	0.01	0.02				
af- en uitspoeling natuurgroten		(ton)	3.91	4.91	0.25	0.45	1.19	1.80	3.50	3.06	1.44	0.22	0.30	0.21	0.52	0.02	3.77				
af- en uitspoeling stedelijk gebied		(ton)	2.69	3.94	0.18	1.19	1.80	0.35	1.44	3.02	1.95	0.31	0.67	0.17	1.34	0.10	3.19				
overige agrarische emissies		(ton)	1.06	1.60	0.35	1.80	0.35	0.68	0.68	0.72	1.08	0.50	0.49	0.88	2.71	0.47	0.17				
atmosferische depositie		(ton)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
industriële lozingen	(ton)	0.00	1.44	0.00	0.00	0.33	0.44	0.00	0.00	0.06	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01				
overige emissies	(ton)	1.80	1.64	0.03	0.33	4.06	0.44	0.44	2.06	1.29	0.40	0.46	0.07	0.45	0.04	0.57					
AWZI's	(ton)	0.66	13.60	0	7.60	0.30	0.94	0	0	0.01	0.03	0	0	0	0	0	0				
inlaat rijkswater	(ton)	2.02	1.65	1.06	4.06	0.30	0.94	0	0	0.05	0.10	0.01	2.38	5.22	1.41	0	0				
directe kwel open water	(ton)	0.97	0.74	0.30	0.94	0.31	0.94	0.31	0.71	0.20	0.10	0.06	0.09	0.21	0.07	1.01					
totaal in (belasting)	(ton)	29.0	58.0	6.4	51.1	10.8	1.5	19.3	17.2	27.2	14.0	12.6	17.3	65.2	11.0	22.7					
retentie (verwijdering)	(ton)	7.5	14.6	1.5	10.8	4.9	40.3	9.2	7.5	12.7	6.3	6.0	7.6	27.9	4.7	10.8					
totaal uit	(ton)	21.6	43.3	4.9	40.3	10.1	9.6	10.1	9.6	14.5	7.7	6.6	9.7	37.2	6.3	11.9					

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

Wageningen Environmental Research
Rapport 3009
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 12.000 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 3009
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 12.000 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.

